

mgr inż. Eliza Romańczuk-Ruszk
Instytut Inżynierii Biomedycznej
Wydział Mechaniczny
Politechnika Białostocka

Charakterystyki biofunkcjonalne bezniklowych stali implantacyjnych otrzymywanych metodą metalurgii proszków (Streszczenie)

Austenityczna stal nierdzewna (ISO-5832-1:2016) jest jedną z najbardziej popularnych stali wykorzystywanych w medycynie. Wytwarza się z niej płytki, groty i druty dokostne, stenty, elementy stosowane w ortodoncji i stomatologii urazowej, rzadziej endoprotezy oraz instrumentarium chirurgiczne. Stal ta jest paramagnetyczna, łatwa w formowaniu, ciągliwa, o wysokiej udarności, jednocześnie w przystępnej cenie. Ze względu na dużą podatność na korozję międzykrystaliczną oraz uwalnianie szkodliwych substancji do organizmu (jonów niklu), nie spełnia warunków wymaganych od materiałów do implantacji długookresowej. Obecność jonów niklu w organizmie człowieka może wywołać alergię, a nawet doprowadzić do metalozy. Od lat dziewięćdziesiątych XX-tego wieku alergię na ten pierwiastek wciąż rośnie. Dlatego poszukiwanym obecnie materiałem jest stal pozbawiona niklu, bezniklowa stal austenityczna. Badania dotyczące otrzymywania bezniklowej stali austenitycznej są ważne pod względem naukowym i społecznym.

Nikiel w stali może być zastąpiony poprzez mangan i azot, które również stabilizują strukturę austenityczną. Zaletą takiej stali jest obniżenie zawartości niklu ($\sim 0,2\%$) oraz poprawa właściwości mechanicznych. Stosowany obecnie proces otrzymywania bezniklowych stali austenitycznych, polegający na kilkukrotnym topieniu próżniowym i odlewaniu w osłonie azotu oraz obróbce plastycznej, jest kosztowny i posiada zasadniczą wadę, niehomogeniczne rozmieszczenie azotu. Prowadzi to w efekcie do jego segregacji i tworzenia azotków w stali, niekorzystnie wpływając na jej ciągliwość oraz odporność korozyjną. Wobec powyższego, alternatywną metodą otrzymania bezniklowej stali austenitycznej, stosowanej do produkcji materiałów implantacyjnych, może być metoda metalurgii proszków. Pozwala na otrzymanie

stali o nowych, często lepszych właściwościach mechanicznych, rozdrobnionej strukturze oraz przede wszystkim zwiększonej rozpuszczalności azotu.

Z analizy literatury wynika, że najczęściej spotykane metody otrzymywania bezniklowej stali austenitycznej z wykorzystaniem metalurgii proszków polegają na mechanicznej syntezie proszków elementarnych Fe, Cr i Mn, w osłonie argonu. Następnie proszki są wyżarzane, prasowane i spiekane przez 24 godz. w atmosferze azotu. Wadą tego procesu jest wydłużony czas mechanicznej syntezy i spiekania oraz gradientowe ułożenie azotu w warstwie wierzchniej materiału.

Głównym celem pracy było otrzymanie metodą metalurgii proszków bezniklowej stali austenitycznej, ocena jej mikrostruktury, wybranych własności mechanicznych, odporności korozyjnej i cech biofunkcjonalnych oraz porównanie tych właściwości ze stalą austenityczną typu 316LV (X2CrNiMo17-12-2). Istotne cele pomocnicze pracy to:

- Określenie wpływu parametrów procesu mechanicznej syntezy na właściwości otrzymanych proszków stopowych,
- Ocena wpływu dodatków stopowych oraz sposobu ich wprowadzenia do proszku żelaza na stabilność austenitu,
- Zbadanie wpływu różnych metod konsolidacji proszków na właściwości mechaniczne i mikrostrukturę otrzymanych stali,
- Analiza wybranych parametrów obróbki cieplnej na właściwości mechaniczne, korozyjne oraz biofunkcjonalne próbek.

W tym celu przygotowano proszki bezniklowej stali austenitycznej (Fe-18%Cr) z różną zawartością manganu (6%, 12% i 18%Mn) i przeprowadzono ich mechaniczną syntezę. Do badań wykorzystano zarówno proszki elementarne Fe, Cr, Mn oraz proszek azotku manganu. Zastosowano dwie atmosfery ochronne procesu: argon i azot oraz określono ich wpływ na skład chemiczny, fazowy, morfologię i inne właściwości proszków.

Następnie przeprowadzono konsolidację proszków: 1) metodą klasyczną polegającą na prasowaniu i spiekaniu proszków, 2) metodą izostatycznego prasowania na gorąco, 3) metodą prasowania na gorąco w matrycy. Zaproponowano końcowe warunki obróbki cieplnej. Określono gęstość, porowatość, skład fazowy oraz mikrostrukturę, zbadano wybrane właściwości mechaniczne, odporność korozyjną w roztworze płynu fizjologicznego oraz przeprowadzono badania in-vitro wybranych właściwości biologicznych otrzymanych materiałów.

Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że materiał o składzie Fe-18%Cr-12%Mn-0,5%N otrzymany z proszków elementarnych z dodatkiem azotku manganu po mechanicznej syntezie w azocie, a następnie konsolidowany metodą izostatycznego prasowania na gorąco posiada najlepsze właściwości, drobnoziarnistą mikrostrukturę oraz lepszą odporność korozyjną w porównaniu do stali 316LV. Ponadto, wyniki badań bioaktywności i cytotoksyczności wskazują na brak efektu toksycznego badanych komórek osteoblastopodobnych linii Saos-2 oraz obecność hydroksyapatytu na powierzchni beznikłowej stali.