

Doktorant: mgr inż. Jakub Bańczerowski

Opiekun naukowy: dr hab. inż. Marek Pawlikowski, prof. uczelni

Tytuł rozprawy

Proces technologiczny oraz modelowanie numeryczne obróbki termo-plastycznej tytanu na potrzeby inżynierii biomedycznej

Teza: Czysty tytan po obróbce plastycznej w podwyższonej temperaturze może zastąpić obecnie stosowane w inżynierii biomedycznej stopy tytanu.

W inżynierii biomedycznej istnieje zapotrzebowanie na tytan o drobnoziarnistej strukturze. Obróbka plastyczna ma za zadanie rozdrobnić mikrostrukturę czystego tytanu, co pozwoli na przygotowanie materiału do dalszej obróbki. Przy wyższych temperaturach możliwe jest wykorzystanie zjawisk dynamicznej rekrytalizacji i poligonizacji pozwalających na sterowanie mechanizmem rozdrabniania. Wybrany materiał po odpowiednim umocnieniu może być tanią alternatywą dla obecnie stosowanych stopów tytanu. Celem doktoratu jest opracowanie technologii obróbki plastycznej tytanu w podwyższonej temperaturze, która podwyższy własności strukturalne i mechaniczne tego materiału.

W ramach dotychczasowej pracy przeprowadzono szereg eksperymentów polegających na obróbce plastycznej wyżarzzonego tytanu Grade 2 na symulatorze obróbki plastycznej Gleeble. Celem tych badań było uzyskanie jednorodnej, rozdrobnionej struktury. Analizowano parametry procesów odpowiadające zmiennym w czasie: obciążeniom $F(t)$ oraz przemieszczeniom $u(t)$, odkształceniom (do wartości 0,8), prędkościom odkształcenia (w zakresie $10^{-3} \div 10^2 \text{ s}^{-1}$), temperaturom (w zakresie $500 \div 800^\circ \text{ C}$). Ważnymi rezultatami badawczymi z procesów technologicznych były zależności naprężenie – odkształcenie, które opisywano równaniami stanu mechanicznego.

W celu sprawdzenia zgodności wyników eksperymentalnych z teorią zdecydowano się na przeprowadzenie obliczeń z wykorzystaniem znanych równań opisujących procesy zachodzące podczas obróbki plastycznej. Równania te najczęściej były wykorzystywane dla innych metali i stopów. Na podstawie obszernych studiów literaturowych zanalizowano szereg równań (uwzględniających m.in. reologię, pełzanie czy umocnienie materiału). Spośród dobranych wstępnie równań (Dorna, Johnsona-Cooka, Zerilli-Armstronga, Sellersa-

Tegartta) zdecydowano się na wykorzystanie równania Sellersa-Tegartta (znanego także jako równanie Arrheniusa). Wykonano obliczenia porównujące wartość naprężenia płynięcia (σ_s) dla danej temperatury i prędkości odkształcenia. Dobra zgodność wyników potwierdziła poprawny dobór równania. Wyniki te jednak stają się rozbieżne dla różnych temperatur – wskazuje to na potrzebę sformułowania nowego równania.

Na podstawie obserwacji oraz analizy mikrostruktury (SEM, STEM, EBSD) oraz studiów literaturowych wyjaśniano jakie zmiany zachodzą w materiale podczas odkształceń. Pozwoliło to na weryfikację teoretycznej poprawności ww. równania (dla danych procesów odkształcania).

Planowane jest wykorzystanie modelu numerycznego w celu modyfikacji istniejącego lub stworzenia nowego równania konstytutywnego dokładniej odwzorowującego odkształcenie plastyczne w podwyższonej temperaturze, co pozwoli na bardziej precyzyjny dobór parametrów tego procesu.

Wykaz publikacji:

Lista A MNiSW

1. J. Bańcerowski, J. Jeleńkowski, K. Skalski, S. Sawicki, M. Wachowski, Structure and mechanism of the deformation of Grade 2 titanium inplastometric studies, *Materials Science and Technology*, 35, no. 3, 253–259, 2019.
2. G. Kokot, A. Makuch, K. Skalski, J. Bańcerowski, Mechanical properties of cancellous tissue in compression test and nanoindentation, *Biomedical materials and engineering*, 29(4):415-426, 2018.
3. M. Pawlikowski, K. Skalski, J. Bańcerowski, A. Makuch, K. Jankowski, Stress-strain characteristic of human trabecular bone based on depth sensing indentation measurements, *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 37, 272-280, 2017.

Lista B MNiSW

1. J. Bańcerowski, J. Jeleńkowski, K. Skalski, Analysis of mechanical state equations and plans for experiments in the plastometric research of titanium, *Inżynieria Powierzchni*, 2, 27-32, 2017.
2. J. Bańcerowski, P. Wądołowski, G. Krzesiński, P. Gutowski: Modelling and strength analysis of a mandible miniplate, *Inżynieria Powierzchni*, 1, 30-40, 2016.