

Rzeszów, 29 sierpnia 2022 r.

Dr hab. inż. Maciej Motyka, prof. ucz.
Katedra Nauki o Materiałach
Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa
Politechnika Rzeszowska
ul. Żwirki i Wigury 4
35-959 Rzeszów

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Agaty SOTNICZUK

pt.: „*Odporność na korozję tytanu i jego stopów w aspekcie zastosowań biomedycznych*”

- podstawa opracowania recenzji – uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria

Materiałowa Politechniki Warszawskiej z dnia 25.03.2022 r. (pismo z dnia 13.07.2022 r.)

Ogólna charakterystyka rozprawy

Tytan i stopy tytanu, ze względu na swoje unikatowe właściwości fizyczne i chemiczne, cieszą się od wielu lat niesłabnącym zainteresowaniem w strategicznych sektorach gospodarki, jak lotniczo-kosmicznym czy medycznym. Stopy tytanu, metalu o największej biogodności, cechuje duża wytrzymałość względna i mała wartość modułu Younga, czyniąc je kluczowymi biomateriałami, szczególnie do wytwarzania implantów kostnych. Wymagania stawiane takim wyrobom są szczególnie rygorystyczne w aspekcie ich interakcji z tkankami organizmu. Stąd inżynieria biomateriałów stała się obszarem nauki, w którym w sposób modelowy łączy się osiągnięcia inżynierii materiałowej w zakresie kształtowania objętościowego mikrostruktury, jak i inżynierii powierzchni. O ile w procesie kształtowania właściwości mechanicznych implantów można zastosować typowe podejście, jak dla elementów konstrukcji, to już ocena zjawisk zachodzących na ich powierzchni wymaga szerszego, w większym stopniu interdyscyplinarnego spojrzenia – z niezbędną wiedzą z zakresu elektrochemii i medycyny. Złożoność zagadnienia potęguje dodatkowo fakt, że trwałość i niezawodność implantu kostnego, wymaga uzyskania określonej jego odporności na korozję w środowisku komórek organizmu człowieka, którego aktywność może ją zmniejszyć, np. w wyniku wystąpienia reakcji zapalnej. Problematyka recenzowanej dysertacji doskonale wpisuje się w ten nurt badań, dlatego w mojej ocenie jest aktualna i warta zgłębiania.

Podstawą opracowania planu badawczego przyjętego w pracy była analiza dostępnych wyników badań odporności na korozję technicznie czystego tytanu α (CP-Ti) oraz dwufazowego $\alpha+\beta$ stopu tytanu Ti-6Al-4V w środowisku symulującym organizm ludzki. Wynika z niej, że powierzchnia implantów tytanowych może ulegać degradacji w organizmie człowieka, wskutek oddziaływania reaktywnych form tlenu (tlenków) wytwarzanych przez komórki układu immunologicznego w trakcie reakcji zapalnej. Za czynnik determinujący to zjawisko uznaje się obecność białek (albuminy), adsorbowanych na powierzchni implantu. Mimo że charakterystyka odporności na korozję wspomnianych biomateriałów nie jest kompletna, Autorka do badań przyjmuje inne stopy tytanu, jednofazowe, uznawane za perspektywiczne w omawianym obszarze zastosowań – nanokrystaliczny tytan techniczny (Grade 2) oraz metastabilny stop β (Ti-29Nb-13Ta-4,6Zr). Tytan nanokrystaliczny charakteryzuje się wysokimi właściwościami mechanicznymi, porównywalnymi z powszechnie stosowanym stopem Ti-6Al-4V, jednak nie zawiera dodatków stopowych negatywnie oddziałujących na organizm ludzki. Natomiast stopy β cechuje mniejsza niż inne stopy tytanu wartość modułu Younga, co czyni je jeszcze lepszymi biomateriałami na implanty kostne. Taki wybór materiałów do badań świadczy, w mojej ocenie, o nowatorskim podejściu do zagadnienia odporności na korozję biomateriałów metalicznych, gdzie analizuje się jej zależność nie tylko od składu fazowego materiału, ale i rozmiaru ziarn.

