

dr hab. inż. dr n. med. Ryszard Uklejewski, prof. uczelni
Katedra Materiałów Konstrukcyjnych i Biomateriałów
Wydział Inżynierii Materiałowej
Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy

POLITECHNIKA POZNAŃSKA WYDZIAŁ INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ I FIZYKI TECHNICZNEJ		
DNIA	25-05-2023	DNIA
WPŁYNEŁO		

DF 63/59/2023

Bydgoszcz 19.05.2023

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
dla RADY DYSCYPLINY „INŻYNIERIA MATERIAŁOWA”,
WYDZIAŁ INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ I FIZYKI TECHNICZNEJ
POLITECHNIKI POZNAŃSKIEJ**

Podstawa opracowania: decyzja Rady Dyscypliny 'Inżynieria Materiałowa' Politechniki Poznańskiej oraz pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny i Dziekana Wydziału Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej PP prof. PP dr. hab. Mirosława Szybowicza (nr DF-63/34/2023)

Tytuł rozprawy: **„STOPY Ti-Ta OTRZYMANE W PROCESIE
MECHANICZNEJ SYNTEZY”**

Autor rozprawy: **mgr inż. Mikołaj Kozłowski**

Promotor: Prof. dr hab. inż. Jarosław Jakubowicz

Promotor pomocniczy: Dr inż. Grzegorz Adamek

1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy (cel i teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?

W rozprawie przedstawiono zagadnienie opracowania technologii wytwarzania spieków materiałów proszkowych otrzymanych w procesie mechanicznej syntezy z proszków ze stopów na bazie Ti-Ta (tzw. *powder alloys*) i badania wpływu domieszek stopowych (Mn, Mg, Zn, Ag) na wybrane właściwości wytworzonych stopów trój- i czteroskładnikowych porowatych i litych, m.in. pod kątem ich potencjalnych zastosowań jako biomateriały konstrukcyjne implantów zakładanych chirurgicznie do tkanek twardych (np. w chirurgii kostno-stawowej: ortopedycznej i urazowej, w chirurgii stomatologicznej, czy chirurgii szczękowo-twarzowej).

Zagadnienie naukowe zostało wyraźnie sformułowane w celu naukowym rozprawy i tezach (hipotezach) rozprawy przedstawionych w rozdz. 4 (str. 54-55):

- **Cel rozprawy:** Wytworzenie stopów na bazie Ti-Ta litych oraz porowatych, które pozwolą na zrozumienie wpływu tantalu przy obecności innych dodatków stopowych: Mn, Mg, Zn, Ag na właściwości technologiczne i użytkowe stopów tytanu pod kątem ich potencjalnych zastosowań na implanty;

➤ **Tezy (hipotezy) rozprawy:**

1. Proces mechanicznej syntezy umożliwi wytworzenie nanokrystalicznych stopów na bazie Ti-Ta: trójskładnikowych (Ti-Ta-X) i czteroskładnikowych (Ti-Ta-Mn-Mg); gdzie X = Mg, Zn, Ag ;
2. Dodatek tantalu, przy obecności innych dodatków stopowych (Mn, Mg, Zn, Ag), wpływa na stabilizację fazy Ti-β ;
3. Proces prasowania na gorąco i spiekania iskrowo-plazmowego umożliwi wytworzenie stopów Ti-Ta-X (gdzie X = Mg, Zn, Ag) oraz Ti-Ta-Mn-Mg z nano- i ultradrobłą mikrostrukturą oraz wysokim stopniem zagęszczenia ;
4. Z otrzymanych stopów trójskładnikowych (Ti-Ta-Mg, Ti-Ta-Ag) możliwe będzie wytworzenie pianek metalicznych ;
5. Dodatek tantalu, przy obecności innych dodatków stopowych: Mn, Mg, Zn, Ag, może poprawić odporność korozyjną oraz biokompatybilność stopów tytanu.

