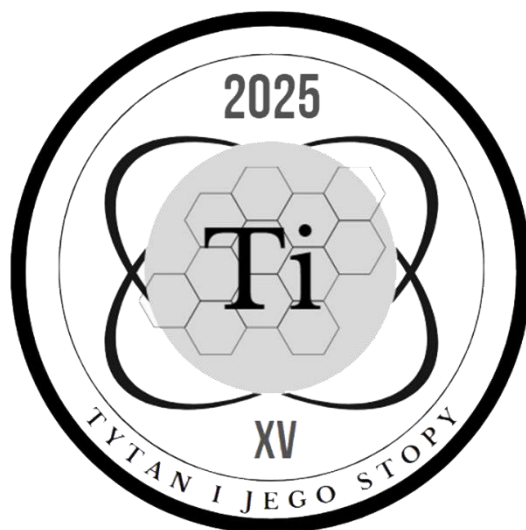




**XV Jubileuszowa Konferencja
Tytan i jego stopy
2025**

Książka abstraktów

Rytro, 4 - 7 maja 2025

Materiały konferencyjne zostały przygotowane na podstawie abstraktów przesłanych przez uczestników konferencji Tytan i jego stopy 2025. Nadesłane prace zostały sprawdzone przez Komitet Naukowy i zatwierdzone jako zgodne z tematyką konferencji. Organizatorzy nie ponoszą odpowiedzialności za ich treść.

Strona internetowa konferencji: <https://tytan25.agh.edu.pl/>

KOMITET NAUKOWY

Przewodnicząca

dr hab. inż. Barbara Szaraniec, prof. AGH
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Członkowie

prof. dr hab. inż. Piotr Bała
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
prof. dr hab. inż. Jolanta Baranowska
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny,
prof. dr hab. inż. Tomasz Czujko
Wojskowa Akademia Techniczna
dr hab. inż. Tadeusz Frączek, prof. PCz
Politechnika Częstochowska
prof. dr hab. inż. Halina Garbacz
Politechnika Warszawska
prof. dr hab. Tomasz Goryczka
Uniwersytet Śląski
prof. dr hab. inż. Piotr Kula
Politechnika Łódzka
prof. dr hab. inż. Jan Kusiński
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
prof. dr hab. inż. Piotr Lacki
Politechnika Częstochowska
prof. dr hab. inż. Bogusław Major
Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN
dr hab. inż. Roman Major, prof. PAN
Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN
dr hab. inż. Krzysztof Pałka, prof. PL
Politechnika Lubelska
prof. dr hab. inż. Wojciech Simka
Politechnika Śląska
dr hab. inż. Ewa Stodolak-Zych
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
prof. dr hab. inż. Wojciech Szkliniarz
Politechnika Śląska
prof. dr hab. inż. Tadeusz Wierzchoń
Politechnika Warszawska
prof. dr hab. inż. Andrzej Zieliński
Politechnika Gdańska

KOMITET ORGANIZACYJNY

Przewodnicząca

dr hab. inż. Barbara Szaraniec

Sekretarz

dr hab. inż. Ewa Stodolak-Zych

Członkowie

dr inż. Karol Gryń

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

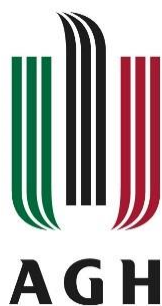
mgr inż. Bartłomiej Boruchowski

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

mgr inż. Paulina Armatys

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

PATRONAT



Spis treści

WYTWARZANIE MATERIAŁÓW FOTOKATALITYCZNYCH OPARTYCH NA TLENKU TYTANU Z WYKORZYSTANIEM PROCESU PLAZMOWEGO UTLENIANIA ELEKTROCHEMICZNEGO	11
Agata Kotkowska	11
MODYFIKACJA POWIERZCHNI IMPLANTÓW TYTANOWYCH METODAMI EPD/DIP-COATING: ANALIZA STRUKTURY ORAZ WŁAŚCIWOŚCI BIOLOGICZNYCH	12
Maria Biegun-Żurowska	12
WYTWARZANIE POWŁOK HYDROKSYAPATYTOWYCH NA TLENKOWO ZMODYFIKOWANYCH POWIERZCHNIACH PODŁOŻY ZE STOPU Ti6AL4V	13
Michalina Ehlert	13
WPŁYW WYBRANYCH DODATKÓW NA PROCESY W METALURGII PROSZKÓW DLA STOPU Ti-MO	14
Izabela Matuła	14
PORÓWNANIE MODYFIKACJI NANOSTRUKTURYZOWANEJ POWIERZCHNI TYTANOWEJ ZA POMOCĄ ZWIĄZKÓW O WŁAŚCIWOŚCIACH ANTYBAKTERYJNYCH	15
Zuzanna Burkiewicz	15
WPŁYW DODATKU Cu NA STRUKTURĘ ORAZ WŁAŚCIWOŚCI STOPÓW O WYSOKIEJ ENTROPII (TiTaNbZr) _{100-x} Cu _x	16
Karsten Głowka	16
MODYFIKACJE POWIERZCHNIOWE STOPU TYTANU Ti6AL4V CELEM OTRZYMANIA OPTIMALNEGO BIOMATERIAŁU DLA POTRZEB ORTOPEDII	17
Aleksandra Radtke	17
ANALIZA STRUKTURY I WŁAŚCIWOŚCI WYTWARZANEGO PRZYROSTOWO STOPU Ti-5553	18
Tomasz Durejko	18
SPERSONALIZOWANE IMPLANTY WYTWARZANE ZE STOPÓW TYTANU	19
Piotr Piszczek	19
CHARAKTERYSTYKA POWŁOK CHITOZANU Z CELULOZĄ I KURKUMINĄ NA PODŁOŻACH TYTANU TECHNICZNEGO	20
Robert Karpiński	20
BIOFILM FORMATION ON MEDICAL TITANIUM SURFACES	21
KOMPOZYTY NA BAZIE TYTANU Z DODATKIEM HYDROKSYAPATYTU POD ZASTOSOWANIA NA IMPLANTY KOSTNE	22
Edyta Kosińska	22
PAMIĘĆ KSZTAŁTU W ELEMENTACH ZE STOPÓW NITI SPAWANYCH LASEROWO	23
Karol Gryń	23
METALURGIA PROSZKÓW JAKO PROCES WYTWARZANIA GRADIENTOWYCH KOMPOZYTÓW TYTANOWO-CERAMICZNYCH	24
Julia Sadlik	24
WARSTWA POLIDOPAMINOWA JAKO ŁĄCZNIK PODŁOŻY TYTANOWYCH I NANOCZĄSTEK BIOLOGICZNIE AKTYWNYCH	25

Paulina Armatys.....	25
STRUKTURA I WŁAŚCIWOŚCI NOWEGO POROWATEGO MATERIAŁU ZŁOŻONEGO Z MIKROCZĄSTEK TYPU "CORE-SHELL" WYTWARZANEGO METODĄ METALURGII PROSZKÓW....	26
Grzegorz Dercz.....	26
PAMIĘĆ KSZTAŁTU W STOPACH NA BAZIE TINi	27
Tomasz Goryczka	27
OBRAZOWANIE I POMIARY W TOMOGRAFII.....	28
Krzysztof Pałka.....	28
BADANIA TRWAŁOŚCI FUNKCJONALNYCH POKRYĆ HYBRYDOWYCH W WARUNKACH <i>IN VITRO</i>	29
Angelika Senator.....	29
CZY NANOSTRUKTURYZACJA POWIERZCHNI TYTANU JEST UNIWERSALNĄ METODĄ OBRÓBK IMPLANTÓW ORTOPEDYCZNYCH?	30
Ewa Stodolak-Zych	30
FUNKCJONALNE POKRYCIA HYBRYDOWE JAKO NOWE ROZWIĄZANIE W MEDYCYNIE REGENERACYJNEJ.....	31
Bartłomiej Boruchowski	31
ODPOWIEDŹ ZAPALNA A EFEKTYWNOŚĆ BIOMATERIAŁÓW TYTANOWYCH W GOJENIU I REGENERACJI TKANEK	32
Anna Ścistowska-Czarnecka	32
TYTANOWE IMPLANTY ZYGOMATYCZNE- STUDIUM PRZYPADKU	33
Monika Ostapiuk.....	33
MECHANIZMY TWORZENIA WODORKÓW TYTANU NA DRODZE SAMOMIELENIA REAKTYWNEGO W TEMPERATURZE POKOJOWEJ.....	34
Iwona Wyrębska	34
SYNTEZA WODORKU TYTANU METODĄ REAKTYWNEGO SAMOMIELENIA - MODELOWANIE I EKSPERYMENT	35
Iwona Wyrębska	35
NANOKOMPOZYTOWE, SUPERHYDROFOBOWE POWŁOKI NA POWIERZCHNI TYTANU	36
Elżbieta Długoń.....	36
ANTYBAKTERYJNE POWŁOKI NA POWIERZCHNI TYTANU WYTWARZANE Z ZOLI KRZEMOWO/CYRKONOWYCH.....	37
Elżbieta Długoń.....	37
WARSTWY ZOL-ŻEL Z NANOCZĄSTKAMI CERAMICZNYMI NA IMPLANTACH TYTANOWYCH – OCENA WŁAŚCIWOŚCI POWIERZCHNIOWYCH, CYTOTOKSYCZNOŚCI I DZIAŁANIA ANTYBAKTERYJNEGO	38
Katarzyna Matysiak	38

Program Konferencji

4 MAJA NIEDZIELA		
16:00 – 20:00 REJESTRACJA UCZESTNIKÓW		
18:00 – 20:00 KOLACJA		
5 MAJA PONIEDZIAŁEK		
7:30 – 9:00 ŚNIADANIE		
9:15 OTWARCIE KONFERENCJI		
Sesja 1 Tytan w medycynie		
9:30 10:15	Wpływ procesu zapalnego na funkcjonalność biomateriałów tytanowych w gojeniu i regeneracji tkanek	Anna Ścisłowska - Czarnecka
10:15 10:30	Biofilm formation on medical titanium surfaces	David Mrosek, <u>Nataniel Białas</u> , Aileen Winter, Kateryna Loza, Matthias Eppele
10:30 10:40	Warstwa polidopaminowa jako łącznik podłoży tytanowych i nanocząstek biologicznie aktywnych	<u>Paulina Armatys</u> , Zuzanna Burkiewicz, Elżbieta Długoń, Ewa-Stodolak-Zych
10:40 10:50	Porównanie modyfikacji nanostrukturyzowanej powierzchni tytanowej za pomocą związków o właściwościach antybakteryjnych	<u>Zuzanna Burkiewicz</u> , Paulina Armatys, Ewa Stodolak-Zych
10:50 11:00	Warstwy zol-żel z nanocząstkami ceramicznymi na implantach tytanowych – ocena właściwości powierzchniowych, cytotoksyczności i działania antybakteryjnego	<u>Katarzyna Matysiak</u> , Elżbieta Menaszek, Karolina Klesiewicz, Katarzyna Cholewa – Kowalska, Magdalena Ziąbka
11:00 – 11:30 PRZERWA KAWOWA		

Sesja 2 Biomateriały funkcjonalne – mikrostruktura i obrazowanie		
11:30 12:00	Obrazowanie i pomiary w tomografii	<u>Krzysztof Pałka</u>
12:00 12:15	Funkcjonalne biomateriały tytanowe - wpływ mikrostruktury i dodatków na odpowiedź biologiczną	<u>Barbara Szaraniec</u>
12:15 12:30	Gradientowe kompozyty Ti/HAp	<u>Agnieszka Tomala</u> , Julia Sadlik, Edyta Kosińska, Magdalena Bańkosz
12:30 12:40	Funkcjonalne pokrycia hybrydowe jako nowe rozwiązanie w medycynie regeneracyjnej	<u>Bartłomiej Boruchowski</u> , Karol Gryń, Barbara Szaraniec
12:40 12:50	Badania trwałości funkcjonalnych pokryw hybrydowych w warunkach <i>in vitro</i>	<u>Angelika Senator</u> , Bartłomiej Boruchowski, Barbara Szaraniec
13:00 – 14:00 OBIAD		
Sesja 3 Modyfikacja powierzchni tytanu i jego stopów		
14:30 15:15	Zastosowanie metod elektrochemicznych w modyfikacji powierzchni tytanu i jego stopów	Wojciech Simka
15:15 15:30	Modyfikacje powierzchniowe stopu tytanowego Ti6Al4V celem uzyskania optymalnego biomateriału dla potrzeb ortopedii	<u>Aleksandra Radtke</u> , Michalina Ehlert, Katarzyna Roszek, Tomasz Jędrzejewski, Piotr Piszczek
15:30 15:45	Czy nanostrukturyzacja powierzchni tytanu jest uniwersalną metodą obróbki implantów ortopedycznych?	<u>Ewa Stodolak-Zych</u>
15:45 15:55	Wytwarzanie powłok hydroksyapatytowych na tlenkowo zmodyfikowanych powierzchniach podłoży ze stopu Ti6Al4V	<u>Michalina Ehlert</u> , Aleksandra Radtke, Tomasz Jędrzejewski, Katarzyna Roszek, Michał Bartmański, Piotr Piszczek
15:55 16:05	Charakterystyka powłok chitozanu z celulozą i kurkuminą na podłożach tytanu technicznego	<u>Robert Karpiński</u> , Aleksandra Błoniarz, Sławomir Kąc, Agnieszka Kopia, Alicja Łukaszczyk, Tomasz Moskaiewicz
16:05 16:15	Modyfikacja powierzchni implantów tytanowych metodami EPD/dip-coating: analiza struktury oraz właściwości biologicznych	<u>Maria Biegun-Żurowska</u> , Tomasz Goryczka, Elżbieta Menaszek, Karolina Klesiewicz, Magdalena Ziąbka

16:15 – 16:45 PRZERWA KAWOWA		
Sesja 4 Stopy tytanu z pamięcią kształtu		
16:45 17:30	Pamięć kształtu w stopach na bazie NiTi	Tomasz Goryczka
17:30 17:45	Pamięć kształtu w elementach ze stopów NiTi spawanych laserowo	<u>Karol Gryń</u>
17:45 18:00	Wpływ dodatku Cu na strukturę oraz właściwości stopów o wysokiej entropii (TiTaNbZr) _{100-x} Cu _x do potencjalnych zastosowań biomedycznych i antybakteryjnych	<u>Karsten Glowka</u> , Maciej Zubko, Krystian Prusik, Grzegorz Dercz, Paweł Świec, Edyta Matyja, Danuta Stróż
18:00 18:15	Nanokrystaliczne stopy NiTi wytworzone przez walcowanie na zimno w stanie martenzytycznym	Paweł Świec, Maciej Zubko, György Zoltán Radnóczy, Danuta Stróż
19:30 BANKIET		
6 MAJA WTOREK		
7:30 – 9:00 ŚNIADANIE		
9:00 Wycieczka - Spływ Dunajcem		
14:00 – 15:00 OBIAD		

