

Streszczenie

Rozprawa doktorska dotyczy kształtowania własności zmęczeniowych dwufazowych stopów tytanu Ti-6Al-4V (Ti-64) oraz Ti-5Al-5V-5Mo-1Cr-1Fe (Ti-55511) wytwarzanych technologią Powder Bed Fusion – Electron Beam/Metal (PBF-EB/M) poprzez dobór warunków procesu oraz obróbki poprocesowej. Tematyka pracy wpisuje się w rozwój technologii przyrostowych dla materiałów przeznaczonych do pracy w warunkach obciążeń cyklicznych. Stopy tytanu, ze względu na korzystny stosunek wytrzymałości do masy, odporność korozyjną oraz znaczenie w zastosowaniach lotniczych, stanowią istotną grupę materiałów w tym obszarze. Ich zastosowanie wymaga jednak nie tylko uzyskania odpowiedniej geometrii i korzystnych własności statycznych, lecz także zapewnienia odpowiednich własności zmęczeniowych.

Celem pracy było opracowanie i optymalizacja procesu wytwarzania dwufazowych stopów tytanu technologią PBF-EB/M oraz określenie wpływu obróbki poprocesowej na ich własności mechaniczne, ze szczególnym uwzględnieniem własności zmęczeniowych. Zakres badań obejmował pełną ścieżkę procesu wytwarzania: od charakterystyki proszków Ti-64 i Ti-55511, przez dobór parametrów procesu wytwarzania, po ocenę stanu materiału w stanie as-built oraz po wybranych wariantach obróbki cieplnej i obróbki HIP.

W pierwszej części pracy oceniono następujące właściwości proszków: skład chemiczny, morfologię, rozkład wielkości cząstek oraz cechy istotne dla stabilnego procesu PBF-EB/M. Następnie dobrano warunki procesu wytwarzania, poprzez wstępną analizę wpływu parametrów procesu na porowatość, występowanie defektów technologicznych i materiałowych oraz jakość odwzorowania geometrii próbek. Wykazano, że dobór parametrów procesu nie może być oparty wyłącznie na minimalizacji porowatości, ponieważ konieczne jest jednocześnie zachowanie stabilności procesu i poprawności geometrycznej wytwarzanych próbek.

W dalszej części rozprawy wykonano charakterystykę materiałową i mechaniczną badanych stopów. Obejmowała ona analizę porowatości z wykorzystaniem CT, obserwacje mikrostruktury, analizę składu fazowego, pomiary twardości, statyczne próby rozciągania, badania zmęczeniowe oraz analizę fraktograficzną przełomów. Wyniki wykazały, że korzystne właściwości statyczne oraz niski udział porowatości nie są wystarczające do jednoznacznej

oceny zachowania materiału w warunkach obciążeń cyklicznych. Kluczowe znaczenie miały lokalne defekty technologiczne, zwłaszcza płaskie nieciągłości typu lack-of-fusion, które stanowiły miejsca inicjacji pęknięć zmęczeniowych.

Zastosowane warianty obróbki poprocesowej pozwoliły określić ich wpływ na mikrostrukturę, własności mechaniczne i mechanizm inicjacji pęknięć. Wykazano, że skuteczność poprawy własności zmęczeniowych zależy od parametrów obróbki oraz od charakteru defektów obecnych po procesie PBF-EB/M. Odpowiednio dobrane i zweryfikowane warianty obróbki poprocesowej ograniczały wpływ krytycznych nieciągłości, zmniejszyły rozrzut wyników i prowadziły do zmiany charakteru inicjacji pęknięcia.

Uzyskane wyniki potwierdzają, że własności zmęczeniowe stopów Ti-64 i Ti-55511 wytwarzanych metodą PBF-EB/M mogą być kształtowane poprzez staranną selekcję eksperymentalnych parametrów procesu oraz obróbki poprocesowej. Wykazano jednocześnie, że o zachowaniu materiału w warunkach obciążeń cyklicznych nie decyduje wyłącznie niski udział porowatości i poziom właściwości statycznych, lecz także charakter lokalnych defektów technologicznych, w szczególności nieciągłości typu lack-of-fusion, oraz skuteczność obróbki poprocesowej w ograniczaniu ich wpływu na inicjację pęknięć zmęczeniowych.

Osiągnięte wyniki potwierdziły założenia badawcze, co pozwoliło opracować zalecenia doboru parametrów technologicznych procesu zapewniające wzrost odporności zmęczeniowej stopów tytanu Ti-6Al-4V (Ti-64) oraz Ti-5Al-5V-5Mo-1Cr-1Fe (Ti-55511) odpowiednio o 120% i 50%.