

Metaliczne materiały implantacyjne, a w szczególności tytan i jego stopy z niklem czy też stopy kobalt-chrom, już od lat 50-tych XX wieku znajdują się w kręgu zainteresowania medycyny. Długofalowe badania pokazały, że z wykorzystaniem tych materiałów wiąże się wiele negatywnych efektów takich jak m.in. korozja, czy migracja jonów metali wywołująca w organizmie człowieka stany zapalne, czy też alergię. Dlatego, aby w pełni wykorzystać potencjał tych materiałów, nieustannie poszukuje się sposobu modyfikacji ich powierzchni. Uzyskuje się to między innymi przez wytwarzanie powłok w oparciu o materiały polimerowe (chitozan, PMMA, PLA) lub ceramiki fosforanowe (hydroksyapatyt lub jego pochodne) [1-3]. Główną zaletą stosowania polimerów jest podobieństwo ich parametrów fizycznych do właściwości tkanek. Z kolei ceramiki fosforanowe wykazują wysoką osteointegrację [4-6]. Oprócz tego materiały te posiadają szereg niepożądanych własności jak: słaba wytrzymałość na rozciąganie, ściskanie, kruchość itp. W rezultacie nieustannie poszukuje się nowych materiałów inżynierskich, które z powodzeniem znajdą zastosowanie jako zamienniki ubytków kostnych. W ten sposób wytypowano ceramiki fosforanowe czy też układy nanokompozytowe oparte o nanocząsteczki srebra jako Ag/SiO_2 [7-9]. Materiały te mają za zadanie stanowić rusztowanie dla narastającej tkanki, zwiększyć adhezję, elastyczność, czy też antybakteryjny charakter i trwałość powłoki. Ciekawym rozwiązaniem wydają się być także powłoki wytworzone w postaci warstw krzemionkowych typu SBA-15 zbudowanych ze ściśle przylegających do siebie heksagonalnych kanałów o średnicy 4nm. Powłoki te oprócz obiecujących parametrów mechanicznych i fizycznych dają także możliwość wypełnienia porów substancjami bakteriobójczymi, w tym nanocząsteczkami srebra. W efekcie w przyszłości możliwe będzie stworzenie powłoki odznaczającej się niewielkim stężeniem jonów srebra, które będą przez długi okres czasu stopniowo uwalniane do organizmu. Spodziewamy się także, że będą stanowić swoistą międzywarstwę zapewniającą trwały kontakt chemiczny pomiędzy materiałem metalicznego podłoża (np. stop NiTi), a bioaktywną powłoką właściwą zbudowaną z ceramiki fosforanowych.

Opracowanie nowych bioaktywnych powłok kompozytowych stanowi istotne wyzwanie technologiczne. Badania zmierzające do wytworzenia powłok odznaczających się odpowiednimi własnościami fizykochemicznymi skupiają się na optymalizacji procesów technologicznych i wytworzenia materiałów o żądanych parametrach. W ten sposób cele projektu podzielono na trzy główne etapy:

(1) Metody syntezy chemicznej prowadzone będą z wykorzystaniem powszechnie dostępnych reagentów z wykorzystaniem reakcji chemicznych. Umożliwią wytworzenie nanomateriałów metalicznych (srebro metaliczne), nanoukładów kompozytowych (układ metal – matryca np. Ag/SiO_2) czy też nanoceramik (np. fosforany wapnia). Powłoki kompozytowe oparte na nanomateriałach tj. amorficzna krzemionka lub krzemionka SBA-15 o porowatej budowie wytwarzane będą metodą zanurzeniową. Pozwoli ona uzyskać powłoki o zadanych parametrach jak orientacja porów prostopadła do podłoża, jednorodność rozłożenia porów w strukturę plastra miodu, grubość etc.

(2) Właściwe powłoki kompozytowe wytwarzane będą przy pomocy metod zol-żel oraz elektroforezy. W obu technikach niezwykle ważne jest odpowiednie przygotowanie zawiesiny cząstek oraz dobór parametrów osadzania: wartość napięcia oraz czasu osadzania. W efekcie uzyskuje się warstwy o różnej grubości, parametrach powierzchniowych czy też stopniu pokrycia materiału podłoża.

(3) Metody badań podstawowych tj. mikroskopia skaningowa (SEM) pozwolą określić skład chemiczny podczas gdy spektroskopia fotoelektronów (XPS) umożliwi analizę otoczenia chemicznego poszczególnych pierwiastków. Parametry strukturalne materiałów uzyskane zostaną przy pomocy technik dyfrakcji rentgenowskiej (XRD, GIXRD) i metod mikroskopii transmisyjnej (TEM). Informacje o układzie molekularnym, wiązań chemicznych oraz oddziaływaniach dostarczy technika rozproszenia ramanowskiego (RS). Uzupełnieniem wspomnianych badań będą pomiary z wykorzystaniem mikroskopii sił atomowych (AFM) dającej obraz powierzchni warstw oraz dostarczających informacji fizycznych (moduł Younga, adhezja,...). Charakterystyka materiałowa podłoża z wykorzystaniem skaningowej kalorymetrii różnicowej (DSC) umożliwi ocenę stopnia zachowania efektu odzysku pamięci kształtu stopu. Ostatecznie wyniki badań zostaną uzupełnione badaniami mikrobiologicznymi (określenie wpływu bakterii *Escherichia coli*, *Pseudomonas putida*, *Arthrobacter globiformis*) oraz analizą cytotoksyczności względem komórki naskórka ludzkiego (NHDF).

Wykorzystanie nietypowych materiałów w postaci kompozytów o rozmiarach nanometrycznych czy też filmów krzemionkowych o wyjątkowej specyfice i parametrach przyczyni się do szybkiego rozwoju inżynierii powierzchni. Zastosowane podejście pozwoli opracować nowego typu technologie wytwarzania trwałych powłok kompozytowych, a wyniki badań pozwolą opracować trwałą warstwę o silnej adhezji względem metalicznego podłoża. Zakładając, że proponowane materiały uda się przygotować, będą one zapewne stanowić materiał badawczy dla grup naukowców przez wiele lat, co spowoduje zapewne znaczący postęp w nauce o materiałach.

[1] S. Shabalovskaya, J. Anderegg, J. Van Humbeeck, *Acta Biomaterialia* 4 (2008): 447-467.

[2] F. Sun, K. N. Sask, J. L. Brash, I. Zhitomirsky, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 67 (2008): 132-139.

[3] J. Lelątko, T. Goryczka: *Modyfikacja powierzchni stopów NiTi wykazujących pamięć kształtu*. Oficyna Wydawnicza WW, Katowice 2013.

[4] S. V. Dorozhkin, *Biology and Medicine. Materials*, 2 (2009): 399-498.

[5] S. V. Dorozhkin. *Progress in Biomaterials* (2012): 2-40.

[6] A. Yu. Malysheva and B. I. Beletskii, *Inorganic Materials*, 37, 2 (2001): 180-183.

[7] K. Chaloupka, Y. Malam, A. M. Seifalian, *Trends in Biotechnology* 28, 11 (2010): 580-58.

[8] C. Marambio-Jones, Eric M. V. Hoek, *Journal of Nanoparticle Research* 12, 5 (2010): 1531-1551.

[9] G. A. Sotiropoulos, S. E. Pratsinis, *Environ. Sci. Technol.*, 44, 14 (2010): 5649-5654.