Sesja 5 Nowoczesne stopy tytanu i kompozyty		
16:00 16:30	Tytan tu i ówdzie w technologii zgrzewania wybuchowego	Zygmunt Szulc
16:30 16:45	Struktura i właściwości nowego porowatego materiału złożonego z mikrocząsteczek typu „core-shell” wytwarzanego metodą metalurgii proszków	Grzegorz Dercz, Izabela Matuła, Maciej Zubko
16:45 17:00	Analiza struktury i właściwości wytwarzanego przyrostowo stopu Ti-5553	Tomasz Durejko, Izabela Mierzejewska, Anna Antolak-Dudka, Mateusz Kopeć, Tomasz Czujko
17:00 17:15	Wpływ wybranych dodatków na procesy w metalurgii proszków dla stopu Ti-Mo	Izabela Matuła, Grzegorz Dercz
17:15 17:30	Mechanizmy tworzenia wodorków tytanu na drodze samomielenia reaktywnego w temperaturze pokojowej	Marek Polański; Iwona Wyrębska; Robert Chulist; Dariusz Siemiaszko; Paweł Płatek
17:30 17:40	Wytwarzanie materiałów fotokatalitycznych opartych na tlenku tytanu z wykorzystaniem procesu plazmowego utleniania elektrochemicznego	Agata Kołkowska, Marta Wala-Kapica, Aleksander Olesiński, Artur Maciej, Joanna Michalska, Wojciech Simka
17:40 17:50	Synteza wodorku tytanu metodą reaktywnego samomielenia - modelowanie i eksperyment	Iwona Wyrębska, Marek Polański, Paweł Płatek, Dariusz Siemiaszko
18:30 BIESIADA W KARCZMIE NAD POTOKIEM		
7 MAJA ŚRODA		
7:30 – 9:00 ŚNIADANIE		
9:30 10:30	Sesja posterowa	
10:30 11:15	Tytan w Polsce – od czego zaczęliśmy, gdzie jesteśmy, do czego zmierzamy?	Wojciech Szkliniarz
11.15 12:00	Panel dyskusyjny	
12:00	Zakończenie konferencji - ogłoszenie wyników konkursu, wręczenie nagród	
12:30 – 13:30 Obiad		

Spis posterów:

1	Warstwa polidopaminowa jako łącznik podłoży tytanowych i nanocząstek biologicznie aktywnych	<u>Paulina Armatys</u> , Zuzanna Burkiewicz, Elżbieta Długoń, Ewa-Stodolak-Zych
2	Porównanie modyfikacji nanostrukturyzowanej powierzchni tytanowej za pomocą związków o właściwościach antybakteryjnych	<u>Zuzanna Burkiewicz</u> , Paulina Armatys, Ewa Stodolak-Zych
3	Warstwy zol-żel z nanocząstkami ceramicznymi na implantach tytanowych – ocena właściwości powierzchniowych, cytotoksyczności i działania antybakteryjnego	Katarzyna Matysiak, Elżbieta Menaszek, Karolina Klesiewicz, Katarzyna Cholewa – Kowalska, Magdalena Ziąbka
4	Funkcjonalne pokrycia hybrydowe jako nowe rozwiązanie w medycynie regeneracyjnej	<u>Bartłomiej Boruchowski</u> , Karol Gryń, Barbara Szaraniec
5	Badania trwałości funkcjonalnych pokryć hybrydowych w warunkach <i>in vitro</i>	<u>Angelika Senator</u> , Bartłomiej Boruchowski, Barbara Szaraniec
6	Wytwarzanie powłok hydroksyapatytowych na tlenkowo zmodyfikowanych powierzchniach podłoży ze stopu Ti6Al4V	<u>Michalina Ehlert</u> , Aleksandra Radtke, Tomasz Jędrzejewski, Katarzyna Roszek, Michał Bartmański, Piotr Piszczek
7	Charakterystyka powłok chitozanu z celulozą i kurkumą na podłożach tytanu technicznego	<u>Robert Karpiński</u> , Aleksandra Błoniarz, Sławomir Kąc, Agnieszka Kopia, Alicja Łukaszczyk, Tomasz Moskalewicz
8	Modyfikacja powierzchni implantów tytanowych metodami EPD/dip-coating: analiza struktury oraz właściwości biologicznych	<u>Maria Biegun-Żurowska</u> , Tomasz Goryczka, Elżbieta Menaszek, Karolina Klesiewicz, Magdalena Ziąbka
9	Wytwarzanie materiałów fotokatalitycznych opartych na tlenku tytanu z wykorzystaniem procesu plazmowego utleniania elektrochemicznego	<u>Agata Kołkowska</u> , Marta Wala-Kapica, Aleksander Olesiński, Artur Maciej, Joanna Michalska, Wojciech Simka
10	Synteza wodorku tytanu metodą reaktywnego samomielenia - modelowanie i eksperyment	<u>Iwona Wyrębska</u> , Marek Polański, Paweł Płatek, Dariusz Siemiaszko
11	Metalurgia proszków jako proces wytwarzania gradientowych kompozytów tytanowo-ceramicznych.	<u>Julia Sadlik</u> , Edyta Kosińska, Agnieszka Tomala
12	Kompozyty na bazie tytanu z dodatkiem hydroksyapatytu pod zastosowania na implanty kostne.	Edyta Kosińska, Julia Sadlik, Agnieszka Tomala
13	Spersonalizowane implanty ze stopów tytanu	<u>Piotr Piszczek</u> , Aleksandra Radtke, Michalina Ehlert
14	Tytanowe implanty zygomatyczne- studium przypadku	<u>Monika Ostapiuk</u> , Paweł Aleksandrowicz, Jarosław Bieniaś

WYTWARZANIE MATERIAŁÓW FOTOKATALITYCZNYCH OPARTYCH NA TLENKU TYTANU Z WYKORZYSTANIEM PROCESU PLAZMOWEGO UTLENIANIA ELEKTROCHEMICZNEGO

FORMATION OF PHOTOCATALYTIC MATERIALS BASED ON TITANIUM OXIDE WITH THE USE OF THE PLASMA ELECTROLYTIC OXIDATION PROCESS

Agata Kołkowska^{*1,2}, Marta Wala-Kapica², Aleksander Olesiński², Artur Maciej²,
Joanna Michalska², Wojciech Simka²

¹ Politechnika Śląska, Studenckie Koło Naukowe Chemików, Wydział Chemiczny, Gliwice, Polska

² Politechnika Śląska, Wydział Chemiczny, Gliwice, Polska

*agatkol653@student.polsl.pl

Słowa Kluczowe

plazmowe utlenianie elektrochemiczne, fotokataliza, warstwa tlenkowa

Abstrakt

Współczesne oczyszczalnie ścieków nie są w pełni przystosowane do eliminacji wszystkich zanieczyszczeń obecnych w dopływających do nich strumieniach. Szczególnym problemem są substancje farmaceutyczne, które, nawet w śladowych stężeniach na poziomie ng/l, mogą negatywnie oddziaływać na środowisko. Jednym z obiecujących rozwiązań tego problemu jest fotokataliza, umożliwiająca degradację takich związków do nieszkodliwej postaci [1].

Wśród badanych fotokatalizatorów tlenek tytanu (TiO₂) cieszy się szczególnym zainteresowaniem jako związek nietoksyczny, stabilny, odporny chemicznie i na korozję oraz tani. Jednak ze względu na szeroką przerwę energetyczną jego efektywność w zakresie światła widzialnego jest ograniczona, co wymaga modyfikacji materiału poprzez domieszkowanie innymi pierwiastkami. W związku z tym podjęto badania nad wytworzeniem warstwy tlenkowej na powierzchni tytanu metodą plazmowego utleniania elektrochemicznego (PEO), z jednoczesnym wbudowaniem żelaza w jej strukturę, co ma na celu poprawę właściwości fotokatalitycznych materiału [2].

Do wytworzenia warstw zastosowano bipolarny, impulsowy proces PEO, stosując różne napięcia graniczne. Wykorzystano elektrolit na bazie krzemianu sodu z dodatkiem wodorotlenku żelaza w różnych stężeniach.

Otrzymane warstwy powinny być porowate i charakteryzować się rozbudowaną powierzchnią właściwą. Zmiana parametrów prądowych znacząco wpływa na morfologię wytworzonej warstwy. Proces fotokatalizy jako przykład katalizy heterogenicznej, zachodzi na powierzchni, dlatego rozwinięta powierzchnia właściwa fotokatalizatora może korzystnie wpłynąć na efektywność procesu. Badania będą kontynuowane w celu określenia faktycznego stopnia konwersji oraz rozkładu przykładowych związków organicznych, zarówno barwników, jak i farmaceutyków.

Literatura

- [1] Ren G., Han H., Wang Y., Liu S., Zhao J., Meng X., Li Z., Recent Advances of Photocatalytic Application in Water Treatment: A Review, *Nanomaterials* (Basel) 11 (2021) 1804.
- [2] Armaković S. J., Savanović M. M., Armaković S., Titanium Dioxide as the Most Used Photocatalyst for Water Purification: An Overview, *Catalysts* 13 (2023) 26.

MODYFIKACJA POWIERZCHNI IMPLANTÓW TYTANOWYCH METODAMI EPD/DIP-COATING: ANALIZA STRUKTURY ORAZ WŁAŚCIWOŚCI BIOLOGICZNYCH

SURFACE MODIFICATION OF TITANIUM IMPLANTS BY EPD/DIP-COATING METHODS: STRUCTURAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES ANALYSIS

Maria Biegun-Żurowska^{*1}, Tomasz Goryczka², Elżbieta Menaszek³, Karolina Klesiewicz³, Magdalena Ziabka¹

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska

² Uniwersytet Śląski w Katowicach, Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych, Ul. Bankowa 14, 40-007 Katowice, Polska

³ Uniwersytet Jagielloński w Krakowie, Wydział Farmaceutyczny, Ul. Medyczna 9, [30-688 Kraków](#), Polska

*biegun@agh.edu.pl

Słowa Kluczowe

implanty tytanowe, elektroforetyczne osadzanie powłok, warstwy antybakteryjne, chitozan

Abstrakt

W obliczu postępującego procesu starzenia się populacji oraz wzrastającej liczby urazów ortopedycznych zarówno u ludzi, jak i zwierząt, prowadzone są badania nad zaawansowanymi metodami modyfikacji powierzchni implantów kostnych. Tytan oraz jego stopy, dzięki optymalnemu połączeniu właściwości mechanicznych i biologicznych, stanowią jedne z najczęściej stosowanych materiałów w implantologii. Niemniej jednak, ich zastosowanie wiąże się z ryzykiem wystąpienia niepożądanych reakcji biologicznych, takich jak infekcje bakteryjne czy martwica tkanek wokół wszczepu. Ponadto, narastająca oporność mikroorganizmów na antybiotyki stanowi istotne wyzwanie, podkreślając potrzebę opracowania innowacyjnych rozwiązań mających na celu poprawę funkcjonalności implantów tytanowych.

Celem niniejszych badań było stworzenie układu warstwowego zawierającego chitozan, nanocząstki azotku tytanu oraz nanocząstki metali szlachetnych, zapewniającego ochronę antybakteryjną przy jednoczesnym zachowaniu biokompatybilności implantów. Warstwy osadzono na powierzchni trawionego stopu Ti6Al4V stosując metodę elektroforetycznego osadzania (EPD) z zawiesin chitozanu i nanocząstek azotku tytanu. Następnie, wykorzystując metodę zanurzeniową (dip-coating), nałożono warstwę zewnętrzną z polilaktydu (PLA) wzbogaconą nanocząstkami srebra i złota.

Uzyskane warstwy poddano analizie strukturalnej za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM+EDS) oraz dyfrakcji rentgenowskiej (XRD). Przeprowadzono także badania właściwości powierzchniowych, w tym zwilżalności i chropowatości. Skuteczność antybakteryjną warstw oceniono wobec szczepów bakterii *S. aureus* i *E. coli*, wykonano również wstępne badania biokompatybilności materiałów.

Obserwacje SEM potwierdziły jednorodne osadzenie nanocząsteczek azotku tytanu w warstwie EPD. Przeprowadzona analiza EDS wykazała zgodność składu powłok z założeniami. Dodatkowa warstwa polimerowa obniżyła chropowatość powierzchni oraz zwiększyła jej hydrofilowość.

Uzyskane wyniki badań biologicznych sugerują zasadność dalszych badań nad opracowanymi układami warstwowymi w celu ich kompleksowej oceny pod kątem zastosowań w implantologii kostnej.

Praca została sfinansowana w ramach programu „Inicjatywa Doskonałości Uczelnia Badawcza” dla Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, granty o numerach 4089 i 1449.

WYTWARZANIE POWŁOK HYDROKSYAPATYTOWYCH NA TLENKOWO ZMODYFIKOWANYCH POWIERZCHNIACH PODŁOŻY ZE STOPU Ti6Al4V

PRODUCTION OF HYDROXYAPATITE COATINGS ON OXIDE-MODIFIED SURFACES OF Ti6Al4V ALLOY SUBSTRATES

Michalina Ehlert^{*1}, Aleksandra Radtke^{2,3}, Tomasz Jędrzejewski⁴, Katarzyna
Roszek⁴, Michał Bartmański⁵, Piotr Piszczek^{2,3}

¹ Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Interdyscyplinarne Centrum Nowoczesnych Technologii,
ul. Wileńska 4, Toruń, 87-100, Polska

² Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wydział Chemii, ul. Gagarina 7, Toruń, 87-100, Polska

³ Nano-implant Sp. z o.o., Gagarina 7/47, Toruń, 87-100, Polska

⁴ Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wydział Nauk Biologicznych i Weterynaryjnych, ul.
Lwowska 1, Toruń, 87-100, Polska

⁵ Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa, ul. G. Narutowicza 11/12,
Gdańsk, 82-233, Polska

*m.ehlert@umk.pl

Słowa Kluczowe

Ti6Al4V, hydroksyapatyt, nanowarstwy TiO₂, tytaniumy, katodowe elektroosadzanie

Abstrakt

Wśród materiałów stosowanych w produkcji np. implantów ortopedycznych i stomatologicznych szczególną rolę odgrywają materiały metalowe [1-5]. Nasze badania koncentrowały się na modyfikacji powierzchni implantów ze stopu Ti6Al4V. Założono, że głównym efektem przeprowadzonych badań będzie przygotowanie prototypu implantów stomatologicznych i ortopedycznych, które będą miały aktywną warstwę wspomagającą regenerację kości. W pierwszym etapie badań przeprowadzono modyfikacje powierzchni próbek stopu Ti6Al4V, co doprowadziło do uzyskania tlenków tytanu o różnej morfologii, strukturze oraz właściwościach mechanicznych i biologicznych [1-3]. W drugim etapie zastosowano wysoce biokompatybilne nanowarstwy tlenkowe jako warstwy pośrednie (IL) i wytworzono układy Ti6Al4V/IL/HA. Warstwy pośrednie stanowiły łącznik między powłoką hydroksyapatytu (HA) a podłożem stopu Ti6Al4V [4-5]. Ich celem była poprawa wytrzymałości wiązania między podłożem metalicznym a powłoką HA przy zachowaniu odpowiednich właściwości fizykochemicznych i biologicznych układu. Układy pokryte hydroksyapatytem scharakteryzowano pod względem ich właściwości fizykochemicznych, mechanicznych i biologicznych. Efektem badań jest opracowanie metody dwuetapowej modyfikacji (TNT5/HA) implantu ze stopu Ti6Al4V, co stanowi innowacyjne rozwiązanie gotowe do zastosowania w produkcji nowej generacji implantów stomatologicznych i ortopedycznych.