Rozprawa składa się z 7 rozdziałów obejmujących 123 strony tekstu zasadniczego oraz wykazu literatury zawierającego 207 pozycji cytowanych. Pierwsze dwa rozdziały mają za zadanie wprowadzenie do tematyki pracy poprzez przedstawienie aktualnego stanu wiedzy w określonej problematyce. Omówiono tu tytan i jego stopy jako biomateriał konstrukcyjny implantów dokostnych (tkanek twardych), przedstawiono klasyfikację stopów tytanu oraz wpływ dodatków stopowych i zanieczyszczeń (N, C, H, Fe, O) na właściwości mechaniczne i odporność korozyjną (w środowisku wieloelektrolitowego płynu Ringera, w temp. 37°C) tytanu i stopów tytanu. Następnie przedstawiono aktualny stan wiedzy w zakresie technologii wytwarzania stopów Ti (litych i porowatych), przy czym głównie skupiono się na technologii mechanicznej syntezy proszków (*mechanical alloying*) i kolejnym etapie konsolidacji termomechanicznej materiału proszkowego, polegających na wstępnym zagęszczeniu i spiekaniu swobodnym w próżni lub jednoczesnym działaniu ciśnienia prasowania oraz temperatury na materiał proszkowy podczas prasowania na gorąco z grzaniem indukcyjnym lub z wykorzystaniem technologii spiekania iskrowo-plazmowego. W rozdziale 3 zestawione zostały istotne spostrzeżenia Autora (ogólniejsze, jak i bardziej szczegółowe; jest ich w sumie 11) wynikające z przeprowadzonej analizy literaturowej aktualnego stanu wiedzy w tej określonej problematyce badawczej; m.in. Autor stwierdza, że w literaturze problematyki brakuje prac omawiających wpływ dodatków stopowych Mg, Zn, Ag, Mn na stop proszkowy Ti-Ta po procesie mechanicznej syntezy otrzymany metodą prasowania na gorąco lub spiekania iskrowo-plazmowego. Na podstawie wnikliwych wniosków Autora z przeprowadzonych szeroko zakrojonych badań literaturowych określony został temat rozprawy doktorskiej i zaplanowano logiczny harmonogram jej zadań badawczych. W rozdz. 5 przedstawiono metodykę badawczą zastosowaną przy realizacji zaplanowanych zadań badawczych pracy doktorskiej, która ma charakter projektowo-doświadczalny; w podrozdz. 5.1 przedstawiono wytworzenie w procesie mechanicznej syntezy (MS) stopów trójskładnikowych na bazie Ti-Ta-X, gdzie X = Mg, Zn, Ag oraz stopów czteroskładnikowych Ti-Ta-Mn-Mg, a następnie opisano przeprowadzenie konsolidacji otrzymanego po MS materiału proszkowego trzema metodami: 1) prasowanie 'na zimno' i następnie spiekanie swobodne, 2) prasowanie na gorąco z grzaniem indukcyjnym o wysokiej częstotliwości (HFIH – *high frequency induction heating*), 3) prasowanie na gorąco ze spiekaniem iskrowo-plazmowym (SPS – *spark plasma sintering*); w podrozdz. 5.2 przedstawiono zastosowaną wieloaspektową metodykę badań struktury i właściwości wytworzonych stopów Ti-Ta, obejmującą: rentgenowską analizę strukturalną i fazową, badania mikrostruktury za pomocą mikroskopii optycznej, mikroskopii elektronowej skaningowej z analizą składu chemicznego (EDS), oraz mikroskopii elektronowej transmisyjnej, metody pomiaru właściwości mechanicznych, metodę pomiaru zwilżalności powierzchni materiałów, metodę pomiaru odporności korozyjnej w środowisku wieloelektrolitowego płynu Ringera, oraz metody badania biogodności biomateriałów oraz właściwości antybakteryjnych stopów Ti ze srebrem w hodowlach komórkowych ludzkich osteoblastów i fibroblastów więzadła przyzębia. W rozdz. 6 przedstawiono otrzymane wyniki przeprowadzonych badań struktury i właściwości wytworzonych stopów proszkowych Ti-Ta oraz interpretację i dyskusję tych wyników; w podrozdz. 6.1 przedstawiono

wyniki przeprowadzonych badań dla stopów porowatych na bazie układu Ti-Ta-X (X= Mg, Ag), podrozdz. 6.2 zawiera wyniki badań dla stopów litych trójskładnikowych Ti-Ta-X (X= Mg, Zn, Ag), a podrozdz. 6.3 przedstawia otrzymane wyniki badań dla stopów litych czteroskładnikowych Ti-Ta-Mn-Mg. W rozdz. 7 Autor przedstawia podsumowanie rozprawy i wnioski.

