

MAREK WOJTASZEK

**Opracowanie i weryfikacja
cieplno-mechanicznych parametrów przeróbki plastycznej
wyprasek z dwufazowego stopu tytanu**

Streszczenie

Znaczącą większość konstrukcyjnych stopów tytanu stanowią stopy dwufazowe $\alpha + \beta$. Spośród nich najszersze zastosowanie w technice ma stop Ti-6Al-4V, który w odpowiednio dobranych warunkach można kształtować plastycznie na gorąco. Obecnie do wytwarzania w procesach przeróbki plastycznej elementów konstrukcji ze stopów tytanu wykorzystuje się półprodukt otrzymany metodą odlewania, zwykle w postaci przetworzonego plastycznie odlewu. Jednak coraz częściej podejmowane są badania nad wprowadzeniem w jego miejsce tworzywa otrzymanego metodą metalurgii proszków. Takie podejście umożliwiłoby obniżenie kosztów produkcji w wyniku wykorzystania taniego materiału wyjściowego i realizacji bezodpadowych procesów. Z tego powodu wiele prowadzonych w ostatnich latach prac badawczych w dziedzinie metalurgii proszków dotyczy innowacji przy wytwarzaniu wyrobów na bazie tytanu, w tym stopu Ti-6Al-4V.

Niniejsza praca zawiera zestawienie i podsumowanie wyników wieloletnich badań dotyczących wpływu cieplno-mechanicznych parametrów przeróbki plastycznej na gorąco stopu Ti-6Al-4V otrzymanego metodą metalurgii proszków na stan jego mikrostruktury oraz na jego wybrane własności. Materiałami wyjściowymi do badań były proszki pierwiastków elementarnych: tytanu, aluminium i wanadu. Opracowano parametry ich mieszania oraz prasowania na gorąco mieszaniny, które prowadziły do zadowalającej homogenizacji składu chemicznego. Wykazano, że własności tak otrzymanych wyprasek pozwalają na ich stosowanie jako półproduktu do przeróbki plastycznej na gorąco. Podczas prowadzenia wybranych badań i testów, oprócz wyprasek badano też stop o równoważnym składzie chemicznym, otrzymany w procesach odlewania i przeróbki plastycznej na gorąco, który jest obecnie powszechnie stosowany jako wsad do przetwórstwa. Pozwoliło to na jakościową ocenę tworzywa otrzymanego z proszków. Przeprowadzono testy plastometryczne wyprasek w zakresie dwufazowym oraz dla szerokiego zakresu prędkości odkształcenia. Otrzymano w ten sposób dane niezbędne do projektowania procesów przeróbki plastycznej wyprasek z zastosowaniem urządzeń działających zarówno w sposób statyczny, jak też o dynamicznej charakterystyce pracy. Krzywe plastycznego płynięcia stopu otrzymanego metodą metalurgii proszków stanowiły podstawę do analizy efektywności procesu odkształcania tego tworzywa. Zastosowano przy tym metodę dynamicznego modelowania materiału, opierając się na podejściu Prasada. Opracowano mapy procesowe wyprasek ze stopu Ti-6Al-4V. Ich analiza pozwoliła na wyznaczenie okien procesowych, obejmujących zakresy potencjalnie

korzystnych zestawień parametrów kształtowania badanego materiału w procesach przeróbki plastycznej oraz pozwalających na unikanie tych kombinacji parametrów, przy których może wystąpić niestabilność płynięcia. Wykonano testy spęczania w warunkach laboratoryjnych, stosując jako wsad wypraski i kształtowany plastycznie odlew. Na podstawie analizy otrzymanych wyników oceniono wpływ metody wytwarzania stopu na jego zachowanie się podczas odkształcania w zakresie dwufazowym. Dla wyprasek opracowano współczynniki opisujące zjawiska cieplne i efekt tarcia w badanym zakresie temperatur. Pozwoliło to na przyjęcie poprawnych warunków początkowych i brzegowych podczas symulacji numerycznych. Opierając się na wynikach numerycznego modelowania wybranych procesów kucia matrycowego, określono najkorzystniejsze, w granicach okien procesowych, warunki ich realizacji. Zaprojektowano technologię kucia wyprasek w zakresie dwufazowym, w warunkach średnich i dużych prędkości odkształcenia, a jej poprawność potwierdzono w testach w warunkach przemysłowych. Próby kucia na gorąco prowadzono na komercyjnych liniach technologicznych, co nie stwarzało konieczności ich modyfikacji. Rezultaty tych testów oraz wyniki badań własności odkuwek potwierdziły poprawność opracowanych parametrów przeróbki plastycznej wyprasek.

Określono również wpływ wielkości odkształcenia całkowitego na stan mikrostruktury i na wybrane własności stopu Ti-6Al-4V, prowadząc w tym celu testy wieloosiowego ściskania z użyciem modułu MaxStrain. Badano materiał otrzymany metodą metalurgii proszków oraz, jako tworzywo referencyjne, przetworzony plastycznie odlew. Testy prowadzono, symulując odpowiadający warunkom przemysłowym spadek temperatury materiału. Potwierdzono zdolność stopu otrzymanego metodą metalurgii proszków do jego kształtowania z zadaniem wysokiego odkształcenia całkowitego bez naruszenia spójności. Wykazano też możliwość rozdrobnienia w ten sposób mikrostruktury. Wyniki otrzymane na podstawie testów MaxStrain zweryfikowano, prowadząc próby walcowania na linii doświadczalno-przemysłowej. Otrzymano pozbawione wad produkty, których dobrą jakością potwierdziły obserwacje mikrostruktury i rezultaty badań własności.

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że wybór właściwej metody wytwarzania półwyrobów z dwufazowych stopów tytanu, z zastosowaniem jako materiałów wyjściowych relatywnie tanich proszków pierwiastków elementarnych, oraz opracowanie poprawnych parametrów ich przeróbki plastycznej umożliwi otrzymanie wyrobów o wysokiej gęstości względnej, korzystnej mikrostrukturze i własnościach, pozwalających na ich stosowanie jako elementy konstrukcji. Przeprowadzone w pracy badania pozwoliły też na uzupełnienie i rozszerzenie wiedzy na temat kształtowania tworzyw ze stopu Ti-6Al-4V, w szczególności wytwarzanych metodą metalurgii proszków, oraz na przygotowanie podstaw do projektowania procesów ich przeróbki plastycznej, co powinno przyczynić się do rozszerzenia obszaru ich zastosowań.

Badania wykonano zarówno w kraju, przede wszystkim w laboratoriach Akademii Górniczo-Hutniczej im. S. Staszica w Krakowie, jak również w Niemczech, w ramach prowadzonej od lat współpracy z ośrodkami naukowymi w Saksonii. Próby kucia matrycowego na gorąco przeprowadzono na liniach technologicznych w polskich zakładach produkcyjnych, kucie swobodne wyprasek i testy ich walcowania na gorąco zrealizowano na stanowiskach doświadczalno-przemysłowych w Niemczech.