Literatura

- [1] Ehlert, M.; Roszek, K.; Jędrzejewski, T.; Bartmański, M.; Radtke, A.; Int J of Mol Sciences (2019), 20, 5642
- [2] Ehlert, M.; Radtke, A.; Jędrzejewski, T.; Roszek, K.; Bartmański, M.; Piszczek, P.; Materials (2020), 13, 1574
- [3] Ehlert, M.; Radtke, A.; Roszek, K.; Jędrzejewski, T.; Piszczek, P.; Materials (2021), 14, 806
- [4] Ehlert, M.; Radtke, A.; Bartmański, M.; Piszczek, P.; Materials (2022), 15, 6925,
- [5] Ehlert, M.; Radtke, A.; Forbot, N.; Jędrzejewski, T.; Roszek, K.; Golińska, P.; Trykowski, G.; Piszczek, P.; J Funct Biomater (2022), 13, 271

WPŁYW WYBRANYCH DODATKÓW NA PROCESY W METALURGII PROSZKÓW DLA STOPU TI-MO

THE INFLUENCE OF SELECTED ADDITIVES ON POWDER METALLURGY PROCESSES FOR THE TI-MO ALLOY

Izabela Matuła^{*1}, Grzegorz Dercz¹

¹ Institute of Materials Engineering, University of Silesia in Katowice, 75 Pułku Piechoty Street 1 A,
41-500 Chorzów, Poland

Słowa kluczowe

Stop Ti-Mo, metalurgia proszków, dodatki pierwiastkowe, skład fazowy, mikrostruktura

Abstrakt

Metalurgia proszków stanowi obiecującą metodę wytwarzania materiałów na bazie tytanu, umożliwiając kontrolę składu chemicznego, mikrostruktury oraz porowatości wytwarzanych elementów przy jednoczesnej możliwości łączenia pierwiastków o dużej różnicy gęstości czy temperatury topienia. Dzięki zastosowaniu metalurgii proszków możliwe jest kształtowanie stopów o złożonej mikrostrukturze, a także materiałów o funkcjonalnych gradientach składu chemicznego, co czyni tę technologię szczególnie atrakcyjną w potencjalnych zastosowaniach biomedycznych oraz inżynierskich.

W prezentowanej pracy podjęto próbę zgłębienia mechanizmów zachodzących podczas mielenia oraz zbadano wpływ wybranych dodatków pierwiastków (Sn, Ag, Cu) na przebieg syntezy materiałów Ti-Mo.

Celem badań była ocena, w jaki sposób zastosowane dodatki w udziale 2 %wag. wpływają na aglomerację cząstek, skład fazowy oraz wykazanie ich potencjalnej możliwości zastosowania jako PCA (process control agent).

Próbki przygotowano metodą metalurgii proszków. Wykonano analizy przy użyciu mikroskopii skaningowej (SEM) oraz dyfrakcji rentgenowskiej (XRD), co pozwoliło na szczegółową analizę morfologii cząstek i składu fazowego. Wyniki badań wykazały, że zastosowane dodatki pierwiastków istotnie wpływają na zachowanie proszków w trakcie procesu, otrzymanego uzysku oraz prowadzą do różnic w aglomeracji. Uzyskane wyniki mogą stanowić podstawę do dalszej optymalizacji technologii wytwarzania materiałów na bazie tytanu, w tym stopów Ti-Mo, zwłaszcza w kontekście projektowania zaawansowanych materiałów o kontrolowanej strukturze i właściwościach, potencjalnie przeznaczonych do zastosowań inżynierskich i biomedycznych.

PORÓWNANIE MODYFIKACJI NANOSTRUKTURYZOWANEJ POWIERZCHNI TYTANOWEJ ZA POMOCĄ ZWIĄZKÓW O WŁAŚCIWOŚCIACH ANTYBAKTERYJNYCH

COMPARISON OF MODIFICATIONS OF NANOSTRUCTURED TITANIUM SURFACES USING COMPOUNDS WITH ANTIBACTERIAL PROPERTIES

Zuzanna Burkiewicz^{*1}, Paulina Armatys², Ewa Stodolak-Zych²

¹ Akademia Górniczo- Hutnicza, WEALiB, al. Adama Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska

² Akademia Górniczo- Hutnicza, WIMIC, al. Adama Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska

*zburkiewicz@student.agh.edu.pl

Słowa Kluczowe

antybakteryjność, srebro, cynk, magnez, nanostrukturyzacja powierzchni, modyfikacja powierzchni

Abstrakt

Zakażenia bakteryjne są jednym z najczęstszych i najgroźniejszych problemów związanych z implantacją materiałów do organizmu człowieka [1]. W zależności od rodzaju i miejsca zabiegu częstość występowania zakażenia może znacznie się różnić i wynosić powyżej 20% [2]. Analiza dotychczasowych danych wskazuje, że pacjenci po endoprotezoplastyce z zastosowaniem tytanowych rozwiązań doświadczają powikłań infekcyjnych w zależności od miejsca implantacji na poziomie: kolana 0,5-2%, biodra 0,3-1,7% oraz stawu skokowego 2-9% [3]. Ponadto predykcje Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) sugerują, że przez następne lata będzie można zaobserwować wzrost infekcji okołowszczepowych ze względu na stale rosnącą antybiotykoodporność bakterii [4]. Naturalnym rozwiązaniem tego problemu wydaje się użycie cząstek bakteriobójczych [5–6].

W pracy wykorzystano podłoża tytanowe o powierzchni nanostrukturyzowanej za pomocą nadtlenu wodoru (30% H₂O₂), które modyfikowano chemicznie solami metali o charakterze biobójczym: azotan cynku (Zn(NO₃)₂ · 6H₂O), azotan srebra (AgNO₃) i azotan magnezu (Mg(NO₃)₂ · 6H₂O). Analiza mikrostruktury podłoży tytanowych przed i procesie nanostrukturyzacji wykazała większe rozwinięcie powierzchniowe i zwiększoną zawartość tlenu w warstwie powierzchni oksydowanej.

Wpływ modyfikacji powierzchni za pomocą związków bakteriobójczych zbadano poprzez badanie kąta zwilżania, chropowatości powierzchni oraz stopnia redukcji bakterii. We wszystkich przypadkach modyfikacja powierzchni związkami bakteriobójczymi przyczyniła się do spadku kąta zwilżania, wzrostu swobodnej energii powierzchniowej oraz nie wpłynęła w stopniu znaczącym na nanostrukturę materiału. Zarówno modyfikacja za pomocą Ag jak i Zn wykazała redukcję bakterii w stosunku do materiału niemodyfikowanego – dla bakterii *E.coli* Ag: 99,99%, Zn:10,14 %, dla bakterii *S.aureus* Ag: 83,69%, Zn 46,10%. Podłoża modyfikowane magnezem nie wykazały właściwości bakteriobójczych.

Praca została zrealizowana dzięki subwencji Ministra Edukacji i Nauki dla Akademii Górniczo Hutniczej w Krakowie (projekt nr 16.16.160.557).

Literatura

1. Moriarty, T.F. et al.; Bacterial Adhesion and Biomaterial Surfaces. In *Comprehensive Biomaterials II*; Elsevier, 2017; pp. 101–129 ISBN 978-0-08-100692-4.
2. Rafał Pokrowiecki, Tyski Stefan, i Zaleska Małgorzata, „Problematyka Zakażeń Okołowszczepowych”, Mar. 2014, [Online]. Dostępne Na: <http://Am-Online.Org/Web/Archiwum/Vol5322014123.Pdf>.
3. Mahmoudi, P. et al.; Antibacterial Ti–Cu Implants: A Critical Review on Mechanisms of Action. *Materials Today Bio* 2022, 17, 100447, doi:10.1016/j.mtbio.2022.100447.
4. World Health Organization *Antimicrobial Resistance: Global Report on Surveillance*; World Health Organization: Geneva, 2014; ISBN 978-92-4-156474-8.
5. Zhou, J. et al.; Hybrid Zinc Oxide Nanocoating on Titanium Implants: Controlled Drug Release for Enhanced Antibacterial and Osteogenic Performance in Infectious Conditions. *Acta Biomaterialia* 2024, 189, 589–604, doi:10.1016/j.actbio.2024.09.039.
6. Andjelković, L. et al.; Mechanical Activation and Silver Supplementation as Determinants of the Antibacterial Activity of Titanium Dioxide Nanoparticles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 2024, 691, 133890, doi:10.1016/j.colsurfa.2024.133890.

WPLYW DODATKU Cu NA STRUKTURĘ ORAZ WŁAŚCIWOŚCI STOPÓW O WYSOKIEJ ENTROPII (TiTaNbZr)_{100-x}Cu_x

THE INFLUENCE OF Cu ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF (TiTaNbZr)_{100-x}Cu_x HIGH ENTROPY ALLOYS

Karsten Głowka^{*1,2}, Maciej Zubko^{2,3}, Krystian Prusik², Grzegorz Dercz², Paweł Świec^{2,4}, Edyta Matyja², Danuta Stróż²

¹Akademickie Centrum Materiałów i Nanotechnologii, Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica, ul. A. Mickiewicza 30 30-059 Kraków, Polska

²Instytut Inżynierii Materiałowej, Uniwersytet Śląski, ul. 75 Pułku Piechoty 1A 41-500 Chorzów, Polska

³Department of Physics, University of Hradec Králové, ul. Rokitanského
62 50-003 Hradec Králové, Czechy

⁴Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN, ul. Reymonta 25 30-059 Kraków, Polska

* karsten.glowka@agh.edu.pl

Słowa Kluczowe

stopy o wysokiej entropii, biomedyczne stopy o wysokiej entropii, struktura, właściwości

Abstrakt

Dane literaturowe wskazują na rosnące zainteresowanie zastosowaniem biomedycznych stopów o wysokiej entropii (ang. *Biomedical High Entropy Alloys* – bio-HEAs) w medycynie. Stopy takie muszą wykazywać wysoką biokompatybilność, odporność korozyjną oraz korzystne właściwości mechaniczne i odporność na zużycie. Najnowsze doniesienia podkreślają również znaczący potencjał połączenia właściwości biomedycznych bio-HEAs z działaniem antybakteryjnym. W związku z tym składy chemiczne biomedycznych stopów o wysokiej entropii modyfikuje się poprzez dodatek miedzi (Cu) i/lub srebra (Ag) [1,2].

W przeprowadzonych badaniach wytworzono stopy o składzie (TiTaNbZr)_{100-x}Cu_x (gdzie x = 0, 10, 20 at.%) ze zmiennym stężeniem Cu. Materiały poddano charakterystyce z wykorzystaniem dyfrakcji rentgenowskiej, mikroskopii elektronowej oraz spektroskopii dyspersji energii. Przeanalizowano również ich biokompatybilność oraz właściwości antybakteryjne, tribologiczne i mechaniczne. Stopy nie wykazywały właściwości antybakteryjnych, ale cechowały się wysoką biokompatybilnością. Dodatek Cu korzystnie wpłynął też na właściwości tribologiczne. Uzyskane wyniki wykazują potencjał dalszego rozwoju.

Literatura

- [1] T. G. de Oliveira, D. V. Fagundes, P. Capellato, D. Sachs, A. A. A. P. da Silva, A Review of Biomaterials Based on High-Entropy Alloys, *Metals* (2022) 1-20
- [2] E. Zhang, X. Zhao, J. Hu, R. Wang, S. Fu, G. Qin, Antibacterial metals and alloys for potential biomedical implants, *Bioact. Mater.* (2021) 2569-2612

MODYFIKACJE POWIERZCHNIOWE STOPU TYTANU Ti6Al4V CELEM OTRZYMANIA OPTIMALNEGO BIOMATERIAŁU DLA POTRZEB ORTOPEDII

SURFACE MODIFICATION OF Ti6Al4V TITANIUM ALLOY TO OBTAIN AN OPTIMAL BIOMATERIAL FOR ORTHOPEDIC NEEDS

**Aleksandra Radtke^{*1,2}, Michalina Ehlert³, Katarzyna Roszek⁴, Tomasz
Jędrzejewski⁴, Michał Bartmański⁵, Piotr Piszczek^{1,2}**

¹ Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wydział Chemii, ul. Gagarina 7, Toruń, 87-100, Polska

² Nano-implant Sp. z o.o., Gagarina 7/47, Toruń, 87-100, Polska

³ Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Interdyscyplinarne Centrum Nowoczesnych Technologii,
ul. Wileńska 4, Toruń, 87-100, Polska

⁴ Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wydział Nauk Biologicznych i Weterynaryjnych,
ul. Lwowska 1, Toruń, 87-100, Polska

⁵ Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa, ul. G. Narutowicza 11/12,
Gdańsk, 82-233, Polska

*aradtke@umk.pl

Słowa Kluczowe

stop tytanu Ti6Al4V, anodowe utlenianie, ditlenek tytanu, katodowa elektrodopozycja, hydroksyapatyt

Abstrakt

Wśród materiałów używanych do produkcji implantów ortopedycznych szczególną rolę odgrywa tytan i jego stopy. Pomimo wielu ich korzystnych właściwości, takich jak niski ciężar właściwy, wysoka odporność na korozję oraz dobra biokompatybilność w środowisku tkanek i płynów ustrojowych, materiały te wykazują słabe właściwości osteokonduktywne, niezbędne do uzyskania trwałego i stabilnego połączenia implantu z tkanką kostną. Dobrym rozwiązaniem wydaje się być wytworzenie na powierzchni implantów metalowych powłoki hydroksyapatytu. Obecnie, przeszkodą do szerszego wykorzystywania tych powłok jest ich bardzo niska adhezja do podłoża tytanowego. Celem badań była modyfikacja powierzchni implantów ze stopu Ti6Al4V, które mogą być wytwarzane między innymi w technologii 3D. W pierwszym etapie dokonano modyfikacji powierzchni stopu Ti6Al4V, otrzymując warstwy tlenków tytanu o zróżnicowanej morfologii, strukturze oraz właściwościach mechanicznych i biologicznych [1,2,3]. W etapie drugim wykorzystano te warstwy jako warstwy pośrednie (IL) i wytworzono układy typu Ti6Al4V/IL/HA [4,5]. Zadaniem warstw IL było poprawienie siły wiązania pomiędzy metalicznym podłożem a powłoką hydroksyapatytową przy zachowaniu odpowiednich właściwości fizykochemicznych oraz biologicznych układu.

Badania zostały wykonane w ramach Doktoratu Wdrożeniowego finansowanego przez MNiSW, spółkę akademicką Nano-implant Sp. z o.o. oraz UMK w Toruniu.