Cel pracy został osiągnięty i słuszność postawionych tez rozprawy została udowodniona i udokumentowana poprzez realizację dobrze i wieloaspektowo zaplanowanego harmonogramu zadań badawczych. Praca ma charakter projektowo-doświadczalny, w części pierwszej Autor zajmuje się opracowaniem technologii wytwarzania oraz wytworzeniem określonych stopów Ti-Ta (trójskładnikowych i czteroskładnikowych), a w części drugiej przeprowadza wieloaspektowe badania struktury i właściwości wytworzonych materiałów, przedstawia otrzymane wyniki tych badań oraz ich interpretację i dyskusję, a następnie formułuje szereg ważnych i oryginalnych wniosków.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł literaturowych świadczący o dostatecznej wiedzy autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób wyraźny i przekonujący?

W początkowej części pracy przeprowadzono gruntowną analizę reprezentatywnych pozycji literatury światowej i krajowej, świadcząca o szerokiej fachowej wiedzy naukowej Autora i dobrej znajomości zagadnień wchodzących w zakres problematyki rozprawy doktorskiej. Bibliografia rozprawy zawiera 207 pozycji, z czego 3 to publikacje współautorskie Autora w b.dobrych czasopismach naukowych z zakresu inżynierii materiałowej (IF od 2,036 do 3,748; wg MEiN za 140pkt.; nie są to wszystkie publikacje Autora). Wnioski z przeglądu literatury zostały sformułowane, w sposób wyraźny i przekonujący w rozdz. 3; jest tych wniosków w sumie 11, są wśród nich wnioski o charakterze ogólniejszym oraz wnioski bardziej szczegółowe. Autor m.in. stwierdza, że w literaturze problematyki brakuje prac omawiających wpływ Mg, Zn, Ag czy Mn na stop proszkowy Ti-Ta po procesie mechanicznej syntezy, otrzymany metodą prasowania na gorąco lub spiekania iskrowo-plazmowego. Na podstawie wnikliwych wniosków Autora z przeglądu źródeł literaturowych określony został temat jego rozprawy doktorskiej i zaplanowany logiczny harmonogram realizacji zadań badawczych tej rozprawy.

3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwych do tego metod i czy przyjęte założenia zostały uzasadnione ?

Dokładnie i logicznie zaplanowany harmonogram realizacji zadań badawczych rozprawy doktorskiej, przedstawiony przez Autora w rozdz. 4 na str. 54 z nagłówkiem „Etapy realizacji pracy”, został w pełni zrealizowany przy użyciu właściwie dobranej metodyki badawczej przedstawionej szczegółowo w rozdz. 5 (pt. „Metodyka badawcza”); zastosowano obszerną, wieloaspektową metodykę badań struktury i właściwości wytworzonych stopów proszkowych Ti-Ta, obejmującą: rentgenowską analizę strukturalną i fazową, badania mikrostruktury za pomocą mikroskopii optycznej, mikroskopii elektronowej skaningowej z analizą składu chemicznego (EDS), oraz mikroskopii elektronowej transmisyjnej, metody pomiaru właściwości mechanicznych wytworzonych materiałów, metodę pomiaru zwilżalności powierzchni materiałów, metodę pomiaru odporności korozyjnej w środowisku korozyjnym wieloelektrolitowego płynu Ringera w temp. 37°C, oraz metody badania biogodności biomateriałów oraz właściwości antybakteryjnych stopów Ti ze srebrem w hodowlach komórkowych ludzkich osteoblastów i fibroblastów więzadła przyzębia. Zastosowana przez Autora w rozprawie z powodzeniem wieloaspektowa metodyka badawcza, opisana przez niego precyzyjnym językiem naukowym, świadczy o jego b.dobrej znajomości szerokiej gamy skomplikowanych metod badawczych stosowanych w dyscyplinie

inżynieria materiałowa. Postawione w rozdz. 4 tezy (hipotezy) rozprawy zostały udowodnione i udokumentowane za pomocą otrzymanych wyników zrealizowanych zadań badawczych.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy, czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Oryginalność rozprawy polega na:

- zaprojektowano i wytworzono w procesie mechanicznej syntezy (*mechanical alloying*) materiały lite oraz porowate na bazie trój- i czteroskładnikowych stopów z układu Ti-Ta z dodatkiem manganu, magnezu, srebra i cynku;
- stwierdzono, że mechaniczna synteza wybranych składników prowadzi do otrzymania homogenicznej mieszaniny składników w stopie; dłuższe czasy procesu mechanicznej syntezy prowadzą do wzrostu zawartości/udziału fazy Ti-β i rozdrobnienia mikrostruktury do rozmiarów nanometrycznych, wraz z pojawieniem się obszarów amorficznych;
- zbadano wpływ dodatków stopowych Mg, Zn, Ag czy Mn na stop proszkowy z układu Ti-Ta po procesie mechanicznej syntezy, otrzymany metodą prasowania na gorąco z grzaniem indukcyjnym lub spiekaniem iskrowo-plazmowym;
- stwierdzono, że wprowadzenie do tytanu tantalu i innych dodatków stopowych (Mn, Mg, Zn, Ag) wpłynęło na silniejszą stabilizację fazy Ti-β po mechanicznej syntezie i procesie konsolidacji termomechanicznej; przy tym dodatek tantalu i innych dodatków stopowych (Mn, Mg, Zn, Ag) nie wpłynął na pogorszenie się odporności korozyjnej oraz biokompatybilność wytworzonych stopów tytanu;
- pokazano, że możliwe było wytworzenie w procesie mechanicznej syntezy porowatych pianek metalicznych z wybranych stopów trójskładnikowych (Ti-Ta-Mg, Ti-Ta-Ag).

O pozycji recenzowanej rozprawy doktorskiej w stosunku do stanu wiedzy reprezentowanego przez literaturę światową świadczą dobitnie trzy następujące artykuły naukowe z zakresu tematyki tej rozprawy, w których Autor rozprawy jest jednym z głównych współautorów, opublikowane w bardzo dobrych czasopismach naukowych z obszaru inżynierii materiałowej:

1. Adamek, G.; **Kozłowski, M.**; Jurczyk, M.U.; Wirstlein, P.; Zurawski, J.; Jakubowicz, J.: Formation and Properties of Biomedical Ti-Ta Foams Prepared from Nanoprecursors by Thermal Dealloying Process. *Materials* 2019, 12, 2668. IF = 3,057, pkt MEiN = 140;
2. Adamek, G.; **Kozłowski, M.**; Junka, A.; Siwak, P.; Jakubowicz, J.: Preparation and Properties of Bulk and Porous Ti-Ta-Ag Biomedical Alloys. *Materials* 2022, 15, 4332. IF = 3,748, pkt MEiN = 140;
3. **Kozłowski, M.**; Adamek, G.; Siwak, P.; Jakubowicz, J.: The effect of Ta, Mg and Zn content on the properties of Ti-Ta-Mg and Ti-Ta-Zn alloys prepared by mechanical alloying and hot-pressing. *Journal of Materials Engineering and Performance* 2023. IF = 2,036, pkt MEiN = 70 .

5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych wyników /zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy/?

Autor wykazał umiejętność poprawnego logicznie sposobu prezentacji otrzymanych wyników zrealizowanych zadań badawczych recenzowanej rozprawy, o czym świadczy prawidłowo zaplanowana struktura całej rozprawy i każdego z rozdziałów. Na podkreślenie zasługuje dobre posługiwanie się przez Autora w całym tekście rozprawy poprawnym, precyzyjnym językiem naukowym, właściwym dla reprezentowanej dyscypliny naukowej: inżynieria materiałowa.

6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Recenzowana rozprawa doktorska wnosi istotny wkład naukowy do dyscypliny inżynieria materiałowa.

Autor rozprawy mgr inż. Mikołaj Kozłowski prezentował swoją rozprawę doktorską podczas seminarium naukowego u recenzenta w Katedrze Materiałów Konstrukcyjnych i Biomateriałów na Wydziale Inżynierii Materiałowej Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy (w dn. 25.04.2023r.) i w dyskusji otrzymał sporo zapytań, na które odpowiedział - w zgodnej opinii audytorium – jasno i kompetentnie.

