

Streszczenie

Ograniczeniem stosowania stopów tytanu na implanty długookresowe, które podlegają obciążeniom zmiennym jest, oprócz zjawiska metalozy, ich stosunkowo niska odporność na zużycie poprzez tarcie. Zachodzące procesy zużycia tribologicznego na powierzchniach współpracujących elementów pary trącej ograniczają żywotność sztucznych stawów, co najczęściej jest przyczyną operacji rewizyjnych, wskutek obłuzowania się elementów nośnych endoprotezy oraz niszczenia implantu w efekcie zjawisk tarcia współpracujących ze sobą jej ruchomych elementów.

Stop Ti-13Nb-13Zr jest jednym z najbardziej obiecujących stopów tytanu nowej generacji, w swoim składzie zawiera pierwiastki dobrze tolerowane przez organizm żywy, posiada niższy moduł Younga w porównaniu do innych biomateriałów metalicznych oraz charakteryzuje się o wiele wyższą biokompatybilnością i odpornością na korozję niż stop tytanu Ti-6Al-4V.

Na podstawie analizy dotychczas przeprowadzonych badań sformułowano następującą tezę niniejszej rozprawy doktorskiej: modyfikacja warstwy wierzchniej stopu Ti-13Nb-13Zr metodą implantacji jonowej wpłynie na poprawę wybranych właściwości użytkowych (odporności na zużycie poprzez tarcie, twardości, chropowatości powierzchni oraz modułu Younga), a w efekcie na zmniejszenie jego intensywności zużycia poprzez tarcie w badanym układzie biotribologicznym. Celem naukowym niniejszej pracy było określenie wpływu parametrów procesu implantacji jonowej na mikrostrukturę oraz wybrane właściwości użytkowe stopu Ti-13Nb-13Zr, a ponadto określenie wpływu implantacji jonów azotu do warstwy wierzchniej stopu Ti-13Nb-13Zr na odporność na zużycie poprzez tarcie oraz model zużycia badanego biomateriału. Celem użytkowym niniejszej pracy było określenie wpływu procesu implantacji jonami azotu do stopu Ti-13Nb-13Zr na jego trwałość eksploatacyjną oraz określenie możliwości zastosowania stopu Ti-13Nb-13Zr na pary trące w endoprotezach stawu biodrowego po procesie implantacji jonami azotu do jego warstwy wierzchniej.

Przeprowadzone badania mikrostruktury oraz właściwości użytkowych warstwy wierzchniej stopu Ti-13Nb-13Zr po procesie implantacji jonami węgla (C) oraz azotu (N) potwierdziły pozytywny wpływ implantacji jonami węgla (C) oraz azotu (N) na jego mikrostrukturę, chropowatość powierzchni, moduł Younga, podwyższenie odporności na zatarcie oraz zaobserwowano wzrost nanotwardości warstwy wierzchniej i odporności na zużycie poprzez tarcie. Proces implantacji jonami azotu do stopu Ti-13Nb-13Zr powoduje powstawanie nanokrystalicznych wydzieleni TiN w warstwie wierzchniej badanego stopu. Z kolei implantacja jonami węgla do stopu Ti-13Nb-13Zr dla przyjętych parametrów procesu implantacji jonowej nie powoduje powstawania wydzieleni typu TiC. Zmodyfikowana warstwa wierzchnia stopu Ti-13Nb-13Zr po implantacji jonami azotu oraz węgla przy najwyższych zastosowanych dawkach implantacji jonów/cm² charakteryzuje się wysoką nanotwardością. Warstwa wierzchnia stopu Ti-13Nb-13Zr charakteryzuje się niższym modułem Younga w porównaniu do stopu Ti-13Nb-13Zr w stanie dostawy, co jest korzystnym efektem implantacji jonowej. Zmodyfikowana warstwa wierzchnia stopu Ti-13Nb-13Zr wykazuje zmniejszanie się wartości modułu Younga wraz ze wzrostem dawki implantacji zarówno dla jonów azotu, jak i węgla. Na podstawie uzyskanych wyników badań odporności na zatarcie w styku skoncentrowanym zmodyfikowanej warstwy wierzchniej stopu Ti-13Nb-13Zr zauważono, że próbki ze stopu Ti-13Nb-13Zr po implantacji jonowej z zastosowaniem dawek jonów: $4 \times 10^{17} \text{ N}^+/\text{cm}^2$, $8 \times 10^{17} \text{ N}^+/\text{cm}^2$ oraz $1 \times 10^{17} \text{ C}^+/\text{cm}^2$, $4 \times 10^{17} \text{ C}^+/\text{cm}^2$ mają wysoką odporność na zatarcie zaimplantowanej warstwy wierzchniej w porównaniu do próbki ze stopu Ti-13Nb-13Zr w stanie dostawy oraz do próbek po implantacji jonowej przy zastosowaniu niższych dawkach jonów/cm². Potwierdziły to obserwacje makroskopowe i mikroskopowe powierzchni badanych próbek po testach tribologicznych, na których zaobserwowano prawie niewidoczne ślady tarcia. Istotną właściwością użytkową biomateriałów stosowanych na pary trące jest ich odporność na zużycie poprzez tarcie. Implantacja jonami azotu do stopu Ti-13Nb-13Zr wpływa na wzrost jego odporności na zużycie poprzez tarcie w badanych węzłach tarcia, a tym samym na trwałość badanego układu biotribologicznego.