Główną oś części eksperymentalnej pracy stanowiły badania odporności na korozję nanokrystalicznego tytanu oraz metastabilnego stopu β w różnych środowiskach stosowanych dla biomateriałów, zawierających sól fizjologiczną buforowaną fosforanami (PBS), nadtlenek wodoru (H_2O_2) oraz albuminę. Uzyskane wyniki umożliwiły weryfikację wpływu warunków symulujących występowanie reakcji zapalnej na wczesną oraz długoterminową odporność na korozję badanych materiałów. Wykazano, między innymi, korzystny wpływ składników stopu tytanu β na jego odporność we wczesnym etapie korozji w środowisku PBS+ H_2O_2 . Dowiedziono również, że nanostrukturyzacja tytanu technicznego zwiększa jego odporność na korozję w warunkach wydłużonego oddziaływania roztworu PBS+ H_2O_2 . Ustalono, że w przeciwieństwie do dwufazowego stopu tytanu Ti-6Al-4V, obecność albuminy w środowisku zawierającym H_2O_2 , nie intensyfikuje korozji przyjętych do badań materiałów jednofazowych. Co więcej, ich odporność na korozję w roztworze PBS+ H_2O_2 +albumina jest większa w porównaniu ze stopem Ti-6Al-4V. Autorka dysertacji stwierdza wręcz, że jednofazowa mikrostruktura oraz nanometryczny rozmiar ziarn są czynnikami, które zwiększają odporność korozyjną tytanu i jego stopów w środowisku zawierającym albuminę i nadtlenek wodoru.

Uważam za istotne nadmienić, że powyższe wnioski sformułowano na podstawie analizy wyników badań znacznie szerszych niż badania korozyjne. W rozprawie przeprowadzono istotną dla podjętej problematyki analizę obrazów mikrostruktury badanych materiałów, uzyskanych metodami mikroskopii elektronowej – transmisyjnej TEM i skaningowo-transmisyjnej STEM.

Analizie poddano również teksturę krystalograficzną (XRD) oraz strukturę geometryczną powierzchni (XPS, AES, AFM) – kluczową dla zjawisk korozyjnych.

W podsumowaniu tej części recenzji mogę stwierdzić, że rozprawa doktorska mgr inż. Agaty Sotniczuk zawiera wartościowe wyniki o charakterze poznawczym, które mogą w przyszłości przyczynić się do ograniczenia ryzyka degradacji implantów tytanowych w wyniku reakcji zapalnych w organizmie, a tym samym liczby operacji rewizyjnych (związanymi z nimi dyskomfortem pacjenta oraz dodatkowymi kosztami społecznymi).

Szczegółowa charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Agaty Sotniczuk pt. „*Odporność na korozję tytanu i jego stopów w aspekcie zastosowań biomedycznych*” dotyczy kompleksowych badań nowatorskich biomateriałów na osnowie tytanu – nanokrystalicznego tytanu technicznego (Grade 2) oraz metastabilnego stop β (Ti-29Nb-13Ta-4,6Zr) – w aspekcie ich odporności na korozję w środowisku zawierającym albuminę i produkty reakcji zapalnej w organizmie ludzkim. Praca ma formę zbioru opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych. Niemniej jednak Autorka opatrzyła ją obszernym opracowaniem własnym (74 strony), w którym przedstawiła syntetyczny przegląd literatury w obszarze tematyki pracy, cel pracy i hipotezę badawczą, a także zakres, metodykę i wybrane wyniki badań. Opracowanie to wieńczą podsumowanie i wnioski, a także omówienie perspektyw dalszych badań. W mojej ocenie, ta część rozprawy wyczerpująco charakteryzuje podjętą problematykę, na tle której Autorka odpowiednio umotywowwała i umiejscowiła zakres swoich badań. Co więcej, umiejętnie przedstawiła i omówiła wyniki badań opublikowane w załączonym cyklu artykułów naukowych, dowodząc ich spójności tematycznej.

Treść opiniowanej rozprawy doktorskiej mgr inż. Agaty Sotniczuk podzielono na 10 rozdziałów, pomijając streszczenia i wykazy skrótów stosowanych w pracy oraz literatury (153 pozycje). W części tej zawarto 22 rysunki i 6 tablic. Całość uzupełnia 6 załączników stanowiących powiązane tematycznie publikacje naukowe współautorstwa Doktorantki.

