

Profesor dr hab. Stanisław F. Mitura, *dr hc*

e-mail: [stanislaw.mitura@gmail.com](mailto:stanislaw.mitura@gmail.com)

Koszalin, 18 stycznia 2018 roku

Recenzja pracy doktorskiej  
mgr inż. Pauliny Strąkowskiej:  
**„WYTWARZANIE POWŁOK HYBRYDOWYCH:  
WARSTWA NANODIAMENTOWA – POWŁOKA WAPNIOWO-  
FOSFORANOWA NA STOPIE  $Ti_6Al_4V$ ”**

Promotor: Prof. dr hab. inż. Andrzej Zieliński, prof. zw. PG

**1 Ocena oryginalności problematyki i poprawności założeń badawczych pracy.**

Praca doktorska mgr inż. Pauliny Strąkowskiej: „Wytwarzanie powłok hybrydowych warstwa nanodiamentowa – powłoka wapniowo-fosforanowa na stopie  $Ti_6Al_4V$ ” dotyczy ważnego zagadnienia, związanego z identyfikacją czynników mających wpływ na jakość połączenia kompozytowej powłoki węgla i hydroksyapatytu z implantem medycznym.

Praca ma charakter technologiczny aczkolwiek ambicje Autorki doprowadziły do drobiazgowych analiz zjawisk fizykochemicznych, zachodzących w trakcie procesu wytwarzania, mających niewątpliwie wpływ na właściwości uzyskanych powłok.

Pomimo znacznej liczby publikacji w tej dziedzinie, w dostępnej literaturze brak jest informacji o przeprowadzaniu podobnych eksperymentów, dlatego też badania nad tym zagadnieniem w odczuciu recenzenta są bardzo intrygujące z punktu widzenia poznawczego podstawowych zjawisk fizykochemicznych występujących w opisanym procesie.

Wymiernym wkładem pracy doktorskiej Doktorantki w rozwój inżynierii biomateriałów, jest podejście do problemu wytwarzania kompozytu węgiel-hydroksyapatyt zarówno od strony inżynierskiej jak również biomedycznej. Literatura zawiera niewiele prac dotyczących tego problemu, które łączyłyby ze sobą fakty pochodzące z oceny inżynierskiej i medycznej. Podejście inżynierskie opiera się na wynikach badań strukturalnych, mikrostrukturalnych, właściwości fizycznych, ocenie rodzaju i stopnia funkcjonalizacji oraz stopnia czystości tych materiałów i na tej podstawie pozwala wytypować rodzaj postępowania. Ocena taka pozwala jednocześnie „dopasować” właściwości tych materiałów do danego zastosowania, a także przewidzieć ich zachowanie w kontakcie z komórkami i tkankami. Dzięki wiedzy z zakresu inżynierii materiałowej, poszerzonej o wiedzę w zakresie inżynierii biomateriałów, biozgodności, nanomedycyny i immunologii, podstaw biologii oraz hodowli tkanek, i praktyce w badaniach biologicznych prowadzonych wcześniej Doktorantka zaproponowała oryginalną technologię wytwarzania powłok hybrydowych warstwa nanodiamentowa – powłoka wapniowo-fosforanowa.

## **2 Ocena merytoryczna pracy.**

Praca obejmuje 132 strony maszynopisu, 43 rysunki i 20 tabel, zawiera przegląd piśmiennictwa i badania własne. W przeglądzie piśmiennictwa Doktorantka wprowadziła parametry wykorzystywane do opisu właściwości cienkich warstw oraz przedstawiła standardowe metody służące do wyznaczania wartości tych parametrów. Przegląd piśmiennictwa opracowany został na podstawie 194 pozycji literaturowych, obejmujących głównie ostatnie dziesięciolecie.

Głównym celem badań podjętych przez Doktorantkę w ramach rozprawy doktorskiej było wytworzenie bariery dyfuzyjnej na implantach medycznych.

Przyjęte przez Doktorantkę użyteczne cele pracy są następujące:

- Wyjaśnienie, czy warstwy nanokrystalicznego diamentu mogą być dostatecznie przyczepne do powierzchni endoprotezy ze stopu tytanowego;

- Wyjaśnienie, czy możliwe jest wytworzenie warstwy hydroksyapatytowej dobrze przyczepnej do warstwy nanokrystalicznego diamentu;
- Znalezienie kompleksowej i wielostronnej metody badania pokryć endoprotez, które można by stosować także szerzej w implantologii (np. stenty, wszczepialne kardioimplanty, protezy słuchu).

Pani Paulina Strąkowska zastosowała najnowsze metody inżynierii powierzchni, stosowane nie tylko dla potrzeb inżynierii biomedycznej. Część eksperymentalną pracy Doktorantka przeprowadziła po odpowiednim, przemyślanym doborze aparatury.

