

ECAP 가공한 Zn-Al 합금의 초소성 변형특성

정재용¹ · 김근준¹ · 나길환¹ · 하태권*

Superplastic Deformation Behavior of a Zn-Al Alloy Fabricated by ECAP

J. Y. Jung, K. J. Kim, G. H. Na, T. K. Ha

Dept. of Metal and Materials Engineering, Kangnung-Wonju National University, Gangneung 210-702

Abstract

Superplastic deformation behavior and texture evolution after equal channel angular pressing (ECAP) of Zn-0.3Al alloy were investigated in this study. ECAP was conducted at temperatures from 40°C to 160°C on the plate type specimens of 5 mm thickness and 20 mm width. The specimens obtained by ECAP showed typical texture with basal poles tilted away from the ND toward ED. A series of compression and tensile tests was carried out at temperatures from RT to 200°C under the strain rate from 0.03 to 10/s. After ECAP of the Zn-Al alloy, elongation was dramatically increased up to 1000% at above 60°C. The effects of ECAP on the texture and anisotropy in the superplastic deformation behavior were found to be negligible.

Key Words : Zn-Al Alloy, Superplastic Deformation, ECAP, Texture

1. 서 론

등통로각압축법으로 불리는 ECAP(Equal Channel Angular Pressing) 가공법은 다결정 일반 금속재료에 유효변형을 1.0 이상의 심한 전단 변형을 가하여 초미세결정립 재료로 변환시키는 가공법이다. 이 방법은 재료의 단면적 감소 없이 매우 큰 변형량을 부여함이 가능하고 공정 후에도 재료 내부에 기공이 발생하지 않는 균일한 고강도 초미세결정립 재료를 얻을 수 있는 장점이 있다.[1-4] 하지만

ECAP에 의해 성형 가공된 재료는 이방성을 가진다고 잘 알려져 있다.[5]

본 연구에서는 비교적 낮은 온도에서도 뛰어난 초소성을 나타내는 것으로 잘 알려진 Zn-Al 합금에 대하여 ECAP 가공에 따른 이방성을 평가하고 이에 따른 초소성 변형거동의 변화를 체계적으로 규명하고자 하였다. 아연은 입방정 금속에 비해 이방성이 크고, 제한된 슬립계를 가지는 것으로 잘 알려져 있으나 [6-7] 첨가원소로 Al을 약 0.3Wt.% 정도 함유한 단상합금은 적절한 가공열처리에 의해

1. 강릉대학교 금속재료공학과
E-mail : tkha@kangnung.ac.kr

1400% 이상의 뛰어난 초소성을 나타내는 것으로 보고된 바 있다. 본 연구에서는 Zn-Al 단상합금을 제조 후 ECAP 공정을 이용하여 가공 횟수와 온도변화에 따른 집합구조의 변화를 관찰하였고 이의 초소성 특성 평가를 위해 인장시험을 행하였다.

2. 실험 방법

2.1 잉곳제조 및 ECAP 가공

Zn-0.3wt.% 합금은 고주파 유도용해를 이용하여 30kg 잉곳의 형태로 제조하였으며 220°C에서 용체화처리를 한 후 잉곳의 길이방향으로 절단하여 10mm 두께로 가공한 후 220°C에서 압하율 60%로 열간압연하여 두께 4mm의 판재를 얻었다. ECAP 가공을 위하여 그림 1과 같이 수직통로와 수평통로 사이의 내부각(Φ)이 90°이고 만곡각(Ψ)은 30°인 판재용 다이를 SKD61을 사용하여 제작하였다. 시편의 치수는 두께 4mm, 폭 20mm, 길이 100mm였다. ECAP 가공 중 윤활을 위해 MoS₂를 사용하였으며, 가공속도는 4mm/s 였고 온도를 40°C, 60°C, 100°C, 160°C에서 회전 없이 각 1, 2, 4 Pass씩 시행 하였다.

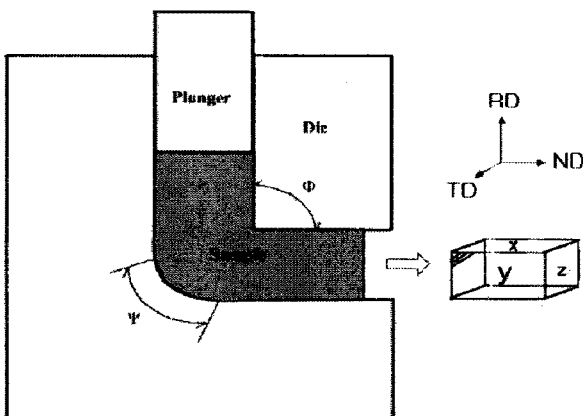


Fig. 1. Schematic illustration of ECAP process and sample geometry.