Literatura

- [1] Ehlert, M.; Roszek, K.; Jędrzejewski, T.; Bartmański, M.; Radtke, A.; Int J of Mol Sciences (2019), 20, 5642
- [2] Ehlert, M.; Radtke, A.; Jędrzejewski, T.; Roszek, K.; Bartmański, M.; Piszczek, P.; Materials (2020), 13, 1574
- [3] Ehlert, M.; Radtke, A.; Roszek, K.; Jędrzejewski, T.; Piszczek, P.; Materials (2021), 14, 806
- [4] Ehlert, M.; Radtke, A.; Bartmański, M.; Piszczek, P.; Materials (2022), 15, 6925,
- [5] Ehlert, M.; Radtke, A.; Forbot, N.; Jędrzejewski, T.; Roszek, K.; Golińska, P.; Trykowski, G.; Piszczek, P.; J Funct Biomater (2022), 13, 271

ANALIZA STRUKTURY I WŁAŚCIWOŚCI WYTWARZANEGO PRZYROSTOWO STOPU Ti-5553

ANALYSIS OF STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF ADDITIVELY MANUFACTURED Ti-553 ALLOY

Tomasz Durejko^{*1}, Izabela Mierzejewska^{1,2}, Anna Antolak-Dudka¹, Mateusz Kopeć², Tomasz Czujko¹

¹ Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Nowych Technologii i Chemii, ul. S. Kaliskiego, Warszawa, 00-908, Polska

² Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, ul. Pawińskiego 5B, Warszawa, 02-106, Polska
*tomasz.durejko@wat.edu.pl

Słowa Kluczowe

techniki przyrostowe, stopy tytanu, stop Ti-5553, właściwości mechaniczne

Abstrakt

Obecnie odnotowuje się coraz większe zapotrzebowanie przemysłu lotniczego na nowe stopy o podwyższonej wytrzymałości, odporności na pękanie i relatywnie wysokiej sztywności przy jednoczesnej redukcji ich masy [1]. Stosunkowo nowym stopem spełniającym większość wymagań narzuconych przez przemysł lotniczy jest metastabilny stop tytanu β Ti-5553 [2]. Tradycyjne rozwiązania produkcyjne w odniesieniu do części bazujących na stopie Ti-5553 składają się z wielu etapów obróbki cieplno-plastycznej prowadzącej do uzyskania pożądanej struktury. Dlatego też, w przypadku tego stopu interesującymi rozwiązaniami, które umożliwiają wytwarzanie części o określonej geometrii i właściwościach są metody przyrostowe typu Direct Energy Deposition (DED). W ramach niniejszej pracy skoncentrowano na ocenie wpływu czasu przerwy pomiędzy nanoszeniem kolejnych warstw na mikrostrukturę i właściwości mechaniczne stopu Ti-5553 wytwarzanego techniką DED [3, 4]. Zmianę warunków cieplnych procesu wytwarzania zrealizowano poprzez multiplikację próbek cylindrycznej w ilości 1, 2, 3 i 4 wykonywanej w jednym cyklu produkcyjnym. W ten sposób uzyskano różny czas pomiędzy nanoszeniem kolejnych warstw, co w konsekwencji wpłynęło na zmianę sposobu nagrzewania badanych próbek testowych. Wszystkie warianty technologiczne zostały poddane wygrzewaniu w temperaturze 300, 700 i 750°C przez okres 1 godziny w próżniowym piecu rurowym. Strukturę i właściwości uzyskanych w ten sposób próbek przeanalizowano analogicznie jak dla wariantów bezpośrednio po procesie LENS, dodatkowo analizując homogeniczność składu chemicznego stopu. Zaobserwowano, że pierwotna obróbka multiplikowanych próbek pozostawia trwały „ślad strukturalny” oraz istotnie wpływa na ich właściwości mechaniczne, niezależnie od przeprowadzonej obróbki po-procesowej. Szczególną uwagę zwrócono na 3-ci wariant bezpośrednio po procesie LENS, gdzie przy wysokiej granicy plastyczności i wytrzymałości na rozciąganie, odpowiednio 1198±6 MPa i 1377±11 MPa, plastyczność stopu Ti-5553 kształtuje się na poziomie 16±1%.

Literatura

- [1] K. Lu, The Future of Metals, Science 328 (2010) 319-320
- [2] H. Schwab, F. Palm, U. Kühn, J. Eckert, Microstructure and mechanical properties of the near-beta titanium alloy Ti-5553 processed by selective laser melting, Materials & Design 105 (2016) 75-80
- [3] B. Torries, S. Shao, N. Shamsaei, S.M. Thompson, Effect of interlayer time interval on the mechanical behavior of direct laser deposited ti-6Al-4V, Proceedings of the 26th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium – An Additive Manufacturing Conference Reviewed Paper (2016) 1272- 1282
- [4] E. R. Denlinger, J. C. Heigel, P. Michaleris, T.A. Palmer, Effect of inter-layer dwell time on distortion and residual stress in additive manufacturing of titanium and nickel alloys, Journal of Materials Processing Technology 215 (2015) 123-131

SPERSONALIZOWANE IMPLANTY WYTWARZANE ZE STOPÓW TYTANU

PERSONALIZED IMPLANTS MANUFACTURED FROM TITANIUM ALLOYS

Piotr Piszczek^{*1}, Aleksandra Radtke¹, Michalina Ehlert¹

¹ Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Wydział Chemii, Gagarina 7, 87-100 Toruń, Polska

*piszczek@umk.pl

Słowa Kluczowe

stop Ti6Al4V, Modyfikacje powierzchni, Nanorurki TiO₂, Nanocząstki srebra, nanowarstwy hydroksyapatytu.

Abstrakt

Tytan i jego stopy, dzięki korzystnym właściwościom biologicznym, budzą zainteresowanie jako materiały stosowane w medycynie. Jednak ich wysoki moduł sprężystości, niska aktywność powierzchniowa oraz ograniczona biokompatybilność wymagają opracowania nowych rozwiązań o ulepszonych właściwościach. Celem niniejszych badań była modyfikacja powierzchni implantów ze stopów tytanu w celu uzyskania układów o obniżonym module sprężystości, zwiększonej odporności na korozję, lepszej biokompatybilności oraz bakteriobójczej.

Amorficzne powłoki nanorurek ditlenku tytanu (TNT) o kontrolowanym składzie, morfologii, zwilżalności i właściwościach mechanicznych zostały wytworzone metodą elektrochemicznej oksydacji na powierzchni ortopedycznych implantów Ti6Al4V, wykonanych technologią selektywnego spiekania laserowego (SLS) w druku 3D. Skład chemiczny oraz właściwości strukturalne analizowano przy użyciu spektrometrii dłuspektroskopii Ramana. Dodatkowo, powłoki TNT wzbogacono nanocząstkami srebra (AgNPs) metodą chemicznego osadzania z fazy gazowej (CVD) oraz modyfikowano poprzez tworzenie warstw hydroksyapatytowych.

W eksperymentach biologicznych analizowano zarówno powłoki TNT, jak i TNT/AgNPs. Ocena aktywności biologicznej obejmowała badanie przeżywalności wybranych szczepów bakterii i grzybów metodą Alamar Blue oraz analizę aktywności metabolicznej metodą Live/Dead. Biointegralność powłok oceniono testami MTT dla fibroblastów L929 i osteoblastów MG63. Dodatkowo przeprowadzono badania immunologiczne na makrofagach RAW 264.7 oraz oznaczono poziom markerów procesu zapalnego in vitro.

Uzyskane wyniki wykazały, że badane układy skutecznie hamują kolonizację mikroorganizmów i tworzenie biofilmu w sposób zależny od szczepu. Powierzchnie TNT/AgNPs wykazały silne działanie bakteriobójcze i grzybobójcze, co może być korzystne dla biorców implantów. Natomiast zastosowanie warstwy hydroksyapatytowej pozwoliło na obniżenie modułu Younga do wartości zbliżonych do naturalnej tkanki kostnej, co sprzyja lepszej integracji implantu z organizmem.

Literatura

- [1] Piszczek, P.; Radtke, A.; Ehlert, M.; Jędrzejewski, T.; Sznarkowska, A.; Sadowska, B.; Bartmański, M.; Erdoğan, Y.K.; Ercan, B.; Jędrzejczyk, W. Comprehensive evaluation of biological properties of surface modified titanium alloy implants. *J. Clin. Med.* 2020, 9, 342.
- [2] Michalina Ehlert, Aleksandra Radtke, Katarzyna Roszek Tomasz Jędrzejewski, Piotr Piszczek, Assessment of Titanate Nanolayers in Terms of their Physicochemical and Biological Properties. *Materials* 2021, 14, 806.
- [3] M. Ehlert, A. Radtke, N. Forbot, T. Jędrzejewski, K. Roszek, P. Golińska, G. Trykowski, P. Piszczek: TiO₂/HA and Titanate/HA double-layer coatings on Ti6Al4V surface and their influence on in vitro cell growth and osteogenic potential./*Journal of Functional Biomaterials*. 2022, 13, 271.
- [4] M. Ehlert, A. Radtke, M. Bartmański, P. Piszczek: Evaluation of the cathodic electrodeposition effectiveness of the hydroxyapatite layer used in surface modification of Ti6Al4V-based biomaterials./*Materials*. 2022, 15, 6925.

CHARAKTERYSTYKA POWŁOK CHITOZANU Z CELULOZĄ I KURKUMINĄ NA PODŁOŻACH TYTANU TECHNICZNEGO

CHARACTERIZATION OF CHITOSAN COATINGS WITH CELULOSE AND CURCUMIN ON TITANIUM SUBSTRATES

Robert Karpiński^{*1}, Aleksandra Błoniarz¹, Sławomir Kąc¹, Agnieszka Kopia¹,
Alicja Łukaszczyk², Tomasz Moskalewicz¹

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej,
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

² AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Odlewnictwa, ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków
^{*}rkarpiński@agh.edu.pl

Słowa Kluczowe

tytan, celuloza, kurkumina, chitozan, EPD

Abstrakt

Tytan i jego stopy są szeroko stosowane na implanty kostne. Są one jednak podatne na tworzenie się biofilmu, co może skutkować infekcjami okołowszczepowymi. Można temu zapobiec między innymi poprzez zastosowanie powłok biopolimerowych o osnowie chitozanu, wzbogaconych w naturalne składniki antybakteryjne. Jednym z perspektywicznych naturalnych składników antybakteryjnych oraz przeciwzapalnych jest kurkumina [1]. Powłoki te mogą być jednak podatne na uszkodzenia i niedostatecznie chronić podłoże przed korozją. Właściwości takie można poprawić dodając składniki wzmacniające, np. celulozę [2]. Dogodną i ekologiczną metodą wytwarzania takich powłok jest osadzanie elektroforetyczne (EPD). Celem badań niniejszej pracy było opracowanie warunków EPD powłok chitozanu z dodatkiem kurkuminy oraz włókien celulozy na podłożach tytanu technicznego Grade 1 oraz scharakteryzowanie ich mikrostruktury, topografii powierzchni i wybranych właściwości. Wyznaczono potencjał dzeta zawieszin oraz wskazano możliwy mechanizm osadzania powłok. Zbadano także adhezję powłok do podłoża i odporność na zarysowanie. Określono wpływ powłok na zwilżalność powierzchni i odporność tytanu na korozję elektrochemiczną.

Otrzymane powłoki wykazywały dużą adhezję do podłoża, a dodatek celulozy poprawił ich odporność na zarysowanie. Mikrostruktura powłok składała się z submikrometrycznych kulistych cząstek kurkuminy oraz różnej wielkości włókien celulozy rozmieszczonych w osnowie chitozanu. Powleczone próbki cechowały się większą chropowatością i zwilżalnością powierzchni w porównaniu do podłoża. Stwierdzono również, że dodatek celulozy do powłok kurkumina/chitozan poprawił odporność korozyjną powleczonego tytanu. Wyniki badań wskazują, że możliwe jest osadzenie powłok CNF/kurkumina/chitozan o właściwościach pozwalających na ich potencjalne zastosowanie do poprawy właściwości powierzchni biomateriałów tytanowych. Badania właściwości mikrobiologicznych i cytotoksykogeniczności są w toku.

Podziękowania: Badania zostały sfinansowane w całości przez Narodowe Centrum Nauki (projekt nr 2022/45/B/ST5/00242).

Literatura

- [1] Rai M., Ingle A. P., Pandit R., Paralikar P., Anasane N., Santos C. A. D., Curcumin and curcumin-loaded nanoparticles: antipathogenic and antiparasitic activities, *Expert Rev. Anti Infect. Ther.* 18 (2020) 367–379
- [2] Atifi S., Hamad W. Y., Cathodic electrodeposition of organic nanocomposite coatings reinforced with cellulose nanocrystals, *Soft Matter*. 19 (2023) 6700–6709

BIOFILM FORMATION ON MEDICAL TITANIUM SURFACES

WZROST BIOFILMU NA TYTANOWYCH POWIERZCHNIACH MEDYCZNYCH

David Mrosek¹, Nataniel Białas ^{*1}, Aileen Winter¹,
Kateryna Loza¹, Matthias Eppele¹

¹ University of Duisburg-Essen, Inorganic Chemistry and Center for Nanointegration Duisburg-Essen (CENIDE), Universitätsstrasse 5-7, Essen, D-45141, Germany

*nataniel.bialas@uni-due.de

Keywords

titanium, calcium phosphate, cells, biofilms

Abstract

The formation of bacterial biofilms on implant surfaces is one of the major challenges in clinics. They influence implant performance and longevity and may cause severe secondary infections, whose treatment is complex and typically requires invasive surgery. Biofilms are functional microbial communities immersed in gelatinous matrices of extracellular biopolymers. The common implant materials (like titanium) are known for their excellent physicochemical and mechanical properties, which make them frequently applied in patient treatment, however, they might be also subject to bacterial colonization and biofilm development. In this study, we investigated biofilm production by bacteria (*Escherichia coli*, *Staphylococcus xylosus*) on titanium implant materials, with and without calcium phosphate (CaP) coating, and the biocompatibility of the coating with human osteoblast-like MG-63 cells. The surfaces of Ti6Al4V (a titanium alloy with 6% aluminum and 4% vanadium; titanium grade 5) plates were etched with KOH and coated with CaP from supersaturated immersion media. The coatings were characterized by scanning electron microscopy (SEM), energy-dispersive X-ray spectroscopy and X-ray powder diffraction. The biofilm formation by bacteria on the modified titanium surfaces was evaluated by crystal violet assay. SEM was also applied to visualize cell-material interactions. Titanium plates were successfully coated with a micrometer-thick layer of CaP. The coating had a flower-like topography. The presence of the coating supported bacterial adhesion and biofilm formation, especially in *E. coli*. *S. xylosus* produced dense biofilms on all samples. MG-63 cells grew well on the coated titanium (Fig. 1).

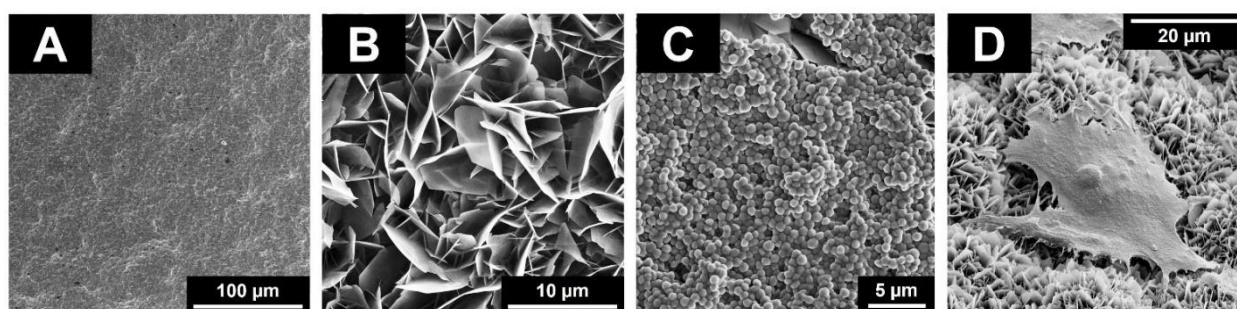


Fig. 1. Scanning electron micrographs of Ti6Al4V uncoated (A), CaP-coated (B), and CaP-coated and colonized by *S. xylosus* after 24 h (C) or MG-63 cells after 48 h (D), respectively.

The presence of the CaP layer on the surface of titanium implant materials supports host cell growth and enhances the formation of bacterial biofilms, possibly promoted by the increased surface roughness.

