Streszczenie

Wykorzystanie stopów tytanu drugiej generacji jest nowoczesnym trendem w dziedzinie wytwarzania przyrostowego. Stopy te charakteryzują się brakiem cytotoksyczności oraz obniżonym modułem sprężystości w stosunku do konwencjonalnie stosowanych stopów tytanu zawierających aluminium i wanad. Specjalne właściwości nowych stopów wynikają z zastosowania nietoksycznych pierwiastków, takich jak niob, cyrkon i tantal. Istnieje wiele powodów wykorzystania stopów tytanu drugiej generacji w zastosowaniach medycznych, w szczególności w przypadku implantów spersonalizowanych. Technologie przyrostowe oferują szerokie możliwości w projektowaniu i wytwarzaniu części o złożonej geometrii, niemożliwej do uzyskania innymi, konwencjonalnymi metodami wytwarzania. Elastyczność wytwórcza i projektowa zapewniana przez technologie Powder Bed Fusion (PBF) umożliwia przetwarzanie spawalnych proszków metali stosowanych w implantologii i medycynie regeneracyjnej.

Spośród stopów tytanu dostępnych na rynku, jednym z najbardziej obiecujących pod względem dostępności, ceny i funkcjonalności jest stop Ti-13Nb-13Zr określony przez normę ASTM F1713. Chociaż materiał ten jest znany jako doskonały materiał dla potrzeb implantologii, nie został jeszcze opracowany w procesach wytwarzania przyrostowego. W literaturze istnieją doniesienia naukowe o rozpoczętych pracach nad przetwarzaniem proszku o składzie chemicznym opartym na układzie Ti-Nb-Zr, jednakże głównym problemem pozostaje nadal optymalizacja procesu pod kątem technologii L-PBF. Zaobserwowano, że naukowcy nie podają wartości, które mogą być przydatne do przetwarzania tego typu materiału lub dane są niekompletne i niewystarczające do pełnego zrozumienia mechanizmów wpływających na właściwości materiału w trakcie i po procesie. Parametry takie jak frakcja proszku, sypkość proszku, skład chemiczny proszku czy skład chemiczny materiału po przetworzeniu są szczególnie ważne, aczkolwiek tego typu danych często brakuje w literaturze przedmiotu.

Niniejsza rozprawa zawiera pełne informacje począwszy od wyników analizy materiału referencyjnego po rezultaty badań gotowych próbek testowych wytworzonych technologią L-PBF. Globalne podejście reprezentowane w niniejszej pracy obejmuje zarówno dziedzinę inżynierii materiałowej, inżynierii mechanicznej, inżynierii powierzchni, metalurgii proszków oraz inżynierii biomedycznej i mikrobiologii, a także medycyny weterynaryjnej. Podjęta tematyka przetwarzania stopu Ti-13Nb-13Zr z zastosowaniem technologii L-PBForaz weryfikacja wpływu procesu przetwarzania przyrostowego na czynniki bioelektryczne

fizykochemiczne i mechaniczne, a także dogłębna analiza każdego etapu wytwarzania i przetwarzania, w kontekście przeprowadzonych modyfikacji powierzchni, stanowi kompletne źródło wiedzy o tym materiale przed oraz po procesie wytwarzania. Podjęta analiza gotowości technologicznej przetwarzania stopu Ti-13Nb-13Zr z zastosowaniem technologii L-PBF do zastosowań w medycynie weterynaryjnej stanowi doskonałe przygotowanie do wdrożenia mogącego stanowić etap dalszych prac nad rozwojem personalizowanych implantów na potrzeby medycyny weterynaryjnej, wytwarzanych ze stopów tytanu nowej generacji.

Abstract

The use of second-generation titanium alloys is an innovation in the additive manufacturing industry. These alloys are characterized by a lack of cytotoxicity and a lowered modulus of elasticity in relation to the conventionally used titanium alloys containing aluminum and vanadium. The special properties of these alloys result from the use of non- toxic elements such as niobium, zircon and tantalum. There are many reasons for using second-generation titanium alloys in medical applications, especially for personalized implants. Additive technologies offer great possibilities in the design and production of parts with complex geometry, impossible to obtain with other conventional methods. The flexibility provided by Powder Bed Fusion (PBF) technologies enables the processing of weldable metal powders used in implantology and regenerative medicine.

Among many titanium alloys on the market, one of the most promising for availability, price, and functionality is the Ti-13Nb-13Zr alloy as defined by ASTM F1713. While this material is known to be an excellent implant material, it has yet to be implemented in additive manufacturing processes. Several researchers began their work with a powder based on the Ti-Nb-Zr system. The main problem remains the optimization of the process in terms of L-PBF technology. It has been observed that scientists do not provide values that may be useful for processing this type of material or the data is incomplete and insufficient to fully understand the mechanisms influencing material properties during and after the process. Parameters such as powder fraction, powder flow, chemical composition of the powder or the chemical composition of the material after processing are particularly important, but rarely reported in the literature.

This dissertation is a complete source of information, from the analysis of reference material to ready test samples produced with the L-PBF technology. The holistic approach represented in this dissertation covers aspects of materials engineering, mechanical engineering, surface engineering, powder metallurgy, as well as biomedical engineering and microbiology. The discussed topic of the processing of Ti-13Nb-13Zr alloy with the use of L-PBF technology and verification of the influence of the additive manufacturing on bioelectronic, physicochemical and mechanical factors, as well as an in-depth analysis of each stage of production and processing is a complete source of knowledge about this material. The undertaken analysis of technological readiness levels (TRL) regarding the processing of Ti-13Nb-13Zr alloy with the use of L-PBF technology for veterinary applications is an excellent preparation for the implementation that could constitute a stage of further work on the

development of personalized implants for veterinary medicine, made of new generation titanium alloys.