W rozdziale 1. – „Geneza pracy” – Autorka uzasadnia prowadzenie badań w obszarze biomateriałów wzrastającym zapotrzebowaniem w medycynie na długoterminowe implanty oraz koniecznością wydłużania czasu ich eksploatacji. W kolejnej części pracy (rozdz. 2) charakteryzuje tytan i jego stopy w implantologii długoterminowej – głównie tytan techniczny i stop dwufazowy $\alpha+\beta$ Ti-6Al-4V – w aspekcie ich właściwości mechanicznych i odporności na korozję w środowisku symulującym organizm. Za zasadny, z racji doboru materiałów do badań, uznaję opis kształtowania mikrostruktury i właściwości mechanicznych nanokrystalicznego tytanu metodami dużego odkształcenia plastycznego (SPD), szczególnie do zastosowań medycznych. W charakterystyce zjawisk korozyjnych zachodzących na powierzchni wyrobów z tytanu uwzględniono opis modeli mechanizmów tworzenia powłoki tlenkowej. Pada tu stwierdzenie, że „Przebieg dalszych procesów

związanych z transportem masy przez utworzoną warstwę tlenkową jest podyktowany natężeniem pola elektrycznego w strefie przypowierzchniowej oraz mobilnością jonów” (str. 28). Chciałbym zwrócić Autorce uwagę, że gradient pola elektrycznego jest skutkiem występowania poziomów Fermiego elektronów w metalu i roztworze. Ponadto, zrozumienie opisywanych zjawisk ułatwiłaby niewątpliwie informacja, że tlenek TiO_2 jest półprzewodnikiem typu „n”, o czym Autorka nie wspomina w tekście swojej pracy. W podrozdziale 2.2.1. – ”Nanokrystaliczny i ultradrobnoziarnisty CP-Ti” podjęto próbę wyjaśnienia korzystnego wpływu rozdrobnienia ziarn na odporność korozyjną tytanu technicznego. Autorka pisze, że „rozdrobnienie ziaren do nanometrycznych rozmiarów prowadzi do wzrostu wartości oporu warstw pasywnych (R_p) powstałych na powierzchni” (str. 30) – prosiłbym o doprecyzowanie, o jaki opór chodzi. Niejasne dla mnie jest również sformułowanie „wyznaczanie gęstości prądu korozji na podstawie pomiarów potencjodynamicznych, wzbudza wątpliwości (w) przypadku tytanu oraz jego biomedycznych stopów, ze względu na brak spełnienia założeń analizy Tafela” (str. 32), dlatego proszę jego Autorkę o komentarz. Wątpliwości budzi również nazwanie potencjału korozyjnego OCP równowagowym (str. 34). Sugerowałbym również, zweryfikować (sprawdzić jednostki) wartości R_p dla sztucznej śliny w tablicy 6 – wydają się niewspółmiernie małe w porównaniu do innych przedstawionych roztworów.

W rozdziale 3. – „Odporność na korozję tytanu w warunkach *in vivo*” – na podstawie analizy wyników badań klinicznych, wykazano możliwość degradacji implantów z tytanu technicznego oraz ze stopu Ti-6Al-4V w trakcie ich eksploatacji, pomimo wykazania ich bardzo dobrej odporności na korozję w warunkach *in vitro*. Zagadnienie to rozwinięto w krótkim opracowaniu dotyczącym zjawiska reakcji zapalnej (rozdz. 4) oraz w bardziej obszernym rozdziale (5) podejmującym tematykę odporności na korozję stopów tytanu w warunkach symulujących występowanie reakcji zapalnej. Analizie poddano zmianę odporności na korozję tytanu technicznego w roztworze PBS wskutek dodania H_2O_2 . Na jej podstawie stwierdzono między innymi, że o większej chropowatości powłok tlenkowych świadczą „mniejsze wartości parametru stałofazowego (α), wyznaczone na podstawie wyników testów impedancyjnych” (str. 39). Chciałbym tylko zwrócić uwagę, że taka interpretacja nie jest jednoznaczna – wartości przytoczonego parametru niekoniecznie zależą od dużej chropowatości powierzchni próbki. O dużej chropowatości powłoki mogą świadczyć np. duże wartości pojemności elektrycznej układu. Za kluczowe dla podjęcia przez Doktorantkę badań uznaję ustalenie, że współoddziaływanie albuminy i H_2O_2 może prowadzić do zwiększenia szybkości korozji biomateriałów metalicznych, zarówno stopów tytanu (np. Ti-6Al-4V), jak i stali austenitycznej czy stopów kobaltu.