Walorem użytkowym rozprawy jest opracowanie podstaw technologii wytwarzania struktur hybrydowych - warstw diamentowych i powłok hydroksyapatytu dla celów pokrywania implantów ze stopów tytanowych stosowanych w ortopedii i chirurgii szczękowo – twarzowej. Doktorantka wykazała, że endoprotezy z pokryciem złożonym z warstw polikrystalicznego diamentu oraz hydroksyapatytu spełnią w najwyższym stopniu wymagania co do ochrony antykorozyjnej endoprotezy oraz zabezpieczą tkanki przed odczynami zapalnymi i alergicznymi.

Wybrane zagadnienia stanowiące oryginalne i wartościowe osiągnięcia obejmują:

- Opracowanie parametrów procesu MW-PACVD oraz wykazanie, że technologia ta pozwala wytworzyć na stopie  $Ti_6Al_4V$  homogeniczne warstwy nanodiamentowe, o odpowiedniej submikrotopografii i chropowatości dla elektrochemicznych procesów osadzania hydroksyapatytu.
- Udowodnienie, że submikronowa topografia warstw węglowych pozwala na lepszą adhezję i proliferację komórek osteoblastów w stosunku do powierzchni ze stopów tytanu, a więc na wydajniejsze tworzenie tkanki kostnej na protezie, co umożliwi jej lepszą integrację z organizmem.
- Optymalizacja parametrów procesu ECAD i weryfikacja, że osadzanie powłoki hydroksyapatytowej jest szczególnie korzystne i wydajne w przypadku stosowania, jako podłoża, nanokrystalicznych warstw diamentowych domieszkowanych borem.

- Opracowanie oryginalnej metodyki diagnostyki procesu wytwarzania implantu, obejmującej pomiary międzyoperacyjne kolejno nakładanych warstw oraz badania biologiczne, które pozwalają na eliminację defektów struktury implantu wraz z potwierdzeniem uzyskania jego odpowiednich właściwości biologicznych i mechanicznych.

Praca jest merytorycznie poprawna, zasługuje na wysoką ocenę.

Zauważone błędy i przejęzyczenia przekazałem bezpośrednio Doktorantce.

Doktorantka stosuje określenia, które można zastąpić, np.:

*„...Widmo Ramana warstwy B-NCD (rys. 20(C)) posiada **silne pasma** 481  $cm^{-1}$  i 1230  $cm^{-1}$ , powstałe na skutek domieszkowania borem sieci diamentowej [157]. Ponadto **silna linia** 1318  $cm^{-1}$  pochodzi od sieci diamentowej...”*

Wielowątkowość pracy jest jej atutem – ale niektóre zagadnienia mogą stanowić temat do dyskusji. Na przykład założona przez Doktorantkę bioobojętność (bioinertność) diamentu. W świetle kilkudziesięciu prac w literaturze światowej, w tym kilku rozpraw doktorskich i habilitacyjnych, nie wydaje się to założenie słuszne.

Można również dyskutować o większej przydatności w medycynie warstw diamentowych w porównaniu z warstwami zanieczyszczonymi grafitem.

Doktorantka zrealizowała cały, niezwykle obszerny zakres postulowanych badań. Cele zostały osiągnięte.

Poziom naukowy opracowania jest dobry, chociaż praca jest zdecydowanie zbyt obszerna.

Rozważania interdyscyplinarne z dziedziny inżynierii powierzchni prowadzone są z dużym rozeznaniem i krytycyzmem, co świadczy o umiejętności Doktorantki do syntetyzowania wiedzy i jej dojrzałości naukowej.

Na podkreślenie zasługuje użyteczny aspekt zrealizowanej pracy. Istnieje możliwość wykorzystania wyników badań i analiz w praktyce.

### 3 Wniosek końcowy.

Doktorantka wykazała dobrą znajomość tematu i formułowania tez naukowych. Wykonane przez nią badania teoretyczne i doświadczalne nie budzą wątpliwości oraz zastrzeżeń merytorycznych a ich interpretacja świadczy o dojrzałości naukowej Doktorantki. Praca napisana jest w sposób zrozumiały, posiada cechy oryginalności oraz wnosi nowe wartości poznawcze w stosunku do dotychczasowego stanu wiedzy w zakresie nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa.

Biorąc powyższe pod uwagę, wyrażam opinię, że praca mgr inż. Pauliny Strąkowskiej: „**Wytwarzanie powłok hybrydowych warstwa nanodiamantowa – powłoka wapniowo-fosforanowa na stopie Ti6Al4V**” odpowiada warunkom Ustawy.

**Uważam, że spełnione są wszystkie wymagania stawiane w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (z 14 marca 2003 roku .Dz. U. 65, poz. 595 ze zmianami w Dz. U. z 2005 r., nr 164 poz. 1365) w zakresie przyznawania tytułu doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynierii materiałowej.**

Na tej podstawie, stawiam wniosek o dopuszczenie pracy doktorskiej mgr inż. Pauliny Strąkowskiej do jej publicznej obrony.

*Janisław Mitura*