

ECAR 가공한 AA3103 판재의 미세조직 변화

이재필* · 허무영** · 정영훈*** · 박종우***

Changes in Microstructures of AA3103 sheets deformed by ECAR

J. P. Lee, M. Y. Huh, Y. H. Chung and J. W. Park

Abstract

Samples of the aluminum alloy 3103 sheets were repeatedly deformed by ECAR up to twelve passes. Shear textures developed after the first passage of ECAR. However, the intensity of shear texture components decreased with increasing number of ECAR passages. Observations by TEM and EBSD revealed that the degree of misorientations within the deformed grains increased with increasing number of ECAR passes. Changes in textures and microstructures were hardly observed during recrystallization anneal. Upon subsequent annealing, the samples deformed by a large number of ECAR passes displayed a continuous grain growth. A higher deformation by ECAR resulted in a slower softening, which reflects the stability of ultra-fine grains against the grain growth.

Key Words: Equal channel angular rolling (ECAR), Severe plastic deformation, Grain growth.

1. 서 론

Equal channel angular rolling (ECAR) 공정은 기존의 ECAR 공정과 유사한 강소성 가공의 일종이다. ECAR 공정은 빠른 속도로 또한 연속적인 공정으로 판재금속에서 1.0 μm 이하의 미세한 결정립을 얻을 수 있어, 고강도의 고연성의 미세한 결정립을 가지는 판재를 대량으로 제조할 수 있는 장점을 가지고 있다.

일반적으로 알루미늄 판재의 제조공정은 냉간 압연과 차후의 재결정을 거치는 동안 냉간압연집합조직과 재결정집합조직이 형성되며 결정립의 최종 크기가 결정된다. 재결정집합조직에는 입방 체방위 {001}<100>이 형성되는데 이때 불연속 재

결정에 의하여 수십 μm 의 크기를 갖는 조대한 결정립이 형성된다.

본 연구에서는 AA3103 판재를 이용하여 ECAR 가공 중에 형성되는 초미립 결정립의 형성 과정을 추적하였고, 이렇게 가공된 AA3103 판재를 어닐링 시 일어나는 재결정 과정을 집합조직과 미세조직관찰을 통하여 알아 보았다. 또한 어닐링시 초미립 결정립의 성장과정을 추적하여 어떠한 결정립 성장기구가 작용하는지도 연구하였다.

2. 실험 방법

* 고려대학교 재료공학부

** 고려대학교 재료공학부

*** 한국과학기술연구원 재료부

본 연구에서 사용한 소재는 두께 4 mm의 AA3103 (Al-1.5%Mn) 핫밴드로, 이 핫밴드를 먼저 윤활압연으로 1.75mm의 두께를 가진 판재로 가공 후에, 폭 30mm / 길이 400mm / 두께 1.75mm 소재를 ECAR 초기 시편으로 준비하였다.

이 시편을 선속도 0.2m/sec로 ECAR 공정을 통하여 12 패스까지 반복 전단변형을 가하였다. ECAR와 어닐링에 따른 집합조직과 미세조직의 발달과정과 경도변화를 XRD, TEM, EBSD, Vickers Hardness로 알아보았다. 또한, ECAR 공정으로 2, 6, 12 패스 시편을 300°C, 350°C에서 시간 별로 어닐링 열처리를 하여 어닐링에 따른 집합조직과 미세조직, 경도 변화도 추적 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. ECAR 집합조직과 미세 조직

냉간 압연 후 ECAR 를 위한 시편의 초기 집합조직에는 전형적인 알루미늄의 압연집합조직인 $\{112\}\langle 111 \rangle$ Cu-방위, $\{123\}\langle 634 \rangle$ S-방위, $\{110\}\langle 112 \rangle$ Bs-방위가 얻어졌다.

한 패스의 ECAR 에 의하여 초기 시료에 발달하였던 압연집합조직은 거의 사라지고, 대신에 $\{001\}\langle 110 \rangle$ 등의 전단방위가 형성됨을 알 수 있었다. ECAR 공정에 의하여 반복적인 전단변형이 가해짐에 따라, 압연면 (ND) 방향으로 $\{111\}$ 집합조직이 형성됨을 관찰할 수 있었다. 그러나, ECAR 반복전단변형 수가 증가하여도 변형집합조직은 발달하지 않았고, 최대 $\{111\}$ 극강도는 2.0 정도로 일정한 편이었다.

