

STRESZCZENIE POPULARNONAUKOWE

Lekkie materiały metaliczne, takie jak stopy tytanu, są coraz częściej wykorzystywane w wielu aplikacjach, w tym w pojazdach, turbinach wiatrowych, sprzęcie sportowym, samolotach i urządzeniach biomedycznych¹. Ciągłe badania mające na celu poprawę właściwości tych materiałów mają na celu poprawę standardów życia i odgrywają kluczową rolę w kształtowaniu zrównoważonego rozwoju środowiska, pomagając zmniejszyć ogólny ślad węglowy poprzez redukcję masy środków transportu, a co za tym idzie redukcję zużycia paliwa². Ponadto rozwój technik wytwarzania przyrostowego (tzw. druk 3D) otworzył innowacyjne możliwości projektowania i przetwarzania stopów Ti do obiektów, które były często trudne lub wręcz niemożliwe do osiągnięcia za pomocą tradycyjnych metod produkcji³. Dowolność kształtu oferowana przez wytwarzanie przyrostowe umożliwia tworzenie złożonych geometrii, a także właściwości materiałowych dostosowanych do indywidualnych potrzeb, zwiększając systematycznie grupę odbiorców stopów Ti. Metastabilne stopy β -Ti cieszą się coraz większym zainteresowaniem przemysłu lotniczego i biomedycznego ze względu na wysoką wytrzymałość na rozciąganie i ciągliwość, wysoką odporność na korozję, niską gęstość, niski moduł sprężystości i dobrą biokompatybilność. Metastabilne stopy β -Ti wykazujące plastyczność indukowaną bliźniakowaniem (ang. TWinning Induced Plasticity/ TWIP) i plastyczność indukowaną transformacją (ang. TRansformation Induced Plasticity/ TWIP) mają na ogół doskonałą ciągliwość, ale zwykle kosztem stosunkowo niskich granic plastyczności co ogranicza ich powszechne zastosowanie⁴. Badania prowadzone na konwencjonalnie wytworzonych odlewach wykazały możliwość poprawy granicy plastyczności o 30-50%⁵. Ponadto, badania wstępne przeprowadzone przez Wnioskodawcę wykazały, że istnieje możliwość umocnienia roztworowego poprzez mikrodomieszkowanie tlenem jednofazowych (α) i dwufazowych ($\alpha+\beta$) stopów Ti podczas procesu topienia laserowego w złożu proszku (Laser Beam Powder Bed Fusion / PBF-LB)⁶⁻⁸. Jednak stopowanie *in situ* tlenem w procesie PBF-LB tak, aby po wytwarzaniu materiał cechował się konkretną zawartością tlenu nie było jeszcze realizowane. Projekt ma na celu zbadanie możliwości stosowania tlenu jako pierwiastka międzywęzłowego do regulacji stabilności fazy β w celu znacznego zwiększenia zarówno wytrzymałości jak i ciągliwości stopów TWIP/TRIP β -Ti (m.in. Ti-Mo oraz Ti-Nb). Mikrodomieszkowanie wybranych stopów TWIP/TRIP tlenem będzie prowadzone na urządzeniu PBF-LB, które umożliwia kontrolowanie zawartości tlenu podczas procesu. W ramach projektu planowane jest wytworzenie wybranych stopów poprzez odlewanie w piecu łukowym, atomizacja ultradźwiękowa w celu wytworzenia proszków, dobór parametrów procesu PBF-LB wykorzystując wsparcie uczenia maszynowego oraz charakteryzacja wytworzonych materiałów. W ramach charakteryzacji wytworzonych obiektów przeprowadzone zostaną badania zawartości tlenu, analiza składu fazowego oraz analiza obecności defektów poprzez tomografię komputerową, obserwacje mikrostruktury (SEM/TEM/EBSD) oraz badania wytrzymałościowe (twardość i statyczna próba rozciągania). Uzyskana wiedza zwiększy potencjał aplikacyjny zastosowania stopów TWIP/TRIP wytwarzanych w procesie PBF-LB w medycynie, lotnictwie i kosmonautyce, przemyśle samochodowym oraz obronnym. Głównym celem tego projektu jest zbadanie możliwości modyfikacji właściwości mechanicznych, w szczególności granicy plastyczności, wytrzymałości na rozciąganie, ciągliwości i twardości, wybranych stopów metastabilnych β -Ti Ti-12Mo-xO i Ti-32Nb-xO. Postęp w zakresie przetwarzania lekkich, wytrzymałych stopów Ti ma kluczowe znaczenie dla promowania zrównoważonego rozwoju.

1. Leyens, C. & Peters, M. *Titanium and Titanium Alloys: Fundamentals and Applications*. (Wiley Online Library, 2006).
2. Léonard, P. L. Y. & Nylander, J. W. Sustainability assessment of composites in aero-engine components. *Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference* **1**, 1989–1998 (2020).
3. Yadroitsev, I., Yadroitsava, I., Du Plessis, A. & MacDonald, E. *Fundamentals of Laser Powder Bed Fusion of Metals*. (Elsevier, 2021).
4. Gao, Y. *et al.* Manipulating TWIP/TRIP via oxygen-doping to synergistically enhance strength and ductility of metastable beta titanium alloys. *J Mater Sci Technol* **215**, 58–70 (2025).
5. Wang, J., Xiao, W., Ren, L., Fu, Y. & Ma, C. The roles of oxygen content on microstructural transformation, mechanical properties and corrosion resistance of Ti-Nb-based biomedical alloys with different β stabilities. *Mater Charact* **176**, 111122 (2021).
6. Wysocki, B. *et al.* Microstructure and mechanical properties investigation of CP titanium processed by selective laser melting (SLM). *J Mater Process Technol* **241**, 13–23 (2017).
7. Wysocki, B. *et al.* Laser and Electron Beam Additive Manufacturing Methods of Fabricating Titanium Bone Implants. *Applied Sciences* **7**, 657 (2017).
8. Wysocki, B. A. *et al.* Mechanical Properties of Ti Grade 2 Manufactured Using Laser Beam Powder Bed Fusion (PBF-LB) with Checkerboard Laser Scanning and In Situ Oxygen Strengthening. *Crystals (Basel)* **14**, (2024).