W rozdziale 6. rozprawy sformułowano cel pracy i hipotezę badawczą. Przyjęty przez Doktorantkę cel pracy „Poznanie wpływu albuminy i nadtlenu wodoru na odporność na korozję nowoczesnych materiałów biomedycznych takich jak nanokrystaliczny tytan α oraz metastabilny stop tytanu β ” jest jasny, choć zbyt ogólny – nie definiuje o jaki rodzaj korozji chodzi. W rozprawie

postawiono również hipotezę badawczą, wynikającą w głównej mierze z przeprowadzonej analizy stanu zagadnienia. Weryfikacja jej słuszności, na podstawie załączonego zbioru artykułów naukowych (wymienionych w rozdz. 7), mogłaby być trudna dla czytelnika dysertacji, dlatego zdefiniowano główne problemy badawcze, których publikacje te dotyczyły, a ich syntetyczny opis wraz ze streszczeniem graficznym zawarto w rozdziale 8. – „Metodyka i wyniki badań”. Ponieważ rozdział ten wraz z załączonym cyklem artykułów naukowych stanowią clou rozprawy, osiągnięcia te traktuję oddzielnie.

- Rozdział 8.1 i załącznik 1 dotyczą opracowania metody zwiększenia odporności korozyjnej nanokrystalicznego tytanu technicznego w standardowym środowisku stosowanym dla biomateriałów. Wykazano taką możliwość poprzez zastosowanie krótkotrwałego wyżarzania odprężającego (250°C w czasie 15 i 30 min). Uzyskany efekt przypisano zjawisku zdrowienia, prowadzącemu do zmniejszenia wartości naprężeń własnych oraz gęstości dyslokacji, jak również do zmiany charakteru granic ziarn. W analizie wyników przyjęto założenie, że całokształt zmian charakterystyki defektów struktury krystalicznej może determinować dystrybucję wartości potencjału korozyjnego na powierzchni materiału, a tym samym stabilność powłok pasywnych. Za ważny czynnik wpływający na odporność korozyjną nanokrystalicznego tytanu uznano także typ tekstury krystalograficznej, z czego uczyniono oddzielny aspekt badawczy, rozwinięty w kolejnym etapie badań.

- Rozdział 8.2 i załącznik 2 przedstawia wyniki badań, których celem była ocena oddziaływania warunków symulujących występowanie reakcji zapalnej na odporność korozyjną nanokrystalicznego tytanu technicznego, z uwzględnieniem wpływu typu tekstury krystalograficznej kształtowanej w procesach SPD. W tym celu, oprócz wyciskania hydrostatycznego, jako metodę wytworzenia tytanu nanokrystalicznego użyto walcowania pakietowego (ARB) uzyskując materiały o zbliżonym rozmiarze ziarn. Zgodnie z przyjętym założeniem uzyskano odmienne tekstury – włóknistą z dominacją płaszczyzn (10 $\bar{1}$ 0) na powierzchni prostopadłej do kierunku wyciskania hydrostatycznego oraz zbliżoną do bazowej (tzw. *split-basal texture*), w której płaszczyzny najgęstsze upakowania (0002) są odchylone o $\pm 20^\circ$ od kierunku normalnego do kierunku walcowania pakietowego. Wykazano, że lepszą odpornością korozyjną w standardowym środowisku symulującym organizm ludzki charakteryzuje się tytan wytworzony metodą ARB, wskazując jako jeden z możliwych powodów mniejszy stopień zdefektowania powłok tlenkowych w porównaniu z próbkami wyciskany hydrostatycznie – z zastrzeżeniem, że wymaga to potwierdzenia z zastosowaniem analizy elektrochemicznej umożliwiającej wyznaczenie gęstości wakansów tlenowych w warstwie pasywnej materiału. W przeprowadzonych badaniach korozyjnych uwzględniono obecność reaktywnych form tlenków, takich jak H₂O₂, czego zabrakło mi w początkowym etapie badań.