ECAR 공정 패스 수가 증가할수록 결정립이 미세화 해 졌으며, 12 패스 후에는 약 1 μm 의 결정립 미세화가 이루어졌다. 이러한 결정립 미세화 과정은 ECAR 공정 초기 패스에 주로 이루어졌으며, 패스 수가 증가할수록 결정립 미세화의 속도가 늦어졌다. 그리고, 결정립계의 high angle grain boundary 비율도 패스가 증가할수록 증가하였다. 또한, 12 패스의 미세조직 관찰결과, 대부분의 결정립계는 고경각으로 존재하였다. 또한, 가공 후에도 결정립 내부에는 전위 (dislocation) 가 거의 존재하지 않음을 확인 할 수 있었다.

FEM simulation (DEFORM-2D)과 실제 ECAR 공정의 한 패스를 SEM-image 로 알아본 ECAR 공정의 한 패스 당 가해진 전단변형은 0.56 이었고, 재료와 다이의 높은 마찰에 의해 약

143°C이상의 열이 발생됨을 또한 알 수 있었다. 이는 ECAR 공정에 의해 동적 재결정이 일어날 수 있는 변형과 열을 동시에 제공함을 의미하는 것이다. 또한 경도측정 결과 4 패스 후에는 더 이상의 경도 상승이 없음도 ECAR 공정 시 동적 재결정이 일어남을 뒷받침 해 주었다.

그림 1 의 EBSD 관찰 결과에서 보여주듯이, 12 패스의 ECAR 후에는 결정립의 크기가 약 1 μm 로 되었고 결정립의 내부에 전위가 거의 존재하지 않는초미립결정립들이 보여지는데 이 사실은 ECAR 공정 시 동적 재결정이 상당부분 일어났음을 뜻하는 것이다.

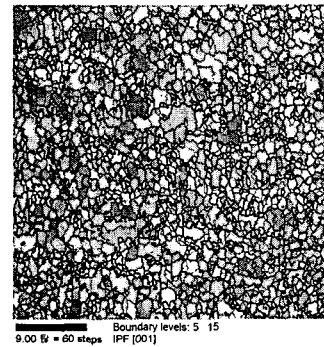


Fig. 1 EBSD after 12 passes of ECAR

3.2. ECAR 시편의 어닐링 열처리

2 패스, 6 패스, 12 패스 ECAR 한 시편을 300°C에서 어닐링 열처리하면서 집합조직과 미세조직의 변화를 어닐링 시간에 따라 측정하였다. 어닐링 시간이 증가함에 따라 급격한 집합조직의 변화가 전혀 관찰 되지 않아 모든 시편에서 특정한 행이 형성되어 자라나는 불연속재결정은 일어나지 않음을 확인 할 수 있었다. 그리고, 12 패스 시료의 경우에는 ECAR 후 결정립 크기가 대체로 균일하고, high angle grain boundary 가 70%이상이며, 결정립 내부에는 전위밀도가 매우 낮아, 어닐링 시 sub-grain 들의 합체가 일어나며 점차적인 결정립의 성장이 일어나는 연속재결정이 일어남을 확인할 수 있었다. 6 패스 시편에서는 12 패스 시편에 비하여 결정립 크기의 분포 폭이 좀 컸으나, 여기서도 점진적인 연속재결정이 일어났다.