Z obowiązku recenzenckiego mam do Autora jeszcze trzy zapytania (z obszaru inżynierii materiałów porowatych oraz z inżynierii biomateriałów) :

- 1) Wytworzone w pracy doktorskiej porowate pianki tytanowe ze stopów trójskładnikowych Ti-Ta-X (X = Mg, Ag) posiadały bimodalną strukturę porową, charakteryzującą się dwoma różniącymi się istotnie pod względem wielkości rodzajami porów: np. w piankach tytanowych ze stopów Ti-Ta-Mg występują duże nieregularne pory o wymiarach 10 – 200 μm (powstające wskutek usunięcia poroforu) łączące się z sobą i z powierzchnią badanej próbki materiału oraz znacznie mniejsze kuliste pory o wymiarach 0,1 – 2 μm , położone głównie w obszarach pomiędzy porami dużymi (str. 71). W przedstawionej w tekście rozprawy interpretacji tego wyniku zabrakło mi pewnej oceny, o którą chciałbym teraz zapytać.
Jak ocenia Pan wpływ takiej bimodalnej struktury porowej wytworzonych pianek tytanowych na ich wytrzymałość zmęczeniową, biorąc pod uwagę podatność tytanu na propagację pęknięć oraz generowanie naprężeń w wytworzonych stopach Ti-Ta podczas termomechanicznej konsolidacji, w wyniku np. ekspansji sieci krystalicznej? Czy widzi Pan możliwość wpływania na strukturę porową wytwarzanych przez Pana pianek tytanowych? Jak struktura porowa materiału wpływa na jego przepuszczalność dla płynów? - W wykazie literatury brakuje, moim zdaniem, reprezentatywnej pozycji z zakresu mechaniki czy inżynierii materiałów porowatych lub fizyki materiałów porowatych (takich jak np. klasyczna monografia Scheideggera „*Physics of flow through porous media*” lub np. Kowalski S.J. „*Inżynieria materiałów porowatych*” – Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej; *Drying of Porous Materials* – Springer 2007).
- 2) Na str. 75 Autor pisze: „Moduł Young’a porowatych pianek ze stopów Ti-Ta-Mg oraz Ti-Ta-Ag jest zbliżony do ludzkich kości gąbczastych (0,1 – 2 GPa), co zwiększa możliwości aplikacyjne omawianych materiałów”. Proszę o wyjaśnienie z jakich powodów ważna jest taka biomechaniczna kompatybilność biomateriału konstrukcyjnego implantu dokostnego i otaczającej go kości ?
- 3) Na podkreślenie i uznanie zasługuje to, że Autor rozprawy zmierzył się również z trudnym problemem badania biogodności opracowanych i wytworzonych porowatych i litych stopów trójskładnikowych na bazie Ti-Ta w hodowlach komórkowych ludzkich osteoblastów i fibroblastów więzadła przyzębia za pomocą analizy cytotoxyczości ilościowym testem MTT (wykorzystującym żółty barwnik MTT rozkładany przez dehydrogenazę bursztynianową mitochondriów żywych komórek biologicznych w wyniku czego powstaje produkt (*formazan*))

o fioletowej barwie). Takie badania wykraczają poza tradycyjny zakres dyscypliny 'inżynieria materiałowa' (wchodzą one raczej w zakres inżynierii biomateriałów, należącej do dyscypliny 'inżynieria biomedyczna'). Dodatkowo, wytworzone lite stopy Ti-Ta-Ag zbadano cyt. „pod kątem właściwości bakteriobójczych” (str. 99) względem komórek biologicznych trzech rodzajów drobnoustrojów określonych nazwami łacińskimi: *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *C. albicans* (str.63, 100); brak jest w tekście rozprawy polskich nazw ww. drobnoustrojów. Ponieważ w różnych miejscach w tekście rozprawy Autor pisze raz że badał właściwości „bakteriostatyczne” (str. 8), innym razem że „bakteriobójcze” (np. s.29), a jeszcze innym razem, że „antybakteryjne” (np. str. 63), chciałbym prosić o wyjaśnienie, jakie właściwości były tu rzeczywiście badane?; i czy wszystkie trzy rodzaje użytych tu drobnoustrojów to bakterie?

Ponadto, brak jest w tekście rozprawy informacji o miejscu przeprowadzenia tego rodzaju badań w hodowlach komórkowych, a wiadomo, że mogą takie badania prowadzić jedynie profesjonalne, certyfikowane laboratoria.