- Rozdział 8.3 oraz załączniki 3 i 4 wydają się oczywistą konsekwencją wcześniej przeprowadzonych badań i podejmują zagadnienia poprawy odporności na korozję

nanokrystalicznego tytanu technicznego w środowisku symulującym występowanie reakcji zapalnej. Spośród technik stosowanych do poprawy odporności korozyjnej tytanu, wybrano metodę osadzania elektroforetycznego (EPD) powłok ochronnych typu chitozan/bioszko. Opracowano warunki ich osadzania w celu uzyskania dobrej przyczepności do podłoża, a następnie dowiedziono ich wpływ na poprawę odporności na korozję nanokrystalicznego tytanu w roztworze zawierającym produkty reakcji zapalnej (H_2O_2). W przeprowadzonej analizie nie uwzględniono zjawisk powodujących degradację wytwarzanych powłok, dlatego wskazano na konieczność potwierdzenia ich przydatności w badaniach umożliwiających ocenę długoterminowego oddziaływania środowiska korozyjnego. Przyznając, że wyniki uzyskane na tym etapie badań mają dużą wartość poznawczą i wpisują się w podjętą problematykę badawczą, choć ich związek z przyjętym celem i hipotezą pracy nie jest dla mnie do końca oczywisty.

- Rozdział 8.4 oraz załącznik 5 poświęcono badaniom odporności metastabilnego stopu Ti-29Nb-13Ta-4,6Zr na korozję w warunkach symulujących występowanie reakcji zapalnej, przyjmując za materiały referencyjne mikro- i nanokrystaliczny tytan techniczny. Wykazano, że jego odporność na korozję w roztworze zawierającym produkty reakcji zapalnej (PBS+ H_2O_2) w mniejszym stopniu się pogarsza, w porównaniu z tytanem technicznym. Zaobserwowane różnice w charakterystyce korozyjnej badanych biomateriałów tłumaczono stopniem zdefektowania powłok tlenkowych powstałych na ich powierzchni, a także rolą pierwiastków stopowych w stopie metastabilnym β , którą udało się częściowo określić.

Za niewątpliwy walor poznawczy zgromadzonego materiału badawczego należy uznać wyniki badań *in situ* metodą mikroskopii sił atomowych (AFM) – uznawanych za zaawansowane w inżynierii materiałowej i rzadko opisywane w literaturze naukowej. Autorka rozprawy zrealizowała je w ramach stażu naukowego na Wydziale Bioinżynierii Clemson University w Karolinie Południowej (USA).

- Rozdział 8.5 oraz załącznik 6, zamykający cykl wybranych publikacji naukowych, dotyczą oceny łącznego oddziaływania albuminy i produktów reakcji zapalnej na odporność korozyjną przyjętych do badań stopów tytanu. Celem zaplanowanych badań było poznanie roli ich składu fazowego oraz nanostruktury w kształtowaniu tych właściwości. Wykazano, że w środowisku PBS+albumina najlepszą odpornością na korozję cechuje się nanokrystaliczny tytan. Natomiast w środowisku PBS+ H_2O_2 +albumina większą odporność na korozję wykazywał stop tytanu β . Ustalono, między innymi, że stopy jednofazowe – tytan techniczny α czy stop β – cechują się większą odpornością na korozję w analizowanych warunkach niż dwufazowy $\alpha+\beta$ stop Ti-6Al-4V. Zaobserwowano, że obecność albuminy podczas symulacji *in vitro* nie wpływa znacząco na przebieg procesu degradacji badanych materiałów jednofazowych w warunkach reakcji zapalnej.

Rozprawę doktorską mgr inż. Agaty Sotniczuk wieńczą podsumowanie i wnioski (rozdz. 9), które pogrupowano w zależności od rodzaju środowiska korozyjnego zastosowanego w badaniach: standardowego dla badania biomateriałów, a także symulującego występowanie reakcji zapalnej –

w dwóch wariantach – $\text{PBS} + \text{H}_2\text{O}_2$ oraz $\text{PBS} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{albumina}$. W ostatnim wniosku Autorka stwierdza, że zakres przeprowadzonych badań pozwolił Jej uzyskać rezultaty potwierdzające przyjętą w pracy hipotezę badawczą – w mojej opinii słusznie. Co więcej, wnioski sformułowane na podstawie zbioru artykułów naukowych stanowiących rozprawę doktorską, świadczą o ich spójności. Stały się również podstawą nakreślenia dalszych planów badawczych Doktorantki (rozdz. 10), co tylko podkreśla jej dojrzałość naukową.