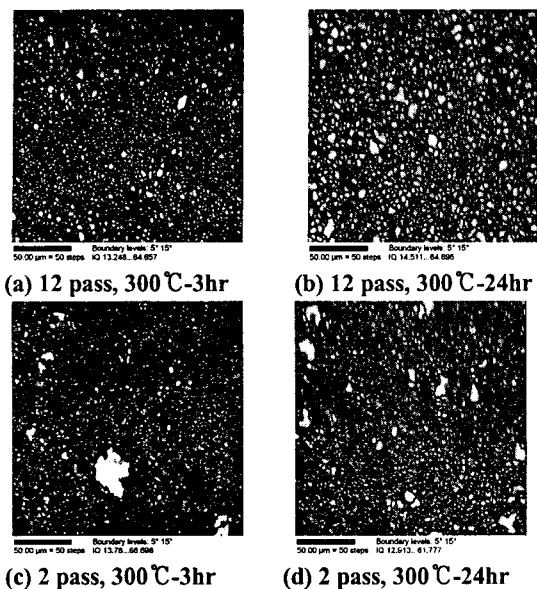


Fig 2. EBSD IQ-maps after annealing at 300 °C

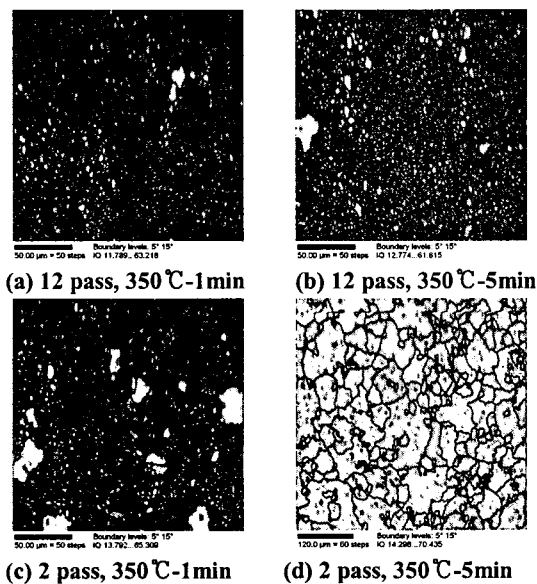


Fig 3. EBSD IQ-maps after annealing at 350 °C

반면, 2 패스시료에서는 ECAR 후 결정립 크기의 분포가 다양하였으며 저각결정립계가 60% 정도를 차지하고 있었다. 이 시료를 어닐링 시에는 대부분의 영역에서는 회복 만 일어나고, 국부적으로 결정립이 성장하는 결과가 얻어졌다. 이것은 2

패스 시료의 경도가 6 또는 12 패스 시료 보다 높았던 것을 설명해 주는 것이다.

350°C에서 어닐링 시에는 결정립계의 이동성이 300°C에 비해 커져서, 각 시료에 따른 결정립 성장의 과정과 속도를 명확히 비교 할 수 있었다. 350°C에서 어닐링 시에도 불연속 재결정기구는 관찰되지 않았다. 그러나, 그림 3 에서 보듯이, 결정립 성장속도는 2 패스 시료가 가장 빨랐고, 2 패스에서는 국부적으로 조대한 결정립들이 주변의 결정립들을 소모하면서 40 μm 이상의 결정립으로 성장하였다. 반면 12 패스 시료에서는 열처리 전 결정립 크기가 거의 일정하여 이웃하는 결정립과의 크기에 따른 성장 구동력이 적어 특정 결정립 만이 빨리 자라나는 효과가 적은 것으로 판단된다.

4. 결 론

ECAR 공정시 결정립 미세화, 고경각 결정립계의 형성과 함께 동적 재결정 과정이 이루어졌다. ECAR 한 시료에서는 연속재결정이 일어나며, ECAR 패스수가 증가할수록 결정립 성장속도가 느렸다.

후 기

본 연구는 과학기술부 21 세기프론티어 연구개발사업인 '나노소재기술개발사업단'의 지원(과제번호 03K1501-00212)으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. H.D. Kim, M.Y. Huh, N.J. Park and Y.H. Chung: Metals & Mater. Inter. Vol. 9 (2003), p. 413
2. Y.H. Chung, H.D. Kim, H.T. Jeong, O. Engler and M.Y. Huh: Mater. Sci. Forum, Vols. 396-402 (2002), p. 447
3. J.H. Han, H.K. Seok, Y.H. Chung, M.C. Shin and J.C. Lee: Mater. Sci. Eng. Vol. A323 (2002), p. 342
4. Y.H. Chung, J.P. Ahn, H.D. Kim, B.B. Hwang, O. Engler and M.Y. Huh: Mater. Sci. Forum, Vols. 408-412 (2002), p. 1495