

Metaliczne materiały implantacyjne stanowią ważną grupę materiałów stosowanych w medycynie, w szczególności w ortopedii. Wśród nich na szczególną uwagę zasługują stopy NiTi o składzie zbliżonym do równoatomowego. Materiały te wykazują bardzo interesujące właściwości - tj. zjawisko pamięci kształtu, oraz dobre właściwości mechaniczne, plastyczne i akceptowalną odporność na korozję. Cechy te sprawiły, że stopy NiTi znalazły szerokie zastosowanie w medycynie, m.in. do wyrobu narzędzi chirurgicznych i implantów, ale ich właściwości mechaniczne sprawiają, że lepiej niż inne biomateriały metaliczne nadają się do zespołów kostnych [1].

Poważne ograniczenie pojawia się jednak w przypadku długoterminowej implantacji stopów NiTi. Jest ono związane z wysoką zawartością niklu w materiale oraz ryzykiem uwalniania jego toksycznych jonów do organizmu w wyniku działania agresywnego środowiska płynów ustrojowych. To w konsekwencji prowadzi do wystąpienia odczynów alergicznych i braku pełnej akceptacji implantu przez ludzki organizm. Rozwiązania problemu upatruje się w modyfikacji powierzchni stopu poprzez wytwarzanie różnorodnych warstw powierzchniowych [2]. Powłoki stanowią barierę dla potencjalnie uwalnianych jonów niklu i poza tą podstawową funkcją ochronną mogą również spełniać dodatkowe zadania. Tak np. warstwy oparte o fosforany wapnia ułatwiają połączenie metalicznego implantu z kością czyli tzw. osteointegrację [3].

Ze wszczepieniem implantu do organizmu wiąże się powstanie stanów zapalnych oraz zakażeń okołowszczepowych prowadzących do wtórnych powikłań. Przewlekłe infekcje bakteryjne stanowią obecnie niezwykle istotny problem, głównie ze względu na wzrastającą odporność wielu szczepów bakteryjnych na antybiotyki. W rezultacie poszukuje się wciąż nowych rozwiązań materiałowych dających możliwość odpowiedniego zmodyfikowania powierzchni implantów tak, aby wykazywały aktywność antybakteryjną. Właściwości bakteriobójcze wykazują cząstki srebra, złota czy miedzi w rozmiarach nanometrycznych, jednak nadmierne ich stężenie powoduje efekt cytotoksyczny dla ludzkich tkanek [4].

Ogromnym wyzwaniem współczesnej nauki jest wytworzenie takiej wielofunkcyjnej warstwy, która jednocześnie pełniąc funkcję ochronną wykazywałaby właściwości bakteriobójcze, a do tego była biokompatybilna, bioaktywna i posiadała odpowiednie właściwości mechaniczne. Kluczowy jest także wybór odpowiedniej metody inżynierii powierzchni oraz optymalizacja procesów wytwarzania, tak aby otrzymać powłokę o zadanej grubości, strukturze, składzie chemicznym, chropowatości i właściwościach fizykochemicznych, gdyż ma to istotne znaczenie w procesie osteointegracji. W przypadku stopów NiTi ważny jest również wybór metody inżynierii powierzchni, która nie powoduje negatywnego działania na unikatowe zjawisko pamięci kształtu (np. poprzez rozkład fazy macierzystej stopu). Stąd na szczególną uwagę zasługuje metoda elektroforetycznego osadzania (EPD) [5]. Technika ta ponadto stwarza możliwość wytwarzania różnego rodzaju warstw w szerokim zakresie grubości. Jest to niezmiernie ważne w przypadku stopów NiTi, gdyż zbyt grube i/lub sztywne warstwy mogą ograniczyć lub całkowicie zablokować efekt pamięci kształtu.

Projekt przewiduje funkcjonalizację powierzchni stopu NiTi poprzez wytworzenie nowatorskich wielofunkcyjnych warstw hybrydowych. Do ich wytworzenia zostaną wykorzystane zsyntezowane na drodze chemicznej złożone nanometryczne układy molekularne (tj. np. Ag-TiO₂, Ag-TiO₂-SiO₂, Cu-SiO₂ czy Au-SiO₂) oraz bioaktywne fosforany wapnia. Wbudowanie niewielkich ilości jonów metali w matrycę (krzemionkową lub z tlenków tytanu) umożliwi stopniowe ich uwalnianie, co zapewni długotrwały efekt antybakteryjny. Powłoki zostaną osadzone metodą EPD. Otrzymane warstwy zostaną następnie kompleksowo przebadane pod kątem ich potencjalnych zastosowań w medycynie. Charakterystyka będzie obejmować strukturę (metody XRD, RS i XPS), skład chemiczny (SEM+EDS), morfologię i topografię (SEM, AFM, badania profilografometryczne), właściwości sprężyste (RFDA), odporność na pękanie związane z indukowaniem efektu pamięci kształtu, adhezję, skłonność do możliwych procesów korozyjnych w środowisku symulowanych płynów ustrojowych (OCP, EIS, SKP), bioaktywność (test Kokubo) oraz uwalnianie jonów (ICP). Zostaną także wykonane badania pozwalające określić wpływ metod wytwarzania na przebieg przemiany martenzytycznej odpowiedzialnej za występowanie unikatowego efektu pamięci kształtu w stopie NiTi (DSC). Badania będą miały również na celu określenie zwilżalności powierzchni wytworzonych powłok, która ma istotny wpływ na absorpcję molekuł sprzyjających adhezji bakterii lub fibroblastów na powierzchni implantu. Ostatecznie zostaną przeprowadzone testy biologiczne określające oddziaływanie warstw na komórki ludzkich fibroblastów i mikroorganizmy.

[1] H. Morawiec, Z. Lekston: Implanty medyczne z pamięcią kształtu. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice (2010).

[2] J. Lełątko, T. Goryczka: Modyfikacja powierzchni stopów NiTi wykazujących pamięć kształtu. Oficyna Wydawnicza WW, Katowice (2013).

[3] S. V. Dorozhkin, Materials 2 (2009) 399-498.

[4] A. Farghali, A. M. Fekry, R. Ahmed, H. K. Elkakim, Int. J. Biol. Macromol. 79 (2015) 787-799.

[5] I. Zhitomirsky, Adv. Colloid Interfac. 97 (2002) 279-317.