W podsumowaniu szczegółowej charakterystyki rozprawy mogę stwierdzić, że przyjęty przez Doktorantkę zakres badań i jego realizacja pozwoliły na osiągnięcie celu sformułowanego w rozdziale 6. Wysiłek Autorki w przygotowanie rozprawy przyniósł bardzo dobry efekt w postaci zwartej monografii, pomimo przyjętej formy zbioru wybranych artykułów naukowych. Należy podkreślić, że mgr inż. Agata Sotniczuk jest ich pierwszą Autorką, co świadczy o wiodącej roli w zespole autorów. Oświadczony przez Nią wkład w przygotowanie tych publikacji – nie mniejszy niż 50% – jak i spójność ich tematyki pozwala mi z całym przekonaniem uznać je za jedno osiągnięcie naukowe. Sposób prowadzenia dyskusji wyników, zarówno w tekście rozprawy, jak i załącznikach, dowodzi o dobrym zrozumieniu podejmowanych zagadnień. Autorka nie ustrzegła się drobnych błędów opracowując swoją dysertację. Są nieliczne i nie na tyle istotne, żeby mogły obniżyć wartość merytoryczną rozprawy. Część z nich pozwolę sobie jednak przytoczyć, żeby pomóc Doktorantce doskonalić umiejętności opracowywania tekstów naukowych. Chciałbym tylko zwrócić uwagę na niektóre mankamenty i nieścisłości zauważone w tekście pracy:

- „wczesna odporność na korozję” (str. 6 i wielokrotnie w tekście pracy) – o ile termin „wczesny” można zastosować do opisu początkowego etapu korozji, to w kontekście odporności na korozję jego użycie jest co najmniej niefortunne;
- „wygrzewanie” (str. 22 i wielokrotnie w teście) – w odniesieniu do obróbki cieplnej bardziej stosownym wydaje się termin „wyżarzanie”;
- „stopy binarne” (str. 25) – niepotrzebny anglicyzm, w inżynierii materiałowej powszechnie stosowany jest termin „stopy dwuskładnikowe”;
- „właściwości stopów wieloskładnikowych mogą wynikać ze specyficznej hybrydyzacji” (str. 25) – prosiłbym Autorkę o doprecyzowanie;
- opis osi X na rys. 3 (str. 26) – przedstawioną zależność nazywamy ilorazem;
- stężenie powinno wyrażać się w „% mas.” a nie w „% wag.”;
- „jon metaliczny” (str. 35) czy „jon metalu”?
- „reakcja prowadząca do formacji H_2O_2 ” (str. 38) – znaczenia słów „formacja” i „formowanie” nie są tożsame;
- rys. 8a na str. 40 – opis osi Y powinien lepiej korelować z podpisem rysunku;
- „stop został wytworzony na drodze techniki ...” – dość niefrasobliwe sformułowanie.

Ocena końcowa

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Agaty Sotniczuk stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Jej podstawą są dobrze zaplanowane i konsekwentnie realizowane prace badawcze. Autorka zdefiniowała cel badawczy, który w mojej ocenie został osiągnięty – określono wpływ albuminy i nadtlenu wodoru na odporność na korozję nowoczesnych biomateriałów na osnowie tytanu - nanokrystalicznego tytanu technicznego oraz metastabilnego stopu tytanu β – w środowisku symulującym organizm ludzki. Tym samym dowiodła słuszności postawionej hipotezy badawczej, która zakładała, między innymi, korzystne oddziaływanie nanometrycznego rozmiaru ziarn na odporność na korozję tytanu technicznego w roztworze zawierającym albuminę i H_2O_2 . Rozprawę opracowano w przemyślny sposób, ułatwiający ocenę osiągnięcia naukowego, w postaci zbioru powiązanych tematycznie artykułów naukowych. Na szczególne podkreślenie zasługuje duży stopień oddziaływania i prestiż czasopism naukowych, w których je opublikowano – ich sumaryczny IF = 31,152. Stanowią spójną całość, potwierdzając przy tym konsekwentną realizację przez Doktorantkę założonego planu badawczego. Przedstawione w nich wyniki mają dużą wartość poznawczą. Dlatego w mojej ocenie rozprawa doktorska zatytułowana „*Odporność na korozję tytanu i jego stopów w aspekcie zastosowań biomedycznych*” spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez ustawę z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Wnioskuje zatem do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie mgr inż. Agaty Sotniczuk do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Mając na względzie wysoki poziom naukowy zrealizowanych badań, ich interdyscyplinarny charakter, walory poznawcze i aplikacyjne uzyskanych wyników, a także wysoką rangę czasopism, w których je opublikowano, wnoszę również o wyróżnienie Jej rozprawy.

Maciej Potyka