KOMPOZYTY NA BAZIE TYTANU Z DODATKIEM HYDROKSYAPATYTU POD ZASTOSOWANIA NA IMPLANTY KOSTNE

TITANIUM-BASED COMPOSITES WITH HYDROXYAPATITE FOR BONE IMPLANT APPLICATIONS

Edyta Kosińska^{*1}, Julia Sadlik¹, Agnieszka Tomala²

¹Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Szkoła Doktorska PK, Wydział Inżynierii
Materiałowej i Fizyki, al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków

²Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki, al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków

*edyta.kosinska@doktorant.pk.edu.pl

Słowa Kluczowe

stopy tytanu, Ti6Al4V, hydroksyapatyt, kompozyty Ti/HAp

Abstrakt

W dzisiejszych czasach coraz większy problem stanowi zapotrzebowanie na implanty kostne. Wymagana jest wymiana stawów biodrowych i kolanowych, a także elementów kręgosłupa. Dotyczy to głównie społeczeństwa starszego, których implanty często wymagają rewizji, co związane jest z dodatkową operacją oraz opieką pourazową. Z tego powodu współczesna inżynieria materiałowa stawia coraz większe wymagania względem materiałów stosowanych w implantologii kostnej. Stopy tytanu, w szczególności Ti6Al4V są szeroko wykorzystywane w implantologii ze względu na swoje znakomite właściwości mechaniczne, a także dobrą biogodność. Problem stanowi niewystarczająca bioaktywność, która stanowi kluczową rolę w procesie integracji z tkanką kostną. Z tego powodu podejmuje się próbę modyfikacji tytanu ceramiką bioaktywną, tj. hydroksyapatytem (HAp), który wykazuje wysoką bioaktywność oraz co więcej jest naturalnym składnikiem kości. Cechy te mogą przyczynić się do poprawy osteointegracji uszkodzonej tkanki kostnej.

Celem niniejszej pracy było opracowanie kompozytów na bazie stopu tytanu Ti6Al4V z dodatkiem hydroksyapatytu charakteryzujących się korzystnym połączeniem właściwości mechanicznych oraz bioaktywności, z myślą o ich zastosowaniu jako materiały na implanty kostne.

Kompozyty Ti/HAp zostały wytworzone metodą metalurgii proszków, a następnie poddano analizie strukturalnej oraz fazowej. Przeprowadzono również badania bioaktywności in vitro w płynach stymulujących środowisko żywego organizmu.

Wykonana analiza fizykochemiczna oraz strukturalna otrzymanych kompozytów na bazie tytanu i hydroksyapatytu, wykazała potencjał projektowanego materiału do zastosowania w regeneracji tkanki kostnej.

Autorzy pragną serdecznie podziękować za wsparcie finansowe projektu „Przyszła generacja bioaktywnych, strukturyzowanych laserowo implantów na bazie Ti/HAp” o akronimie „BiLaTex” realizowanego w ramach programu M-ERA.NET 3 Call 2022 w Narodowym Centrum Badań i Rozwoju (nr rejestracyjny: ERA.NET3/2022/48/BiLaTex/2023).

Literatura

- [1] Sadlik, J.; Kosińska, E.; Bańkosz, M.; Tomala, A.; Bruzda, G.; Jampilek, J.; Sobczak-Kupiec, A. Gradient Titanium Alloy with Bioactive Hydroxyapatite Porous Structures for Potential Biomedical Applications. *Materials* **2024**, *17*, 5511.

PAMIĘĆ KSZTAŁTU W ELEMENTACH ZE STOPÓW NITI SPAWANYCH LASEROWO

SHAPE MEMORY EFFECT IN LASER-WELDED NITI COMPONENTS

Karol Gryń^{*1}, Tomasz Goryczka², Magdalena Ziábka³, Barbara Szaraniec¹

¹Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Katedra Biomateriałów i Kompozytów, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Polska

²Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych, Instytut Inżynierii Materiałowej, Uniwersytet Śląski w Katowicach, Chorzów, Polska

³Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Katedra Ceramiki i Materiałów Ogniotrwałych, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Polska

*kgryn@agh.edu.pl

Słowa kluczowe

nitinol, NiTi, pamięć kształtu, nadspężystość, pseudospężystość, spawanie laserowe, mikrostruktura spoiny, mikrostruktura spawu.

Abstrakt

Nadsprężyste stopy NiTi z pamięcią kształtu (nitinole), ze względu na swoje unikatowe właściwości mechaniczne a także biokompatybilność, znajdują się w centrum zainteresowania do wielu zastosowań przemysłowych oraz medycznych. Specyficzne zastosowania pamięci kształtu są wykorzystywane w postaci efektu jednokierunkowego, a przede wszystkim superelastyczności. Nitinol w postaci drutów znajduje szerokie zastosowanie w kardiochirurgii, chirurgii plastyczno-rekonstrukcyjnej, chirurgii gastroenterologicznej, ortodoncji, stomatologii, neurologii czy ortopedii. Niestety łączenie nitinolu za pomocą spawania, zwłaszcza z innymi materiałami np. stałą nierdzewną, jest problematyczne ze względu na wysokie temperatury stosowane w tym procesie. Aby osiągnąć prawidłowe połączenie dyfuzyjne, materiały muszą być lokalnie stopione w określonym obszarze, a to z kolei powoduje zmiany strukturalne i przemiany fazowe, skutkujące redukcją lub całkowitą utratą superelastyczności i efektu pamięci kształtu w strefie spawania. Jednocześnie dochodzi do osłabienia materiału w strefach wpływu ciepła (HAZ) głównie z powodu tworzenia się związków międzymetalicznych (Ti_2Ni , Ni_3Ti , Ni_4Ti_3), faz równowagowych Fe-Ti, a także modyfikacji charakteru przemian fazowych i temperatur początku i końca przemiany martenzytycznej. W związku z tym prowadzone są intensywne badania nad procesem spawania i jego wpływem na charakterystykę i mikrostrukturę spoin w celu optymalizacji parametrów prowadzenia procesu, zapewniających wysoką jakość spoiny i spawu. Jest to szczególnie istotne w przypadku łączenia elementów o niewielkich wymiarach (cienkich drutach, taśmach czy foliach) oraz wykonanych z różnych materiałów.

W prezentowanej pracy przedstawiono proces optymalizowania parametrów technologicznych mikrosparwania laserowego cienkich drutów NiTi (średnica 0,4 mm) bez wypełniacza i bez zastosowania atmosfery ochronnej. Wstępną ocenę jakości uzyskanych spoin dokonano na podstawie analizy mikrostruktury, przebiegu przemiany martenzytycznej, składu chemicznego i fazowego, mikrotwardości (DSC, SEM, EDS, μHV). Weryfikację zachowania właściwości nadsprężystych i pamięci kształtu przeprowadzono w statycznych i zmęczeniowych testach mechanicznych. Wyniki wykazały, że opracowane zoptymalizowane parametry i warunki prowadzenia procesu spawania cienkich drutów NiTi zapewniają trwałe, bezpieczne i pewne połączenie, zachowujące unikatowe cechy nadsprężyste i efekt pamięci kształtu.

Bibliografia:

- [1] J.P. Oliveira, R.M. Miranda, F.M. Braz Fernandez: "Welding and Joining of NiTi Shape Memory Alloys: A Review" – Progress in Materials Science 88 (2017): 412-466.
- [2] T. Goryczka, K. Gryń, A.M. Brylski, B. Szaraniec: "Structure and Mechanical Properties of the NiTi Wire Joined by Laser Welding" – Materials 2023, 16.
- [3] M. Mehrpouya, A. Gisario, M. Elahinia: "Laser welding of NiTi shape memory alloy: A review" – Journal of Manufacturing Processes 31 (2018): 162-186.
- [4] J. Pouquet, R.M. Miranda, L. Quintino, S. Williams: "Dissimilar laser welding of NiTi to stainless steel" – Int J Adv Manuf Technol (2012) 61: 205-212.
- [5] G.R. Mirshekari, A. Saatchi, A. Kermanpur, S.K. Sadrnezhad: "Laser welding of NiTi shape memory alloy: Comparison of the similar and dissimilar joints to AISI 304 stainless steel" – Optics & Laser Technology 54 (2013): 151-158.
- [6] S. Hellberg, J. Hummel, P. Krooß, T. Niendorf, S. Böhm: "Microstructural and mechanical properties of dissimilar nitinol and stainless steel wire joints produced by micro electron beam welding without filler material" – Welding in the World (2020) 64: 2159-2168.
- [7] T. Kramár, J. Tauer, P. Vondrouš: "Welding of nitinol by selected technologies" – Acta Polytechnica 59(1): 42-50, 2019

METALURGIA PROSZKÓW JAKO PROCES WYTWARZANIA GRADIENTOWYCH KOMPOZYTÓW TYTANOWO-CERAMICZNYCH

POWDER METALLURGY AS A PROCESS FOR PRODUCING GRADIENT TITANIUM-CERAMIC COMPOSITES

Julia Sadlik^{*1}, Edyta Kosińska¹, Dominika Wanat¹, Agnieszka Tomala²

¹ Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki | Szkoła Doktorska PK, Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki, ul. Warszawska 24 31-155 Kraków

² Politechnika Krakowska | Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków

*julia.sadlik@doktorant.pk.edu.pl

Słowa Kluczowe

metalurgia proszków, Ti6Al4V, bioaktywna ceramika, gradientowe kompozyty

Abstrakt

Współczesna inżynieria biomateriałowa stoi przed wyzwaniem opracowania materiałów, które łączą wysoką wytrzymałość mechaniczną z bioaktywnością, umożliwiającą skuteczną integrację z tkanką kostną. Kluczową rolę w tym kontekście odgrywają materiały gradientowe, czyli takie, których skład i właściwości zmieniają się w sposób ciągły lub warstwowy w obrębie jednego elementu. Technologia metalurgii proszków stwarza unikalne możliwości kształtowania takich struktur poprzez odpowiednie sterowanie składem, porowatością i parametrami procesu spiekania.

W niniejszej pracy przedstawiono zastosowanie technologii metalurgii proszków do wytwarzania gradientowych kompozytów tytanowo-ceramicznych, przeznaczonych do potencjalnych zastosowań jako implanty kostne. Do otrzymania materiałów wykorzystano proszek stopu tytanu Ti-6Al-4V (Ti64) oraz bioaktywny hydroksyapatyt (HAp), który ze względu na swoją biokompatybilność i podobieństwo do naturalnej tkanki kostnej stanowi doskonały składnik fazy ceramicznej. W celu uzyskania kontrolowanej porowatości, sprzyjającej osteointegracji, zastosowano porofor. Dzięki odpowiedniej kontroli procesu prasowania i spiekania możliwe było uzyskanie struktur o gradiencie właściwości – od warstwy bogatej w fazę metaliczną, zapewniającej wytrzymałość mechaniczną, do warstwy o wyższej zawartości hydroksyapatytu, wspierającej integrację z tkanką kostną. Otrzymane kompozyty poddano fizykochemicznej w tym analizie mikrostrukturalnej z wykorzystaniem mikroskopii elektronowej (SEM) oraz mikroskopii cyfrowej Keyence, co pozwoliło na ocenę rozkładu faz, mikrostruktury oraz porowatości. Wyniki wskazują, że technologia metalurgii proszków umożliwia efektywne kształtowanie gradientowych właściwości materiałów, czyniąc je obiecującymi kandydatami do zastosowań w inżynierii tkanki kostnej.

Autorzy pragną serdecznie podziękować za wsparcie finansowe projektu „Przyszła generacja bioaktywnych, strukturyzowanych laserowo implantów na bazie Ti/HAp” o akronimie „BiLaTex” realizowanego w ramach programu M-ERA.NET 3 Call 2022 w Narodowym Centrum Badań i Rozwoju (nr rejestracyjny: ERA.NET3/2022/48/BiLaTex/2023).

Literatura

- [1] Sadlik, J.; Kosińska, E.; Bańkosz, M.; Tomala, A.; Bruzda, G.; Jampilek, J.; Sobczak-Kupiec, A. Gradient Titanium Alloy with Bioactive Hydroxyapatite Porous Structures for Potential Biomedical Applications. *Materials* **2024**, *17*, 5511. <https://doi.org/10.3390/ma17225511>

WARSTWA POLIDOPAMINOWA JAKO ŁĄCZNIK PODŁOŻY TYTANOWYCH I NANOCZĄSTEK BIOLOGICZNIE AKTYWNYCH

POLYDOPAMINE LAYER AS A LINKER BETWEEN TITANIUM SUBSTRATES AND BIOLOGICALLY ACTIVE NANOPARTICLES

Paulina Armatys^{*1}, Zuzanna Burkiewicz², Elżbieta Długoń¹, Ewa-Stodolak-Zych¹

¹ Akademia Górniczo- Hutnicza, WIMIC, al. Adama Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska

² Akademia Górniczo- Hutnicza, WEAlilB, al. Adama Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska

*parmatys@agh.edu.pl

Słowa kluczowe

dopamina, nanocząstki, synteza bottom up, modyfikacja powierzchni, tytan

Abstrakt

Polidopamina (PDA) jest polimerem pozyskiwanym z białek adhezyjnych małży, który posiada szerokie zastosowanie w nanotechnologii, biomedycynie i chemii. Struktura chemiczna dopaminy (monomeru) w wyniku reakcji chemicznej polimeryzuje tworząc polimerową powłokę. Obecne w niej grupy funkcyjne aminowe jak i fenolowe umożliwiają tworzenie różnych wiązań chemicznych np.; wiązań wodorowych, wiązań jonowych czy wiązań kowalencyjnych. Jednocześnie amfoteryczny charakter PDA powoduje, że może reagować zarówno z kwasami, jak i zasadami. To sprawia, że może łatwo łączyć się z szerokim zakresem materiałów, od organicznych po nieorganiczne. Dzięki temu PDA wykazuje niespotykaną wśród innych związków zdolność do adsorpcji. Zastosowanie jej jako interwarstwy pomiędzy podłożem metalicznym (tytanowym) a nanocząstkami powinno skutkować powstaniem stabilnej powłoki z możliwością wprowadzenia do niej jonów metali, czynników biologicznych czy cząstek wykorzystywanych w terapiach regeneracyjnych [1].

W prezentowanych badaniach wykorzystana została synteza *bottom up* nanocząstek metali takich jak srebro, cynk i magnez z prekursorów nieorganicznych na powierzchni uprzednio modyfikowanej PDA. Głównym celem pracy było stwierdzenie czy warstwa PDA rzeczywiście istotnie wpływa na skuteczność modyfikacji przez zmianę stężenia jonów srebra, cynku czy magnezu oraz czy uzyskane tą drogą stężenia są biobójcze względem bakterii Gram ujemnych i Gram dodatnich oraz biogodne względem komórek ludzkich (fibroblasty linii BJ). Analiza SEM/EDS wykazała, że nałożenie warstwy polidopaminowej wpływa na mikrostrukturę powierzchni tytanowej oraz zawartość jonu modyfikującego, którego stężenie rośnie względem podłoża pozbawionego dopaminy. Obecność warstwy PDA obniża kąt zwilżania (z 105° do 69°) oraz zwiększa składową polarną energii powierzchniowej (z 0,04 do 8,97). Kinetyka wzrostu bakterii w trakcie ich 24h kontaktu z badaną powierzchnią wzbogaconą w warstwę PDA z nanocząstkami wykazują właściwości antybakteryjne. Z kolei żywotność komórek ludzkich po 7 dniach hodowli jest istotnie wyższa niż dla materiału kontrolnego Ti – pozbawionego modyfikacji. Tym samym warstwy polidopaminowe stanowią cenny element modyfikacji powierzchni implantów tytanowych ze względu na zwiększoną ilość przyłączonych jonów biobójczych, brak negatywnego wpływu na właściwości powierzchniowe oraz dłuższe utrzymywanie właściwości antybakteryjnych.

Praca została zrealizowana dzięki subwencji Ministerstwa Edukacji i Nauki dla Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (projekt nr 16.16.160.557).

Literatura

1. Fu, Y.; Yang, L.; Zhang, J.; Hu, J.; Duan, G.; Liu, X.; Li, Y.; Gu, Z. Polydopamine Antibacterial Materials. *Mater. Horiz.* **2021**, *8*, 1618–1633, doi:10.1039/D0MH01985B.

