



MECHANIZMY EWOLUCJI MIKROSTRUKTURY STOPU Ti6Al4V W PROCESIE WYSOKOTEMPERATUROWEGO FORMOWANIA MICROSTRUCTURE EVOLUTION MECHANISMS OF Ti6Al4V ALLOY DURING HOT STAMPING PROCESS

Kopec M.^{1,2*}

¹ Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk, ul. Pawińskiego 5b, 02-106 Warszawa

² Imperial College London, London SW7 2AZ, UK

*Kontakt korespondencyjny: ukopec@ippt.pan.pl m.kopec16@imperial.ac.uk

1. Wprowadzenie i metodyka badań

Stopy tytanu są szeroko stosowane w przemyśle lotniczym ze względu na ich doskonałe właściwości mechaniczne [1,2]. Jednak są one rzadko wykorzystywane komercyjnie ze względu na wysokie koszty produkcji. Podaje się, że koszt produktu wykonanego ze stopu tytanu jest 40 razy wyższy niż stali i 20 razy wyższy niż stopów aluminium [3]. Dlatego coraz ważniejsze staje się obniżanie kosztów wytwarzania produktów ze stopów tytanu. W tradycyjnym procesie formowania na gorąco, zarówno narzędzia formujące, jak i półfabrykat są wygrzewane w piecu znajdującym się w przestrzeni roboczej prasy a sam proces formowania prowadzony jest z niską prędkością odkształcenia co w konsekwencji czyni go energo i czasochłonnym. Wydłużone czasy nagrzewania nakładają również surowe wymagania na materiał narzędzi, ponieważ musi on wykazywać odpowiednio wysoką wytrzymałość w wysokiej temperaturze. Z tych powodów konieczne jest opracowanie nowych technologii poprawiających wydajność formowania i obniżających koszty wytwarzania elementów ze stopów tytanu. Zaproponowana w pracy technologia FAST [3] zakłada nagrzanie materiału z wysoką prędkością do temperatury formowania i natychmiastowym formowaniu komponentu z wykorzystaniem narzędzi w temperaturze pokojowej. Za pomocą systemu Gleeble przeprowadzono wysokotemperaturowe próby jednoosiowego rozciągania z różnymi prędkościami (0,5 - 150°C/s) oraz temperaturami (850 - 950°C) nagrzewania, aby zbadać wpływ tych parametrów na mikrostrukturę i formowalność materiału. Finalnie przeprowadzono testy formowania usztywniacza skrzydła ze stopu tytanu Ti6Al4V, aby zweryfikować aplikacyjność nowego procesu.

2. Najważniejsze wyniki

Wydłużenie materiału uzyskane w warunkach szybkiego nagrzewania wzrosło z 17% w 850°C do 241% w 950°C. W tych warunkach czas nagrzewania był zbyt krótki dla zapewnienia pełnej dyfuzji pierwiastków, co skutkowało nierównowagową mikrostrukturą stopu Ti6Al4V, a tym samym poprawiło odkształcalność stopu tytanu Ti6Al4V. Wraz ze wzrostem temperatury nagrzewania zaobserwowano wzrost udziału fazy β jednak w warunkach FAST udział objętościowy tej fazy był znacznie niższy niż w warunkach nagrzewania z prędkościami niższymi niż 15°C/s. Prędkość nagrzewania jest ważnym parametrem podczas obróbki cieplno-mechanicznej stopów tytanu, wpływającym na mechanizmy i kinetykę przemian fazowych. Badania przeprowadzone z użyciem mikroskopu transmisyjnego na próbkach poddanych nagrzewaniu z prędkością 100°C/s wskazały na utworzenie nano cząstek martenzytu o szerokości 33 nm wewnątrz fazy β . Stwierdzono, że nierównowagowy stan mikrostruktury w jakim znajduje się materiał w trakcie zastosowania bardzo wysokiej prędkości nagrzewania (>100°C/s) skutkuje znaczną poprawą formowalności stopu Ti6Al4V w temperaturze 900°C.

3. Dyskusja i wnioski

W warunkach szybkiego nagrzewania stopu Ti6Al4V zaobserwowano utworzenie cząstek nano martenzytu o dużej gęstości dyslokacji powstałych z fazy β po odkształceniu, co jest korzystne dla zachowania wytrzymałości po formowaniu, ale jednocześnie nie pogarsza odkształcalności. Przemiana fazowa fazy α w fazę β w obszarze dwufazowym jest głównie kontrolowana przez dyfuzję. Wykwalifikowaną część usztywniającą skrzydło wykonaną ze stopów tytanu TC4 można było z powodzeniem formować w czasie krótszym niż 70 s, włączając podgrzewanie, przenoszenie i formowanie, a wytrzymałość po formowaniu była prawie taka sama jak w przypadku początkowego półfabrykatu.

4. Literatura

- [1] Kopec M., Wang K., Politis D.J., Wang Y., Wang L., Lin J., Formability and microstructure evolution mechanisms of Ti6Al4V alloy during a novel hot stamping process, *Materials Science And Engineering A-Structural Materials Properties Microstructure And Processing*, ISSN: 0921-5093, DOI: 10.1016/j.msea.2018.02.038, Vol.719, pp.72-81, 2018
- [2] Kopec M., Wang K., Wang Y., Wang L., Lin J., Feasibility study of a novel hot stamping process for Ti6Al4V alloy, *MATEC Web of Conferences*, ISSN: 2261-236X, DOI: 10.1051/mateconf/201819008001, Vol.190, pp.1-5, 2018 Krawczyk J., Rożniata E.: Kształtowanie mikrostruktury i własności staliw nadeutektoidalnych. *Hutnik – Wiadomości Hutnicze* 73 (2006) Nr 4, s. 170÷177.
- [3] Wang K., Kopec M., Chang S., Qu B., Liu J., Politis D.J., Wang L., Liu G., Enhanced formability and forming efficiency for two-phase titanium alloys by fast light alloys stamping technology (FAST), *Materials & Design*, ISSN: 0264-1275, DOI: 10.1016/j.matdes.2020.108948, pp.1-25, 202