I przy okazji, Autor podczas omawiania głównych wymagań stawianych biomateriałom (str. 14, Tab. 1) przywołuje pozycję literaturową [17] *Materials Handbook* (Cardarelli 2018; ok. 2300 str.), gdzie zagadnienie to potraktowane jest bardzo marginalnie – tylko na jednej stronie tekstu (p. 73) w Table 1.123. Dobrze byłoby wesprzeć to powołanie się na [17] poprzez uwzględnienie w wykazie Literatury np. tomu *Biomateriały* (red. S. Błażewicz, J. Marciniak) Akademicka Oficyna Wydawnicza *EXIT*, W-a (są tu przedstawione m.in. wymagania stawiane biomateriałom oraz opracowane najważniejsze badania biomateriałów wg normy PN-EN ISO 10993 „Biologiczna ocena wyrobów medycznych”).

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk inżynieryjno-technicznych i zastosowań medycznych?

Recenzowana rozprawa doktorska wnosi istotny wkład naukowy do nauk inżynieryjno-technicznych, w szczególności do dyscypliny naukowej 'inżynieria materiałowa', o czym świadczą dobitnie trzy artykuły naukowe z zakresu tematyki tej rozprawy (w których Autor rozprawy jest jednym z głównych współautorów), opublikowane w bardzo dobrych czasopismach naukowych z obszaru inżynierii materiałowej (IF od 2,036 do 3,748; wg MEiN są tu czasopisma za 140 pkt.).

Ponieważ w wyniku przeprowadzonych w pracy doktorskiej badań stwierdzono, że wszystkie opracowane i wytworzone przez Autora w procesie mechanicznej syntezy (*mechanical alloying*) stopy Ti-Ta są biozgodne, a także niektóre z nich (Ti-Ta-Mg oraz Ti-Ta-Ag) są biokompatybilne mechanicznie, dlatego też można uznać, że posiadają one potencjał aplikacyjny jako biomateriały konstrukcyjne implantów dokostnych: dla inżynierii biomedycznej (biomechaniczne projektowanie i badania implantów laboratoryjne, *in vitro* oraz *in vivo* na modelu zwierzęcym), jak i dla zastosowań klinicznych tych implantów w chirurgii ortopedycznej, chirurgii urazowej, chirurgii szczękowo-twarzowej oraz chirurgii stomatologicznej.

8. Ocena końcowa rozprawy i uzasadnienie konkluzji recenzji

Rozprawa mgr. inż. Mikołaja Kozłowskiego wnosi istotny wkład naukowy do dyscypliny 'inżynieria materiałowa', ma charakter projektowo-doświadczalny, a otrzymane wyniki zrealizowanych tu zadań badawczych stanowią w dużym stopniu oryginalne osiągnięcie naukowe Autora. Temat recenzowanej rozprawy doktorskiej został przez Autora przekonująco uzasadniony poprzez sformułowanie szeregu wnikliwych wniosków z przeprowadzonych szeroko zakrojonych badań literaturowych. Zaplanowany został logiczny harmonogram zadań badawczych pracy doktorskiej. Cel pracy został osiągnięty przy użyciu właściwych metod i słuszność postawionych tez rozprawy została udowodniona i udokumentowana poprzez realizację zaplanowanego harmonogramu

zadań badawczych. Sposób rozwiązania problemów naukowych świadczy o szerokiej wiedzy naukowej i umiejętnościach badawczych Autora w zakresie współczesnych metod stosowanych w dyscyplinie naukowej 'Inżynieria materiałowa'. Autor wykazał się b.dobrą znajomością literatury z zakresu problematyki badawczej rozprawy, umiejętnością poprawnego logicznie sposobu prezentacji otrzymanych wyników zrealizowanych zadań badawczych oraz dobrym posługiwaniem się w całym tekście rozprawy poprawnym, precyzyjnym językiem naukowym.

Opracowane przez Autora, wytworzone w procesie mechanicznej syntezy i wieloaspektowo przebadane stopy Ti-Ta posiadają potencjał aplikacyjny jako biomateriały konstrukcyjne implantów dokostnych: dla inżynierii biomedycznej (biomechaniczne projektowanie i badania implantów: laboratoryjne, *in vitro* oraz *in vivo* na modelu zwierzęcym), jak i dla zastosowań klinicznych tych implantów w chirurgii ortopedycznej, chirurgii urazowej, chirurgii szczękowo-twarzowej oraz chirurgii stomatologicznej.