STRUKTURA I WŁAŚCIWOŚCI NOWEGO POROWATEGO MATERIAŁU ZŁOŻONEGO Z MIKROCZĄSTEK TYPU "CORE-SHELL" WYTWARZANEGO METODĄ METALURGII PROSZKÓW

STRUCTURE AND PROPERTIES OF A NEW POROUS MATERIAL COMPOSED OF CORE-SHELL MICROPARTICLES PRODUCED BY POWDER METALLURGY

Grzegorz Dercz^{*1}, Izabela Matuła¹, Maciej Zubko¹

¹ A Instytut Inżynierii Materiałowej, Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych, Uniwersytet Śląski
w Katowicach, ul. 75 Pułku Piechoty 1a, 41-500 Chorzów

*grzegorz.dercz@us.edu.pl

Słowa kluczowe

tytan, tantal, metalurgia proszków, cząstki core-shell.

Abstrakt

Wyniki dotyczą badań mikrostrukturalnych nowych materiałów typu "core-shell" do potencjalnych zastosowań biomedycznych. Zastosowanie Ta jako zewnętrznej powłoki i lekkiego rdzenia Ti pozwala na stworzenie lekkiego i porowatego materiału o potencjalnie zwiększonej odporności na korozję.

Cząstki "core-shell" zostały wytworzone metodą metalurgii proszków z wykorzystaniem mielenia kulowego proszków z komercyjnych pierwiastków, a następnie spiekane w temperaturze 1000 °C przez 24 godziny. Próbkę badano za pomocą skaningowej i transmisyjnej mikroskopii elektronowej oraz dyfrakcji rentgenowskiej. Wyniki wykazały, że materiał ma strukturę złożoną z połączonych mikrocząstek typu "core-shell", które to cząstki składająca się z rdzenia bogatego w Ti i powłoki bogatej w Ta. Stwierdzono, że bliżej rdzenia znajduje się obszar równowagi Ti i Ta, podczas gdy rdzeń składa się z czystego tytanu. Ponadto wykazano, że strefa przejściowa została utworzona przez dyfuzję między proszkami Ti i Ta. Zaobserwowano również dwufazową ($\alpha + \beta$) mikrostrukturę typu Widmanstättena. Testy mechaniczne wykazały obecność trzech głównych stref, różniących się właściwościami mechanicznymi w obrębie cząstki. Zaproponowano model powstawania faz α , $\alpha + \beta$ i β podczas syntezy materiału.

PAMIĘĆ KSZTAŁTU W STOPACH NA BAZIE TINI

SHAPE MEMORY IN TINI-BASED ALLOYS

Tomasz Goryczka

Uniwersytet Śląski w Katowicach, Instytut Inżynierii Materiałowej, Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych, ul. 75 Pułku Piechoty 1a, Chorzów, 41-500, Polska

*tomasz.goryczka@us.edu.pl

Słowa Kluczowe

pamięć kształtu, przemiana martenzytyczna, NiTi.

Abstrakt

W stopach NiTi o składzie chemicznym zbliżonym do równoatomowego występowanie pamięci kształtu odkryto w roku 1963. Pomimo niewielkiej wiedzy na temat samego zjawiska, w latach 80 - 90 poprzedniego wieku, stopy te znalazły pierwsze praktyczne zastosowania w obszarze techniki i medycyny. Następujący w tym okresie dynamiczny rozwój prac naukowych przyczynił się do rozpoznania mechanizmów odpowiedzialnych za pamięć kształtu oraz umożliwił zaprojektowanie oczekiwanych "zachowań" stopów, do co raz to większej liczby praktycznych zastosowań.

Głównym czynnikiem determinującym wystąpienie pamięci kształtu jest obecność odwracalnej przemiany martenzytycznej. W stopie NiTi o równoatomowym składzie chemicznym przemiana ta występuje w zakresie temperatur od około 80°C do 120°C. Jej przebieg jest jednostopniowy i zachodzi pomiędzy wysokotemperaturową fazą macierzystą o strukturze typu B2, a niskotemperaturową fazą - martenzytem o jednoskośnej sieci krystalicznej - B19'. Efekt skoordynowanego ruchu atomów, prowadzący do zmiany struktury krystalograficznej pomiędzy regularną komórką elementarną, a jednoskośną objawia się zmianą kształtu obserwowaną w mikro- czy makroskali. Jej przebieg ma decydujący wpływ na charakter efektów pamięci. Fakt ten oznacza, że dostosowanie temperaturowego zakresu występowania pamięci kształtu do wymogów wynikających z praktycznych zastosowań ma swoje źródło w odpowiednim zaprogramowaniu przebiegu przemiany martenzytycznej. Do tego celu prowadzą dwie drogi, które mogą stanowić odrębne czynniki wpływające na przemianę martenzytyczną, ale również mogą współdziałać razem ze sobą: ingerencja w skład chemiczny i/lub strukturę.

Zmiana udziału niklu w stosunku do tytanu o każde 0.1%at. powoduje zmianę temperatur charakterystycznych przemiany o 10°C. Innym sposobem jest zastąpienie niklu jednym lub kilkoma pierwiastkami stopowymi takimi jak Cu, Al, Fe, Pd, Pt, Co, Cr, Nb, Hf, Zr, Au, V itd. w ilości nieprzekraczającej 50%at. Efektem wprowadzenia do składu chemicznego stopu więcej niż pięciu składników stopowych jest utworzenie stopów wysokoentropowych, które również charakteryzują się wystąpieniem zjawisk pamięci kształtu. Poprzez zmianę składu chemicznego można zmienić temperaturową charakterystykę przemiany (tym samym efektów pamięci kształtu) praktycznie od temperatury ciekłego azotu, aż do 1000°C.

Drugim sposobem jest ingerencja w strukturę stopu. Polega ona na działaniach technologicznych prowadzących do zwiększenia gęstości defektów strukturalnych (punktowych, liniowych), formowania się wydzielań, jak również zmianę średniej wielkości ziarna. Efekty takie uzyskuje się poprzez prowadzenie obróbek cieplnych, mechanicznych oraz ich kombinacji.

Podjęcie do modyfikowania zarówno struktury oraz składu chemicznego stopów NiTi w ostatnim okresie przyczyniło się do zwiększenia liczby praktycznych zastosowań - zwłaszcza w obszarze medycznym, w którym stopy NiTi stosowane są na implanty oraz elementy instrumentarium medycznego.

OBRAZOWANIE I POMIARY W TOMOGRAFII

IMAGING AND MEASUREMENT IN TOMOGRAPHY

Krzysztof Pałka*¹

Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inż. Materiałowej,
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin

* k.palka@pollub.pl

Słowa kluczowe

tomografia komputerowa, obrazowanie, RTG

Abstrakt

Mikroskopia optyczna lub elektronowa umożliwiają wizualizację dwuwymiarowych obrazów powierzchni próbki lub mikrostruktur (po uprzednim ich ujawnieniu np. trawieniem). Jednak w większości przypadków na podstawie obrazów dwuwymiarowych struktur nie można wyciągać wniosków dotyczących całej badanej objętości. Z radiografii uzyskuje się dwuwymiarowe obrazy cienia kompletnych wewnętrznych struktur trójwymiarowych, ale w pojedynczej projekcji informacje o głębi są całkowicie pomieszczone. Natomiast system tomografii rentgenowskiej pozwala wizualizować i mierzyć kompletne trójwymiarowe struktury obiektów bez potrzeby specjalnego przygotowania próbki. Mikrotomografia rentgenowska (lub komputerowa) zwana jest również mikroskopią rentgenowską (XRM, X-Ray Microscopy).

Warunkiem uzyskania wymaganego kontrastu na projekcjach RTG konieczne jest uzyskanie odpowiedniego widma energii promieniowania RTG. Ogólna zasada mówi, że optymalny kontrast uzyskuje się wtedy, gdy transmisja sygnału jest w zakresie 20-35%. Transmisja oznacza w tym przypadku stosunek energii widma przechodzącego przez preparat do energii widma wychodzącego ze źródła promieniowania. Intensywność, mierzona jako ilość fotonów w jednostce czasu, odpowiadająca luminancji, jest również istotnym parametrem obrazu projekcji. Optymalna wartość intensywności dla obszaru preparatu powinna wynosić ok 10-20% maksymalnej intensywności przewidzianej dla danego detektora, ze względu na jego saturację.

Jakość obrazowania zależna jest również od konstrukcji źródła promieniowania, a konkretnie od wielkości powierzchni, z której generowane jest promieniowanie RTG (*spot size*). Im mniejszy *spot size*, tym bardziej ostry obraz. Innym czynnikiem, który ma wpływ na jakość obrazu jest rozproszenie (*scattering*). Część promieniowania ulega rozproszeniu na skutek kontaktu z obiektem, a rozproszone fotony mogą padać na detektor w różnych miejscach, zwiększając widoczny rozmiar obrazu. Dużym problemem w tomografii jest obrazowanie materiałów o diametralnie różnym masowym współczynniku absorpcji, w układzie np. tkanki miękkie – kość – implant metalowy. O ile implant tytanowy i kość mogą być zobrazowane prawidłowo, to w tym układzie tkanki miękkie zwykle nie są już widoczne. Współczesne tomografy mają jednak detektory o coraz lepszej czułości, umożliwiające obrazowanie tak różnych pod względem absorpcji promieniowania struktur.

Zadaniem tomografii, oprócz wizualizacji struktury wyrobu czy materiału, jest analiza morfometryczna, np. ocena porowatości, wielkości porów, ich rozkładu itp. Jednak, aby pomiary wykonane w tomografii były miarodajne, skan musi być wykonany w odpowiednią rozdzielczością. Pomiary CT można porównać do pomiarów z użyciem narzędzi pomiarowych: suwmiarka oferuje dokładność na poziomie 10 μm a przy pomocy mikromierza można mierzyć z dokładnością 1 μm . W metrologii przyjmuje się, że błąd względny pomiaru nie powinien przekraczać 0,1-10%. Odnosząc to do rozdzielczości tomografu SkyScan 1174 na poziomie 6,5 μm , minimalna wielkość obiektu mierzonego poprawnie powinna wynosić 65 μm . Lepszą dokładność pomiarów zapewniają systemy o wyższej rozdzielczości, takie jak np. Xradia 510 Versa (Zeiss), gdzie rozdzielczość przestrzenna wynosi nawet 70 nm. Tomografy umożliwiają przeprowadzenie wielu różnorodnych analiz morfometrycznych, które pozwalają na pełną charakterystykę badanej struktury, zarówno w przestrzeni dwu- jak i trójwymiarowej. Możliwe jest również tworzenie wirtualnych modeli, które mogą być użyte do wytwarzania przyrostowego lub symulacji MES.

BADANIA TRWAŁOŚCI FUNKCJONALNYCH POKRYĆ HYBRYDOWYCH W WARUNKACH *IN VITRO*

IN VITRO DURABILITY STUDIES ON FUNCTIONAL HYBRID COATINGS

Angelika Senator^{*1}, Bartłomiej Boruchowski¹, Barbara Szaraniec¹

¹Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, al. Mickiewicza 30,
Kraków, 30-059, Polska

*asenator@student.agh.edu.pl

Słowa Kluczowe

materiały funkcjonalne, materiały hybrydowe, powłoki polimerowe, trwałość, elektroprowadzenie

Abstrakt

Tytan jest biomateriałem szeroko wykorzystywanym w wielu dziedzinach medycyny. Pomimo swoich wyjątkowych właściwości, nie spełnia on wszystkich wymagań stawianych nowoczesnym biomateriałom. Z tego względu przeprowadza się modyfikację powierzchni tytanu mającą na celu poprawę odpowiedzi biologicznej oraz nadanie jej nowych właściwości. Może to znacząco poszerzyć zakres potencjalnych zastosowań i wydłużyć czas użytkowania.

Celem pracy było otrzymanie funkcjonalnych powłok polimerowych na biomateriałach tytanowych

i określenie ich trwałości w warunkach *in vitro*. Podjęto badania nad oceną wpływu chemicznych modyfikacji powierzchni tytanu (trawienie w kwasach oraz kwasach i zasadzie) na właściwości nanoszonych na nie powłok: ciągłych silikonowych, włóknistych polikaprolaktonowych (PCL) oraz kolagenowych.

Ocena trwałości powłok została przeprowadzona na podstawie badań strukturalnych, fizykochemicznych oraz mechanicznych, a także obserwacji mikroskopowych. W trakcie inkubacji próbek w warunkach *in vitro* monitorowano zmiany masy materiałów, a także mierzono pH i przewodnictwo elektryczne roztworu inkubacyjnego. Mikrostrukturę powierzchni próbek przed i po inkubacji analizowano z wykorzystaniem cyfrowego mikroskopu optycznego oraz skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM). W celu szczegółowej charakterystyki zastosowanych powłok oraz identyfikacji zmian zachodzących w sztucznym środowisku biologicznym, wykonano pomiary kąta zwilżania metodą siedzącej kropli, jak również przeprowadzono analizę w podczerwieni (FTIR). Dodatkowo wykonano badania mechaniczne obejmujące jednoosiową próbę rozciągania oraz testy adhezji powłok do podłoża tytanowego.

Modyfikacje chemiczne powierzchni tytanu okazały się kluczowe dla jakości i trwałości nanoszonych powłok polimerowych. Zwiększona chropowatość poprawiła adhezję, ale jednocześnie przyspieszyła degradację warstw w środowisku wodnym. Powłoki z PCL wykazały dobrą stabilność, jednak w podwyższonej temperaturze ulegały deformacjom plastycznym. Zastosowanie różnych kombinacji powłok (PCL, silikon, kolagen) w istotny sposób wpłynęło na stopień degradacji warstwy oraz zmodyfikowało właściwości hydrofilowo-hydrofobowe powierzchni. Dobór konkretnego układu materiałowego pozwala tym samym na kontrolę zarówno trwałości, jak i biofunkcjonalności potencjalnego wszczepu.

Praca została zrealizowana dzięki subwencji Ministra Edukacji i Nauki dla Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (projekt nr 16.16.160.557).

Literatura:

M. Prodana i in. Coatings 2021, 11, 649

A. Santos-Coquillat i in. Surf Coat Technol 2021, 422

CZY NANOSTRUKTURYZACJA POWIERZCHNI TYTANU JEST UNIWERSALNĄ METODĄ OBRÓBKİ IMPLANTÓW ORTOPEDYCZNYCH?

IS NANOSTRUCTURING OF A TITANIUM SURFACE AN UNIVERSAL APPROACH TO MODIFICATION OF ORTHOPEDIC IMPLANTS?

Ewa Stodolak-Zych

AGH w Krakowie, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska
stodolak@agh.edu.pl

Słowa Kluczowe

modyfikacja powierzchni, metody chemiczne, metody fizyczne, nanostrukturyzacja, tytan

Abstrakt

Projektowanie implantów w sposób uniwersalny, ale z możliwością ich dalszej personalizacji, może znacząco wpłynąć na skuteczność terapii ortopedycznej, a tym samym przyspieszyć rehabilitację i powrót pacjentów do aktywności życiowej — niezależnie od przyczyny interwencji ortopedycznej, czy to w wyniku chorób cywilizacyjnych, urazów komunikacyjnych, czy schorzeń lokalnych wymagających leczenia operacyjnego.