2.2 집합조직의 측정 및 분석

ECAP시험을 통해 얻어진 시편은 그림 1의 X면 집합조직을 분석하였다. 이를 위하여 BRUKER®사 XRD(X-Ray Diffraction) 장비를 이용하여 (002), (100), (101) 극점도를 반사법(reflection method)으로 75° 까지 측정하였다. 주된 집합조직 성분들을 분석하였다.

2.3 초소성 인장시험

Zn-0.3wt.%Al 합금의 초소성 변형특성에 미치는 ECAP 가공의 영향을 알아보기 위하여 상온과 100°C에서 ECAP 가공 한 시편들에 대하여 압출방향, 수직방향, 그리고 45°방향으로 표점거리 4mm의 인장시험편을 제작하여 초기 변형률 속도 2×10^{-4} /s로 인장시험을 시행하였다. 비교를 위하여 ECAP 가공전의 열간압연재에 대하여도 인장시험을 시행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 집합조직의 변화

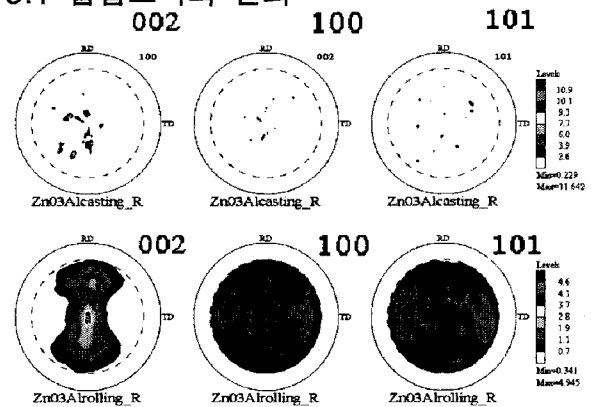


Fig. 2. (002), (100) and (101) pole figures of as-cast and hot-rolled specimens.

그림 2는 주조한 잉곳과 열간 압연판재의 집합조직을 나타낸 것으로 주조상태의 경우 조대한 결정립들에 의한 몇 개의 개별적인 pole 들고 이루어진 집합조직을 나타내는데

basal pole 이 ND 부근에 위치하는 방위를 나타내는 반면, 열간 압연판재의 경우에는 basal fiber texture 가 RD 방향으로 분산된 전형적인 조밀육방정의 압연집합조직을 보여주고 있다.

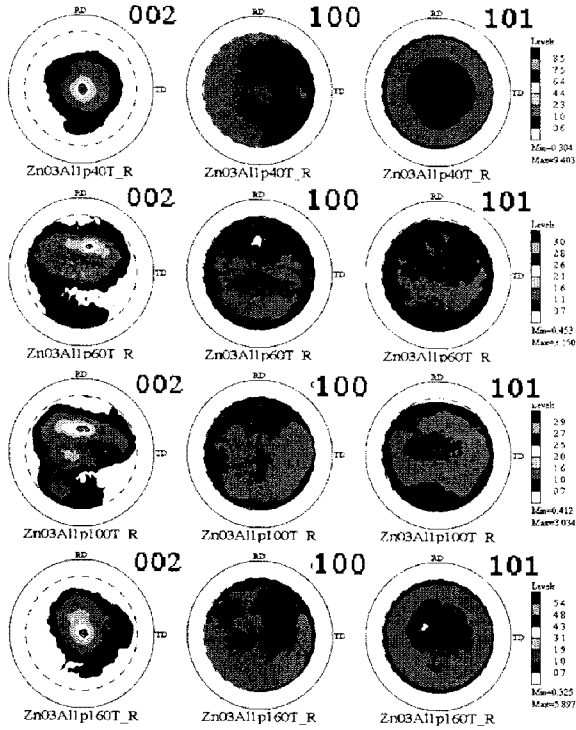


Fig. 3. (002), (100) and (101) pole figures of ECAPed Zn-03Al through 1Pass.

그림 3 에서 5 는 ECAP 한 후 각 pass 별 집합조직의 변화를 나타내고 있다. 열간압연한 상태의 판재에서 나타나는 전형적인 압연집합조직과는 달리 basal pole 이 RD 방향으로 두드러지게 편향된 집합조직이 강하게 발달되는 것을 알 수 있으며, 이는 pass 수가 증가함에 따라 더욱 두드러지는 것을 알 수 있다. 이러한 집합조직은 전단집합조직으로 ECAP 가공공정의 전단변형특성에 의해 나타난 것으로 판단된다. 상대적으로 슬립계가 작동하기 용이하게 배치 됨으로써 소성변형능력이 향상되고 결과적으로 초소성 변형에서 결정립계 미끄러짐을 보완해 줄 수 있는 슬립계가 많아지므로 초소성 변형특성도 향상될 것으로 기대된다.

