

STRESZCZENIE

Przedmiotem niniejszej rozprawy doktorskiej jest określenie wpływu impulsów prądowych na odkształcalność i mikrostrukturę stopów aluminium gatunków 5754 oraz 6016 w jednoosiowej próbie rozciągania oraz wybranych procesach tłoczenia blach.

W pierwszej części niniejszej pracy przedstawiono aktualny stan wiedzy w zakresie tematu rozprawy (rozdziały 1-3). Następnie zdefiniowano i przedstawiono cel i tezę pracy oraz materiał i metodykę badań (rozdziały 4-5). W kolejnej części przedstawiono wyniki badań, wraz z ich dyskusją i podsumowaniem na końcu każdego rozdziału (rozdziały 6-9). Na samym końcu przedstawiono wnioski oraz literaturę przedmiotu (rozdziały 10-11).

W pierwszej części pracy dokonano przeglądu stosowanych w przemyśle stopów aluminium do przeróbki plastycznej, ze szczególnym uwzględnieniem gatunków aluminium będących przedmiotem niniejszej rozprawy. Przedstawiono również możliwości kształtowania tych stopów na zimno, na ciepło oraz na gorąco, ze szczególnym zwróceniem uwagi na zjawiska zdrowienia i rekrytalizacji dynamicznej. Dalej opisano aktualny stan wiedzy na temat wpływu impulsów prądowych, na zachowanie się stopów metali w trakcie procesów ich kształtowania plastycznego. Opis ten jest obszerny, chociaż nie wyczerpujący, z uwagi na fakt, iż zespół prof. Zimniaka z Politechniki Wrocławskiej jest jedynym w kraju, w którym studiuje się omawiane zagadnienie oraz brakuje w tym zakresie opracowań w języku polskim.

W części badawczej przedstawiono wyniki z zakresu badań wytrzymałościowych oraz mikrostrukturalnych wybranych stopów aluminium. W zakresie badań wytrzymałościowych przeprowadzono próby rozciągania stopów aluminium gatunków 6016 oraz 5754 z jednoczesną aplikacją impulsów prądowych oraz bez niej. Badania stopu gatunku 6016 przeprowadzono dla trzech stanów utwardzenia: starzonego naturalnie, wyżarzane oraz przesycanego. Badania stopu gatunku 5754 przeprowadzono dla dwóch stanów utwardzenia: H111 oraz H22, przy czym dla stanu H111 badania przeprowadzono dla trzech różnych prędkości odkształcenia. Dodatkowo dla stopów gatunku 5754 przeprowadzono próby rozciągania w podwyższonej temperaturze. Przeprowadzono badania mikrostruktury przy pomocy dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych dla wszystkich badanych stopów oraz badania przy pomocy transmisyjnej mikroskopii elektronowej dla stopów gatunku 5754. Następnie dla wyselekcjonowanych z prób rozciągania stopów, przeprowadzono próby tłoczenia blach z jednoczesną aplikacją impulsów prądowych i bez niej. Próby te przeprowadzono dla dwóch różnych sposobów dostarczenia impulsów prądowych do tłoczonej blachy, na specjalnie skonstruowanych, w ramach niniejszej pracy, stanowiskach badawczych z systemem komputerowej akwizycji danych. Dla wybranych wyłoczek uzyskanych w procesie tłoczenia wykonano pomiary twardości oraz przeprowadzono badania mikrostruktury przy pomocy transmisyjnej mikroskopii elektronowej.

Na podstawie przeprowadzonych badań wytrzymałościowe stwierdzono, że istnieje możliwość znaczącego zwiększenia plastyczności stopów aluminium gatunku 5754 w jednoosiowej próbie rozciągania z aplikacją impulsów prądowych oraz istotnego zwiększenia plastyczności tychże stopów w próbach tłoczenia. Na podstawie przeprowadzonych badań mikrostrukturalne wykazano, że procesy zdrowienia i rekrytalizacji dynamicznej są głównymi czynnikami odpowiedzialnymi za obserwowane zmiany mikrostruktury i wpływają na wzrost odkształcalności badanych stopów.

ABSTRACT

The subject of this doctoral dissertation is to determine the impact of pulsed electric current on the formability and microstructure of 5754 and 6016 aluminium alloys in the uniaxial tensile test and selected deep drawing processes.

The state of the art in the range of the subject of this work was presented in the first three chapters. Then, the purpose and thesis of this work were defined in the fourth chapter, and the material and methods were determined in the fifth chapter. In the next part of this work the results were presented, with the discussion and summary at the end of each chapter (Chapters 6-9). Finally, the conclusions and literature were placed in Chapters ten and eleven, respectively.

In the first part of this work, a review of aluminium alloys used in the automotive industry, selected for metal forming processes, was presented. The main attention was paid to aluminium alloys that have been the subject of this work. The possibility of cold, warm, and hot forming of aluminium alloys was presented, with the corresponding microstructural phenomena such as dynamic recovery and recrystallization. Next, the actual review of electrically-assisted forming processes was carefully described.

In the experimental parts of this work, the results of the mechanical and microstructural study are presented. The electrically-assisted tensile tests of 6016 aluminium alloys were conducted for the three different states of hardening: naturally aged, annealed, and super saturated. The electrically-assisted tensile test of 5754 aluminium alloys was conducted for the two different states of hardening: H111 and H22. However, in the case of the H111 state, the three different strain rates were applied: 0.04, 0.01, and 0.0025 1/s. Additionally, tensile tests at elevated temperature were conducted for the 5754 aluminium alloy, in both hardening states. The electron backscatter diffraction and transmission electron microscopy were applied to the microstructural study of the specimens after the selected, above-mentioned processes. Subsequently, electrically-assisted deep drawing tests of 5754 aluminium alloys were performed. The two different self-constructed warrants of the dies were applied, to realize the deep drawing process with current pulse application. Microhardness measurements and microstructural studies using transmission electron microscopy were performed for the selected drawpieces.

The performed study showed that the application of current pulses in the tensile tests of 5754 aluminium alloys leads to a significant increase in their plasticity. This work also proved that the formability was increased during the electrically-assisted deep drawing process of the 5754 aluminium alloys. The microstructural study showed that the dynamic recovery and recrystallization are responsible for the changes of the microstructure, which finally led to an increase in the material formability.