Nanostrukturyzacja powierzchni implantów tytanowych ma na celu taką modyfikację ich właściwości, która z jednej strony ograniczałaby adhezję bakterii do powierzchni i przeciwdziałała tworzeniu się biofilmu, z drugiej natomiast wspomagała proces osteointegracji. Obecność struktur w skali nano na powierzchni może stymulować procesy biologiczne prowadzące do zmniejszenia ryzyka infekcji oraz aseptycznego poluzowania implantu. Co więcej, nanometryczna chropowatość sprzyja proliferacji osteoblastów, co przyspiesza proces gojenia i integracji implantu z kością. W literaturze opisano wiele technik modyfikacji powierzchni prowadzących do powstania nanostruktur tlenku tytanu. Do najczęściej stosowanych należą: anodowanie, obróbka laserowa oraz modyfikacje chemiczne. Szczególnie interesujące wydają się metody umożliwiające tworzenie powłok hybrydowych, które pozwalają na wprowadzenie dodatkowych nanocząstek pełniących rolę zarówno łączników, jak i funkcjonalizatorów — nadając powierzchni właściwości zbliżone do „uniwersalnych”.

Zastosowanie interwarstw opartych o polielektrolity (np. chitozan, dopamina), silany, związki fosfonianowe czy polifenole (np. kwas taninowy) znacząco zwiększa aktywność chemiczną powierzchni, jej rozwinięcie, a także poprawia przyczepność osteoblastów oraz funkcjonalność, m.in. poprzez działanie antybakteryjne. Mimo obiecujących wyników uzyskiwanych proponowane podejścia nie są pozbawione ograniczeń. Złożoność i wieloetapowość procesów może wpływać na ich opłacalność i skalowalność. Ponadto wiele z technik sprawdza się głównie na powierzchniach płaskich o nieskomplikowanej geometrii. Dodatkowym wyzwaniem pozostaje brak powtarzalnych procedur, co utrudnia standaryzację metod oraz brak długoterminowych badań klinicznych potwierdzających biobezpieczeństwo proponowanych rozwiązań.

Podziękowania

Praca powstała dzięki wsparciu badań statutowych realizowanych na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Ceramiki 16.16.160.557

Literatura

- [1] H. Chouirfa et al. Review of titanium surface modification techniques and coatings for antibacterial applications, Acta Biomaterialia, 2019 (83) 37-54, <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2018.10.036>.

FUNKCJONALNE POKRYCIA HYBRYDOWE JAKO NOWE ROZWIĄZANIE W MEDYCYNIE REGENERACYJNEJ

FUNCTIONAL HYBRID COATINGS AS A NOVEL SOLUTION IN REGENERATIVE MEDICINE

Bartłomiej Boruchowski^{1*}, Barbara Szaraniec¹, Karol Gryń¹

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, al. Adama Mickiewicza 30,
Kraków, 30-059, Polska

*bborucho@agh.edu.pl

Słowa Kluczowe

pokrycia hybrydowe, tytan, medycyna regeneracyjna

Abstrakt

Współczesna medycyna regeneracyjna poszukuje innowacyjnych materiałów i technologii, które pozwolą na skuteczną regenerację uszkodzonych tkanek, przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej biokompatybilności i funkcjonalności. W niniejszej pracy przedstawiono podejście oparte na tworzeniu funkcjonalnych pokryć hybrydowych, składających się z warstwy biostabilnego silikonu, z nanowłókniny z biodegradowalnego poli(ε-kaprolaktonu) (PCL), kolagenu oraz fibroblastów linii L929, nanoszonych na powierzchnię tytanu – materiału powszechnie stosowanego w implantologii.

Proces wytwarzania pokrycia na blaszkach z tytanu klasy II obejmował nakładanie silikonu z roztworu metodą *dip coating*, następne elektroprzędzenie cienkiej warstwy z włókien PCL i kolejno inkubację w kolagenie. Ostatnim etapem było zasiedlenie tak ukształtowanej powierzchni komórkami L929. Uzyskane pokrycia wykazywały dobrą adhezję do podłoża, wykazywały duże rozwinięcie powierzchni dzięki uzyskanej nanosrukuryzacji, wykazywały aktywność biologiczną dzięki obecności białka oraz sprzyjały adhezji i proliferacji komórek. Analiza mikroskopowa (SEM, fluorescencja) potwierdziły równomierne rozmieszczenie komórek na powierzchni oraz ich prawidłową morfologię.

Otrzymane wyniki wskazują, że funkcjonalne pokrycia hybrydowe typu silikon/PCL/kolagen/komórki mogą stanowić obiecujące rozwiązanie w kontekście projektowania nowoczesnych implantów wspomagających regenerację tkanek. Połączenie właściwości mechanicznych tytanu z aktywnością biologiczną pokryć organicznych oraz żywych komórek tworzy środowisko sprzyjające integracji implantu z otaczającą tkanką.

Podziękowania

Praca została zrealizowana dzięki subwencji Ministra Edukacji i Nauki dla Akademii Górniczo Hutniczej w Krakowie (projekt nr 16.16.160.557).

Literatura

- [1] Kurup A., Dhatrak P., Khasnis N., Surface modification techniques of titanium and titanium alloys for biomedical dental applications: A review, *Materials Today: Proceedings* 39 (2021) 84-90
- [2] Oh B., Lee C. H., Nanofiber for cardiovascular tissue engineering, *Exp. Opin. Drug Deliv.* 10(11) (2013) 1565–1582
- [3] Mochane, M.J., Motsoeneng, T.S., Sadiku, E.R., Mokhena, T.C., Sefadi, J.S., Morphology and Properties of Electrospun PCL and Its Composites for Medical Applications: A Mini Review, *Appl. Sci* 9 2019, 2205

ODPOWIEDŹ ZAPALNA A EFEKTYWNOŚĆ BIOMATERIAŁÓW TYTANOWYCH W GOJENIU I REGENERACJI TKANEK

INFLAMMATORY RESPONSE AND THE EFFECTIVENESS OF TITANIUM BIOMATERIALS IN TISSUE HEALING AND REGENERATION

Anna Ścisłowska-Czarnecka

¹ Zakład Kosmetologii Stosowanej, Instytut Nauk Stosowanych, Akademia Kultury Fizycznej w
Krakowie Al. Jana Pawła II 78, 31-571 Kraków

*Anna.scislowska@awf.krakow.pl

Słowa Kluczowe:

gojenie, zapalenie, polaryzacja makrofagów, immunomodulacja, tytan

Abstrakt

Tytan i jego stopy stanowią jedno z najczęściej wykorzystywanych materiałów w implantologii oraz inżynierii tkankowej ze względu na wysoką biogodność, dobrą odporność korozyjną oraz korzystne właściwości mechaniczne. Jednakże, skuteczność wszczepów tytanowych zależy nie tylko od ich właściwości fizykochemicznych, ale także – a może przede wszystkim – od odpowiedzi zapalnej inicjowanej w miejscu wprowadzonego w tkankę biomateriału.

Proces gojenia i regeneracji po implantacji tytanu rozpoczyna się od aktywacji komórek odporności wrodzonej (makrofagów i mastocytów) rezydujących w tkankach, do których został wprowadzony biomateriał. W odpowiedzi na bodźce pochodzące z biomateriału, a także z uszkodzonego mikrośrodowiska tkankowego, makrofagi spoczynkowe ulegają aktywacji i różnicowaniu w kierunku dwóch wyspecjalizowanych fenotypów M1 oraz M2. Makrofagi M1, określane są jako prozapalne, uczestniczą w początkowej fazie odpowiedzi immunologicznej, wydzielając cytokiny prozapalne (np. TNF- α , IL-1 β) i eliminując patogeny. Z kolei makrofagi typu M2, uznawane są za przeciwzapalne i regeneracyjne, dominują w późniejszych etapach gojenia, promując angiogenezę, odbudowę macierzy zewnątrzkomórkowej (ECM, extracellular matrix) oraz różnicowanie komórek biorących udział w regeneracji. Prawidłowe przejście makrofagów od fenotypu M1 do M2 jest kluczowe dla skutecznej naprawy tkanek. Zaburzenie równowagi między makrofagami M1 i M2 oraz przewlekła produkcja cytokin prozapalnych mogą prowadzić do rozwoju niepożądanego chronicznego stanu zapalnego z udziałem limfocytów T i B nasilając uszkodzenie tkanek otaczających implant i utrudniając jego integrację z organizmem gospodarza. W celu zapobiegania tego rodzaju reakcjom, obecne kierunki badań skupiają się na immunomodulacyjnych modyfikacjach powierzchni tytanu, których celem jest nie tylko poprawa integracji z otaczającymi tkankami, ale również kształtowanie lokalnej odpowiedzi immunologicznej. Powierzchniowe modyfikacje, takie jak nanoszenie bioaktywnych powłok (np. zawierających cytokiny, peptydy przeciwzapalne), wprowadzanie jonów metali o właściwościach immunoaktywnych (Zn²⁺, Cu²⁺, Ag⁺), a także projektowanie struktur topograficznych w skali nano- i mikrometrycznej wskazują, że takie podejście może skracać fazę zapalną, ograniczać ryzyko przewlekłego zapalenia oraz przyspieszać osteointegrację. Immunomodulacyjne modyfikacje powierzchni tytanu pozostają więc jednym z kluczowych i perspektywicznych kierunków badań w inżynierii biomateriałów ukierunkowanych na wspieranie procesu gojenia i regeneracji tkanek po implantacji.

Piśmiennictwo

- [1] Pitchai M., Ipe D., Tadakamadla S., Hamlet S. Titanium Implant Surface Effects on Adherent Macrophage Phenotype: A Systematic Review, *Materials* 2022, 15, 7314. [2] Chen S., Shi J., Gao G., Xie L., Zhang Y., Shan Z., Huang Z., Zhang X., Chen Z., Chen Z. Immunomodulation-based development engineering for advancing metal soft tissue implants. *Smart Materials in Medicine* 2023, 4, 562-57.

TYTANOWE IMPLANTY ZYGOMATYCZNE- STUDIUM PRZYPADKU

TITANIUM ZYGOMATIC IMPLANTS - A CASE STUDY

Monika Ostapiuk^{1*}, Paweł Aleksandrowicz², Jarosław Bieniaś¹

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Materiałowej, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, Polska

² Warszawski Uniwersytet Medyczny, Wydział Lekarsko-Stomatologiczny, Zakład Chirurgii Stomatologicznej, ul. St. Binińskiego 6 02-097 Warszawa

*m.ostapiuk@pollub.pl

Słowa Kluczowe

implanty szczękowe, zygoma, przełomy, SEM

Abstrakt

W gabinetach stomatologicznych lekarze dentyści spotykają się z różnymi problemami w odniesieniu do uzębienia czy wstawiania nowoczesnych implantów. Zastosowanie tradycyjnych implantów zębowych nie zawsze jest możliwe, a w szczególności, gdy pojawia się problem znacznego zaniku kości szczęki. Istnieje jednak metoda i alternatywa w postaci tytanowych implantów zygomatycznych, które są wszczepiane w zastępstwie kości. Implanty te są dłuższe od tradycyjnych, ale zapewniają stabilną i trwałą rekonstrukcję protetyczną, nawet przy zaawansowanym zaniku kości w bocznych odcinkach szczęki. Wszczepianie implantów zygomatycznych staje się więc zabiegiem operacyjnym, ale skraca czas powrotu do funkcjonowania pacjenta w porównaniu do tradycyjnego wszczepiania implantów.

Problem, który zostaje przedstawiony w niniejszym studium przypadku polega na ocenie przełomów powstałych podczas użytkowania implantów zygomatycznych, które uległy zniszczeniu w trakcie stosowania. Analizowano za pomocą mikroskopu SEM powstałe przełomy oraz scharakteryzowano newralgiczne miejsca, w których powstały przełomy. Nie zauważono żadnych nieciągłości w strukturze implantów, które wskazywałyby na brak dobrego wytworzenia struktury tytanu. Implanty zostały wszczepione pod kątem 45°, a dzięki wielopunktowemu zakotwiczeniu kortykałnemu zapewniły odpowiednią stabilność uzupełnienia protetycznego. Obserwując przełomy, które uległy zniszczeniu podczas użytkowania stwierdzono, że działające siły zgryzu mają największy wpływ na utratę spójności struktury. Zniszczenie implantu, nie jest korzystne dla pacjenta ze względu na pojawiającą się konieczność ponownego zabiegu chirurgicznego. Stąd ocena powstałych zniszczeń w implantach zygomatycznych ma celu wyeliminowanie ewentualnych ponownych przypadków, które mogą powstawać u pacjentów.

MECHANIZMY TWORZENIA WODORKÓW TYTANU NA DRODZE SAMOMIELENIA REAKTYWNEGO W TEMPERATURZE POKOJOWEJ

MECHANISMS OF FORMATION OF TITANIUM HYDRIDES DURING SELF-SHEARING REACTIVE MILLING AT ROOM TEMPERATURE

Iwona Wyrębska¹, Robert Chulist², Dariusz Siemiaszko¹, Paweł Płatek³,
Marek Polański^{1*},

¹ Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Nowych Technologii i Chemii, Kaliskiego 2,
00-908 Warszawa, Polska

² Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, al. A. Mickiewicza
30, 30-059 Kraków, Polska

³ Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechatroniki Uzbrojenia i Lotnictwa, Kaliskiego 2,
00-908 Warszawa, Polska

*marek.polanski@wat.edu.pl

Słowa Kluczowe

magazynowanie wodoru, mechaniczna synteza, reaktywne mielenie, wodorek tytanu, stopy tytanu

Abstrakt

W prezentacji przedstawione zostaną wyniki badań nad mechanizmami samorzutnych reakcji wodoru z tytanem i jego stopami, które zachodzą w temperaturze pokojowej w warunkach intensywnego mieszania pod ciśnieniem wodoru, w młynku planetarnym, bez użycia typowych dla tego procesu mielników. Wykazano, że cząstki tytanu poddane samomieleniu w młynie planetarnym, w atmosferze wodoru, łatwo reagują z tym gazem, prowadząc do powstania stechiometrycznego wodoru TiH_2 . Po zainicjowaniu, reakcja przebiega spontanicznie nawet bez ruchu pojemnika mielącego. Moment inicjacji procesu wydaje się być związany z usunięciem warstwy tlenków z powierzchni cząstek tytanu i silnie zależy od prędkości mieszania (1). Na podstawie pomiarów termograwimetrycznych oraz analizy fazowej (XRD) stwierdzono pełne przejście tytanu w fazę wodorową. Podobne mechanizmy zaobserwowano w przypadku stopów tytanu – przy czym najbardziej reaktywny okazał się stop Ti-5553 (β) który dodatkowo był w stanie zaabsorbować bardzo znaczącą ilość wodoru w postaci roztworu stałego ($>1.3\%$ mas.). W trakcie wodorowania cząstki zachowują swój pierwotny kształt i spójność strukturalną. Otrzymywane w ten sposób sferyczne proszki wodoru tytanu mogą znaleźć zastosowanie w technologiach przyrostowych, np. do wytwarzania porowatych struktur lub pian metalicznych. Jednocześnie wyniki badań wskazują na istotne zagrożenie związane z ekspozycją stopów tytanu na atmosferę wodoru w temperaturze pokojowej – po usunięciu warstwy tlenkowej możliwa jest całkowita utrata wytrzymałości i plastyczności, co w przypadku pełnej konwersji do wodoru może prowadzić do katastrofalnych uszkodzeń elementów konstrukcyjnych.

Literatura

- [1] Wyrębska I, Tomczyk K, Siemiaszko D, Zasada D, Dworecka-Wójcik J, Pęska M, et al. Spontaneous room temperature reaction of titanium and its alloys with hydrogen during self-shearing reactive milling. Chem Eng J. 2024;485:149673.