W konkluzjach stwierdzam, że:

1) rozprawa doktorska mgr. inż. Mikołaja Kozłowskiego pt.: „*Stopy Ti-Ta otrzymane w procesie mechanicznej syntezy*” oraz jego dorobek naukowy (4 publikacje współautorskie w renomowanych międzynarodowych czasopismach naukowych z obszaru 'inżynierii materiałowej' z dobrym IF (od 2,036 do 3,748; wg MEiN za 140 pkt.) oraz wystąpienia konferencyjne (posterowe) podczas konferencji krajowych i międzynarodowych) spełniają w pełni wymogi stawiane rozprawom doktorskim w myśl *Ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dn. 20 lipca 2018 (aktualizacja Dz.U.RP z dn. 20 kwietnia 2023 r. Poz. 742; Art. 187). Wnioskuje zatem o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony;

2) biorąc pod uwagę wysoki poziom naukowy recenzowanej rozprawy doktorskiej mgr. inż. Mikołaja Kozłowskiego oraz potencjał aplikacyjny opracowanych przez Autora, wytworzonych w procesie mechanicznej syntezy i wieloaspektowo przebadanych stopów Ti-Ta jako biomateriały konstrukcyjne implantów dokostnych dla inżynierii biomedycznej oraz dla zastosowań klinicznych chirurgicznych, stawiam wniosek do Wysokiej Rady Dyscypliny „*Inżynieria Materiałowa*” Politechniki Poznańskiej o wyróżnienie tej rozprawy doktorskiej.

9. Uwagi szczegółowe:

Rozdz.	Nr str.	Nr wiersza	Jest	Powinno być / komentarz
Streszcz.	8	13w od dołu	...syntezie...	...syntezy...
1	12	10w od góry	88,2 tys. 94 tys.	882,2 tys. ... 94 tys.
1	12	12w od dołu	Idealnymi kandydatami	Dobrymi kandydatami
1	14	Tab. 1 (1-a kolumna)	'Cykl życia' (błędna nazwa w j.ang. [17])	Dobra wytrzymałość zmęczeniowa
2	16	14w od góry	'energia cieplna'	ciepło nie jest energią (jest ono sposobem przenoszenia energii)
2	38	3w od dołu	efekt Kirkendalla	Kirkendalla
2	45	13w od góry	zawartość procentowa porów	porowatość objętościowa
2	48, 50	Rys. 20, Rys.21	Wpływ procentowego udziału porowatości	Wpływ porowatości objętościowej
2	50	1w od dołu	transport cieczy przez porowatości	transport cieczy przez materiał porowaty
3	52	16w od góry	porządna	pożądana
5	59	8w od góry	procentowa zawartość porów na powierzchni	porowatość powierzchniowa

5	63	7w od góry	Właściwości antybakteryjne próbek [względem] <i>C. albicans</i>	<i>C. albicans</i> to nie bakteria, to grzyb
6	71	8w od góry	„spiekanie stopów”	Czy raczej: „spiekanie materiału proszkowego po MS” ?
6	74	2w od dołu	parametry modułu Younga	wartości modułu Younga
6	88	Tab. 15	Porównanie składów chemicznych wytworzonych stopów	Porównanie składów chemicznych teoretycznych i rzeczywistych wytworzonych stopów
6	97	11w od góry	dla każdej przebadanej godziny	dla każdej określonej godziny badań
6	114, 115	Rys.58, Rys.59	Przykłady formowanych kropeł i ich kąty zwilżania	Przykłady formowanych kropeł wody i gliceryny i ich kąty zwilżania
7	119	pierwszy wniosek szczegółowy	...otrzymuje się szkielet metaliczny składający się ze stopu Ti-Ta i wzajemnie połączonych struktur szkieletowych o szerokim zakresie wielkości porów od nano- do mikroskali,	...otrzymuje się szkielet metaliczny porowatej pianki zbudowany ze stopu Ti-Ta i układ wzajemnie połączonych z sobą porów o szerokim zakresie wielkości: od nano- do mikroporów.
Literatura	123	[17]	F. Cardarelli, Materials Handbook, 2018	brak nazwy wydawnictwa (Springer; 3rd Edition)
Literatura	132	[110]	...	brak nazwy czasopisma

Z poważaniem



/dr hab. inż. dr med. Ryszard Uklejewski, prof. UKW/