

Role of low-angle boundaries in microstructure and texture transformations during annealing of severely deformed aluminum alloys

Jagoda Poplewska

Abstract

A mechanism of microstructure and texture changes in early stages of recrystallization is still unrecognised issue. Widely accepted models represent statistical approach and correctly describe only selectively chosen cases. Lack of a coherent theory describing this exceptional transformation, in the author view, mainly results from neglecting the role of low-angle boundaries and dislocations stored inside dislocation cells. This has consequences for the conscious shaping of microstructure and properties of a product during plastic and thermal processing to which it is necessary to get to know the transformation mechanism of texture of an alloy after plastic deformation into texture after recrystallization. Therefore, this problem is the subject of intensive research.

In the research program have been analysed a mutual relationship between the quantity of low-angle grain boundaries and morphological and textural changes that appear in the early stages of the recrystallization. It was assumed that the thermally activated migration of low-angle boundaries and dislocations stored inside dislocation cells (or grains) is the mechanism responsible for increasing misorientation across the recrystallization front and leading to high-angle grain boundaries formation. This mechanism transforms the boundaries of low mobility into the boundaries capable to fast migration.

The analysis was based on changes in materials subjected to severe plastic deformation and then annealed up to obtain full recrystallization state. The investigated materials were commercial purity aluminium alloys of AA1050 and AA3004 which were cut from hot-rolled sheets and ingots of Al-0.25%Zr alloy in the state after aging. These materials were characterized by different structure of the second phase particles. Microstructures of

severely deformed alloys were obtained via extrusion of samples using equal channel angular pressing die, mostly up to 6 passes along the route A, i.e. without any rotation of samples between consecutive passes. The deformed samples were annealed for 1 hour at selected temperatures ranging between 50°C and 400°C obtaining diversified degrees of recrystallization progress. Additionally, in the case of AA1050 alloy, the samples were annealed at 270°C for times ranging between 60 and 3600 seconds.

Research were mainly based on high resolution scanning electron microscopy and electron backscattered diffraction technique. Others techniques used to a lesser extend were based on transmission electron microscopy, X-ray diffraction and microhardness measurements.

The research program was focused on the analysis of morphological changes (dynamics of the globularization process) and the influence of the initial microstructure of the alloy (in particular the 'structure' of particles) on the nucleation of new recrystallized grains and the process of textural changes. With regard to the morphological changes taking place during recrystallization, a mechanism of 'transformation' of strongly flattened grains into globular grains was proposed. The mechanism was based on thermally activated motion of low-angle boundaries and dislocations stored inside dislocation cells. Based on the proposed mechanism of thermally activated motion of dislocation groups, the description of transformation of the texture components of the deformed state into the orientations of new grains was proposed. Based on the local orientation measurements, the role of low-angle boundaries and dislocations stored inside structure interior of the deformed state in the creation of new grains was explained. It was found, that in the severely deformed samples, the dispersoids significantly reduce the grains coarsening during annealing.

Rola granic małego kąta w przemianach mikrostruktury i tekstury podczas wyżarzania silnie odkształconych stopów aluminium

Jagoda Poplewska

Streszczenie

Mechanizmy przemiany mikrostruktury i tekstury w początkowych stadiach rekrytalizacji są nadal nierozpoznanym zagadnieniem. Powszechnie akceptowane modele mają „charakter statystyczny” i poprawnie opisują jedynie selektywnie wybrane przypadki. Brak spójnej teorii opisującej tę szczególną transformację w głównej mierze, w mniemaniu autorki, wynika z nieuwzględnienia w opisie roli granic małego kąta oraz dyslokacji zgromadzonych we wnętrzu komórek dyslokacyjnych. Ma to swoje konsekwencje dla możliwości świadomego kształtowania właściwości wyrobu. Dlatego też problem ten jest przedmiotem intensywnych badań.

W zrealizowanym programie badawczym analizowano związek przyczynowo-skutkowy pomiędzy zmianami w ilości granic małego kąta a przemianami morfologicznymi i teksturowymi dokonującymi się w początkowych stadiach procesu rekrytalizacji. Założono, że termicznie aktywowana migracja do frontu rekrytalizacji, granic małego kąta oraz dyslokacji zgromadzonych we wnętrzu komórek dyslokacyjnych jest mechanizmem odpowiedzialnym za przekształcenie granic o małej ruchliwości w granice zdolne do szybkiej migracji.

Analizę prowadzono w oparciu o zmiany zachodzące w materiałach poddanych silnemu odkształceniu plastycznemu, a następnie wyżarzanych, aż do uzyskania stanu całkowitej rekrytalizacji. Materiałem badawczym były techniczne stopy aluminium: AA1050 i AA3004 wycięte z blachy walcowanej na gorąco oraz wlewki stopu Al - 0,25% Zr w stanie po starzeniu. Materiały te charakteryzowały się zróżnicowaną ‘strukturą’ wydzielen drugiey fazy. Silnie odkształcone mikrostruktury stopów uzyskano w wyniku przeciśnięcia próbek przez kanał kątowy (matryca ECAP) w zakresie do 6-ciu przepustów, wg drogi A (tj. bez rotacji próbki pomiędzy

kolejnymi przepustami) i dodatkowo, do 10 przepustów tylko dla stopu AA1050. Wyżarzanie przeprowadzono w zakresie temperatur od 50°C do 400°C przez 1 godzinę do zróżnicowanych stopni zaawansowania procesu rekrytalizacji. Dodatkowo, w przypadku stopu AA1050, analizowano zmiany w procesie wyżarzania prowadzonego w stałej temperaturze - 270°C, dla zróżnicowanych czasów w zakresie od 60 do 3600 sekund.

Badania oparto głównie o wysokorozdzielczą skaningową mikroskopię elektronową oraz technikę EBSD. W mniejszym zakresie wykorzystano techniki oparte o transmisyjną mikroskopię elektronową, dyfraktometr rentgenowski oraz pomiary mikrotwardości. Prowadzone badania zogniskowano na analizie dynamiki procesu globularyzacji oraz wpływu początkowej mikrostruktury stopu (w szczególności „struktury” wydzielen) na zarodkowanie w procesie rekrytalizacji i związany z tym proces przemiany tekstury.

W odniesieniu do zmian morfologicznych, jakie dokonują się w procesie rekrytalizacji zaproponowano mechanizm „transformacji” struktury silnie spłaszczonych ziaren w strukturę ziaren globularnych oparty o termicznie aktywowany ruch granic małego kąta i dyslokacji zgromadzonych we wnętrzu komórek dyslokacyjnych. Efekty zmian morfologicznych powiązано z radykalnym przekształceniem obrazu tekstury. W oparciu o mechanizm termicznie aktywowanego ruchu grup dyslokacji dokonano opisu procesu przekształcania składowych tekstury stanu odkształconego do położeń definiujących orientacje nowych ziaren. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że w silnie rozdrobnionych strukturach stopów, drobne cząstki drugiej fazy znacząco hamują pogrubianie ziaren podczas wyżarzania.