SYNTEZA WODORKU TYTANU METODĄ REAKTYWNEGO SAMOMIELENIA - MODELOWANIE I EKSPERYMENT

SYNTHESIS OF TITANIUM HYDRIDE DURING SELF-SHEARING REACTIVE MILLING - NUMERICAL MODELLING AND EXPERIMENT

Iwona Wyrębska¹, Dariusz Siemiaszko¹, Paweł Płatek², Marek Polański^{1*},

¹ Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Nowych Technologii i Chemii, Kaliskiego 2,
00-908 Warszawa, Polska

² Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechatroniki Uzbrojenia i Lotnictwa,
Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, Polska

*marek.polanski@wat.edu.pl

Słowa Kluczowe

magazynowanie wodoru, mechaniczna synteza, reaktywne mielenie, wodorek tytanu, modelowanie numeryczne DEM

Abstrakt

W pracy przedstawiono wyniki badań nad syntezą wodoru tytanu (TiH_2) w temperaturze pokojowej, prowadzoną metodą samomielenia reaktywnego w atmosferze wodoru, bez użycia kul mielących. Proces realizowano w młynie planetarnym. W jego trakcie intensywne mieszanie proszku tytanu skutkowało inicjacją reakcji z wodorem. Do momentu zapoczątkowania reakcji dochodziło po usunięciu warstwy tlenkowej z powierzchni cząstek, co prowadziło do samorzutnego wodorowania. Przebieg procesu analizowano z wykorzystaniem technik termogravimetrycznych (TGA) oraz dyfrakcji rentgenowskiej (XRD), potwierdzając całkowitą konwersję do TiH_2 (1).

Uzupełnieniem części eksperymentalnej było modelowanie numeryczne przeprowadzone metodą elementów dyskretnych (DEM), umożliwiające odwzorowanie dynamiki układu ziarnistego podczas samomielenia. Model pozwolił na określenie rozkładu sił kontaktowych, liczby i charakterystyki zderzeń międzycząsteczkowych oraz wpływu parametrów pracy młyna na intensywność oddziaływań mechanicznych. Wyniki symulacji wskazują, że przekroczenie określonego progu energii mechanicznej w układzie sprzyja warunkom niezbędnym do aktywacji powierzchni tytanu i zapoczątkowania reakcji. Choć metoda DEM nie pozwala na bezpośrednie odwzorowanie przemian chemicznych czy uwzględnienie warunków termicznych, dostarcza cennych informacji o warunkach mechanicznych sprzyjających zapoczątkowaniu reakcji.

Literatura

- [1] Wyrębska I, Tomczyk K, Siemiaszko D, Zasada D, Dworecka-Wójcik J, Pęska M, et al. Spontaneous room temperature reaction of titanium and its alloys with hydrogen during self-shearing reactive milling. Chem Eng J. 2024;485:149673.

NANOKOMPOZYTOWE, SUPERHYDROFOBOWE POWŁOKI NA POWIERZCHNI TYTANU

NANOCOMPOSITE, SUPERHYDROPHOBIC COATINGS ON TITANIUM SURFACES

Elżbieta Długoń^{*1}, Paulina Armatys¹, Patryk Bezkosty¹, Ewa Stodolak-Zych¹

¹ Akademia Górniczo- Hutnicza, WIMIC, al. Adama Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska

*dlugon@agh.edu.pl

Słowa kluczowe

nanokompozyty, superhydrofobowe powierzchnie, siloksany

Abstrakt

Materiały, charakteryzujące się niską energią powierzchniową, czyli posiadające powierzchnie hydrofobowe a zwłaszcza superhydrofobowe są niezwykle atrakcyjne dla wielu zastosowań medycznych. Powierzchnie superhydrofobowe są materiałami biozgodnymi z krwią (powierzchnie antytrombogeniczne), ponadto charakteryzują się działaniem antibakteryjnym, powierzchnia superhydrofobowa jest odporna na adsorpcje substancji organicznych, w tym składników krwi i mikroorganizmów. Atrybuty te mają kluczowe znaczenie w zastosowaniach medycznych, takich jak membrany filtracyjne, protezy zastawek serca, dreny, cewniki i wiele innych. Powierzchnie superhydrofobowe są skutecznym rozwiązaniem, chroniącym materiały przed tworzeniem się biofilmu bakteryjnego. Jedną z metod, prowadzących do uzyskania powierzchni o wysokim kącie zwilżania jest tzw. nanostrukturyzacja powierzchni. Proces ten polega na wytwarzaniu określonej nanotopografii na hydrofobowym materiale, co zgodnie z teorią Cassie-Baxtera lub Wentzla, prowadzi do uzyskania powierzchni o wysokim kącie zwilżania.

Celem pracy było wytworzenie powłok nanokompozytowych o właściwościach superhydrofobowych na powierzchni tytanu przy wykorzystaniu nanocząstek krzemionki. Wytworzono dwa rodzaje powłok modyfikowanych nanokrzemionką – SiO_2 o uziarnieniu 5 - 10nm (Aldrich). Pierwszą grupę próbek otrzymano, nanosząc na powierzchnie metalu zol siloksanowy, zawierający nanocząstki krzemionki w procesie EPD (proces kodepozycji), stosowano mieszaninę metylotrietoksylanu (MTES) i dimetylodietoksylan (DMDDES) (Fluka), natomiast otrzymanie drugiej grupy materiałów polegało na niesieniu na powierzchnie metalu, pokrytego nanokrzemionką (EPD) powłoki z węgla pirolitycznego w procesie CVD (wielomodułowy system 16 MWCVD-RFCVD firmy Elettrotrava). Oba rodzaje powłok poddano badaniom spektroskopowym, następnie badaniom mikroskopowym -SEM, AFM, wykonano pomiary kąta zwilżania, oraz testy, dotyczące trwałości, określonych parametrów powierzchni w warunkach in vitro.

Wszystkie badane materiały posiadały właściwości superhydrofobowe. Kąt zwilżania powłok wykonanych w procesie CVD wynosił 180° natomiast kąt zwilżania powłok siloksanowych zawierających SiO_2 zawierał się w zakresie od 135 - 150° , wartość tego kąta zależała w znacznym stopniu od warunków procesowych (parametry procesu EPD) oraz ilości nanododatku w zolu siloksanowym. Powłoki, wytworzone z nanokompozytów, zawierających nanocząstki krzemionki, to skuteczna droga do konstrukcji materiałów superhydrofobowych, odpornych na korozję, trwałych i biozgodnych, zapobiegających tworzeniu się biofilmu bakteryjnego.

Literatura

[1] Yinghan ChanXun Hui Wu Buong Woei Chieng Nor Azowa Ibrahim Yoon Yee Then, Superhydrophobic Nanocoatings as Intervention against Biofilm-Associated Bacterial Infections Nanomaterials, 2021, 11(4).

This work was supported by the subsidy of the Ministry of Education and Science for the AGH University of Science and Technology in Kraków (Project No 16.16.160.557).

ANTYBAKTERYJNE POWŁOKI NA POWIERZCHNI TYTANU WYTWARZANE Z ZOLI KRZEMOWO/CYRKONOWYCH

ANTIBACTERIAL COATINGS ON THE TITANIUM SURFACE MADE OF SILICON/ZIRCONIUM SOL

Elżbieta Długon^{*1}, Paulina Armatys¹, Alina Dudinskaya¹, Jarosław Markowski²,
Ewa Stodolak-Zych¹

¹ Akademia Górniczo- Hutnicza, WIMIC, al. Adama Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska

² Śląski Uniwersytet Medyczny, Katedra i Klinika Laryngologii, ul. Francuska 20, 40-027 Katowice, Polska

*dlugon@agh.edu.pl

Słowa Kluczowe

powłoki antybakteryjne, zole siloksanowe, metoda dip-coating

Abstrakt

Tytan, dzięki swoim właściwościom fizycznym i chemicznym oraz biokompatybilności jest szeroko stosowany w medycynie do wytwarzania różnego rodzaju materiałów biomedycznych. Głównym zastosowaniem tytanu w medycynie są implanty kostne materiały, które posiadają powierzchnie o właściwościach osteogennych. Niemniej jednak, szereg tytanowych materiałów biomedycznych nie wymaga modyfikacji, nadającej powierzchni tytanu właściwości bioaktywne, należą do nich między innymi; narzędzia chirurgiczne, obudowy urządzeń medycznych (rozzruszniki serca, pompy insulinowe) czy implanty stosowane w laryngologii np. implanty ucha środkowego. Tego rodzaju materiały oprócz biogodności odporności na korozję, powinny się przede wszystkim charakteryzować działaniem antybakteryjnym. Modyfikacja powierzchni tytanu w celu nadania mu właściwości antybakteryjnych jest kluczowa w zastosowaniach medycznych. Stosownych jest wiele metod, nadających materiałom tytanowym właściwości antybakteryjne, takich jak wprowadzanie na powierzchnię antybiotyków, tlenków metali oraz wytwarzanie powierzchni nanostrukturyzowanych, uniemożliwiających adhezję bakterii [1].

Celem naszych badań były prace nad otrzymaniem wielofunkcyjnych powłok, nanoszonych na tytan, które byłyby odporne na korozję, trwałe oraz wykazywałyby właściwości antybakteryjne. Powłoki, na powierzchni tytanu, nanoszono metodą dip-coating, wykorzystującą zole o różnym składzie chemicznym w ten sposób otrzymane materiały, poddawano następnie obróbce termicznej. Przedmiotem badań był zol siloksanowy (Dimetylodietoksylsilan – Prekursor jednostek D, DEDMS, Sigma-Aldrich), Metylotrietoksylsilan - Prekursor jednostek T, TEOS, Merck), zol cyrkonowy (Cyrkonian tetrapropylu – prekursor tlenku (IV) cyrkonu Sigma-Aldrich), oraz zole złożone siloksanowo/cyrkonowe łączące oba składniki. Otrzymane w ten sposób powłoki charakteryzowano przy użyciu metod spektroskopowych (FTIR), mikroskopowych (SEM, AFM), wyznaczono energie powierzchniową w oparciu o pomiar kąta zwilżania, następnie powłoki, naniesione na tytan, poddawano badaniom w kontakcie z dwoma rodzajami bakterii (*S. Aureus*, *E. Coli*).

Wyniki badań antybakteryjności, wytworzonych powłok, wykazały jednoznacznie wysoką przewagę powłok, wytworzonych z zoli złożonych - Si/Zr nad powłokami, otrzymanymi z zoli prostych siloksanowych lub cyrkonowych. W przypadku powłok Si/Zr, zarówno w kontakcie z bakteriami gram-dodatnimi, jak i gram ujemnymi, współczynnik redukcji był wyższy od 90%. Złożone zole, konstruowane w oparciu o dwa składniki o odmiennym oddziaływaniu z dwoma rodzajami bakterii, to droga do wytwarzania powłok odpornych, zarówno w kontakcie z bakteriami gram dodatnimi, jak i gram ujemnymi.

This work was supported by the subsidy of the Ministry of Education and Science for the AGH University of Science and Technology in Kraków (Project No 16.16.160.557).

Literatura

- [1] Antibacterial Coatings for Titanium Implants: Recent Trends and Future Perspectives S. Akshaya, Praveen Kumar Rowlo, Amey Dukle, Joseph Nathanael, Antibiotics 2022,11,

WARSTWY ZOL-ŻEL Z NANOCZĄSTKAMI CERAMICZNYMI NA IMPLANTACH TYTANOWYCH – OCENA WŁAŚCIWOŚCI POWIERZCHNIOWYCH, CYTOTOKSYCZNOŚCI I DZIAŁANIA ANTYBAKTERYJNEGO

SOL-GEL LAYERS WITH CERAMIC NANOPARTICLES ON TITANIUM IMPLANTS - EVALUATION OF SURFACE PROPERTIES, CYTOTOXICITY AND ANTIBACTERIAL ACTIVITY

Katarzyna Matysiak^{1*}, Elżbieta Menaszek², Karolina Klesiewicz², Katarzyna Cholewa – Kowalska¹, Magdalena Ziábka¹

¹ Akademia Górniczo -Hutnicza, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Al. Mickiewicza 30, Kraków, 30-059, Polska

² Uniwersytet Jagielloński – Collegium Medicum, Wydział Farmaceutyczny, Medyczna 9, Kraków, 30-688, Polska

*kmatysiak@agh.edu.pl

Słowa Kluczowe

Ti6Al4V, warstwy zol-żel, nanocząstki ceramiczne

Abstrakt

Tytan i jego stopy od lat znajdują szerokie zastosowanie w implantologii, głównie ze względu na ich doskonałe właściwości mechaniczne oraz wysoką biokompatybilność, które sprzyjają procesowi osteointegracji. Mimo wielu zalet, materiały te nie są wolne od wad – jedną z ich głównych ograniczeń jest stosunkowo niska odporność na zużycie oraz podatność na korozję. W wyniku długotrwałego obciążenia mechanicznego oraz oddziaływania płynów ustrojowych na powierzchnię implantu mogą uwalniać się jony metalu, które nie tylko osłabiają strukturę materiału, ale także mogą wywoływać niepożądane reakcje zapalne. Aby zwiększyć bioaktywność implantów, poprawić ich właściwości tribologiczne oraz ochronić powierzchnię przed degradacją, prowadzone są badania nad metodami modyfikacji powierzchni stopów tytanu. Ochronne warstwy powłokowe to jedno z obiecujących podejść. Można je otrzymać różnymi sposobami, w tym metodą zol-żel, pozwalającą na tworzenie cienkich, dobrze przylegających filmów. Technika ta może nie tylko zwiększyć odporność na korozję i zużycie, ale także nadawać powłoce dodatkowe właściwości przeciwbakteryjne, co zmniejsza ryzyko ewentualnej infekcji pooperacyjnej. Celem pracy jest opracowanie składu warstw zol – żel zawierających nanocząstki ceramiczne (azotki boru lub tytanu) na implantach tytanowych otrzymane przy użyciu techniki zanurzeniowej. Na posterze przedstawione zostaną wyniki badań przeprowadzonych na próbkach metalicznych Ti6Al4V pokrytych dedykowanymi warstwami uzyskanymi z roztworów odpowiednich zoli, które przygotowane zostały poprzez zmieszanie w temperaturze pokojowej propanolu, izopropanolu tytanu (IV) (TIP), tetraetoksylanu (TEOS) i 3-(glicydyloksypropylo)trimetoksylanu (GPTMS). Do tak przygotowanych roztworów dodawano zawiesinę koloidalnej krzemionki (baza) lub domieszkowano je nanocząstkami azotku tytanu i azotku boru. W niniejszych badaniach wytworzono dwa hybrydowe dwuwarstwowe systemy zol – żel $\text{SiO}_2/\text{hBNNP}$ oraz $\text{SiO}_2/\text{TiNNP}$ (otrzymane przez kombinację zolu bazowego i roztworów zawierających nanocząstki ceramiczne). Praca skupia się na charakterystyce właściwości powierzchniowych i przeanalizowaniu wpływu rodzaju oraz ilości wprowadzanych dodatków ceramicznych na potencjał antybakteryjny proponowanych powłok. Zbadano także cytotoksyczność próbek, która pozwoliła wybrać optymalny skład warstw ochronnych.

Literatura

[1] Pawłowski, Ł.; Rościszewska, M.; Majkowska-Marzec, B.; Jażdżewska, M.; Bartmański, M.; Zieliński, A.; Tybuszewska, N.; Samsel, P. Influence of Surface Modification of Titanium and Its Alloys for Medical Implants on Their Corrosion Behavior. *Materials* 2022, 15, 7556

Praca została sfinansowana w ramach programu „Inicjatywa Doskonałości Uczelnia Badawcza” dla Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, granty o numerach 4089 i 1449.