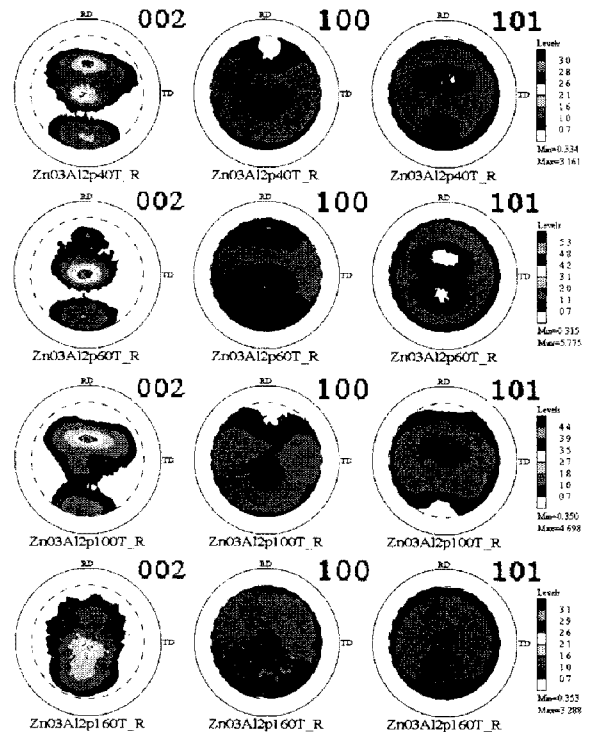


Fig. 4. (002), (100) and (101) pole figures of ECAPed Zn-03Al through 2Pass.

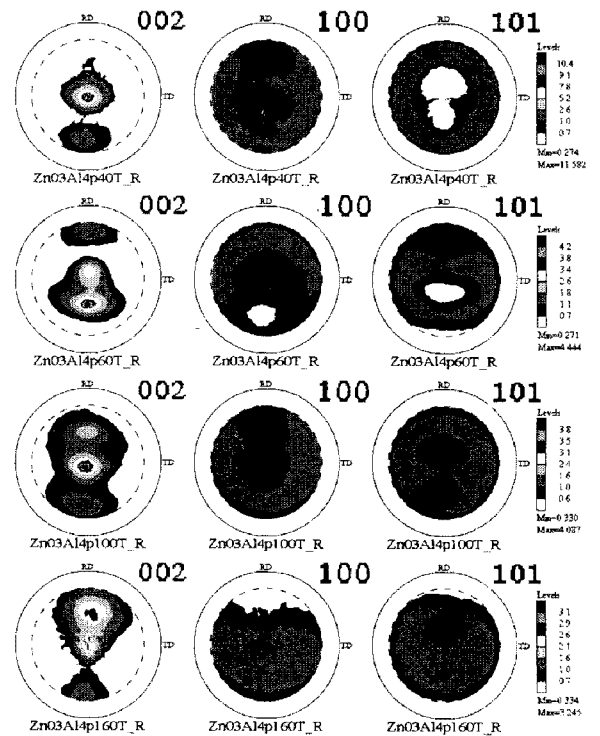


Fig. 5. (002), (100) and (101) pole figures of ECAPed Zn-03Al through 4Pass.

3.2 초소성 변형거동

표 1은 열간압연재와 다양한 온도에서 4 pass의 ECAP 가공을 거친 시편들에 대하여 가공방향에 대하여 0, 45, 90° 방향으로 인장시편을 제작하여 100°C에서 2×10^{-4} /s로 인장시험을 시행한 결과를 나타낸 것이다. ECAP 가공온도가 낮을수록 항복강도와 인장강도는 낮아지고, 가공방향에 대하여 90° 방향으로의 강도가 높게 나타났으나 그 영향은 크지 않았다. 열간압연재와 비교하면 ECAP 가공재의 강도가 현저하게 낮아짐을 알 수 있는데 이는 집합조직의 변화와 관계있는 것으로 판단된다. 즉, ECAP에 의해 전단집합조직이 발달함으로써 basal slip이 보다 용이한 방위로 배열됨으로써 항복응력이 낮아지고 가공경화도 심하지 않은 것으로 해석할 수 있다. 또한 ECAP 가공에 의해 결정립 미세화가 일어나서 결정립계 미끄러짐이 활발하게 일어남으로써 유동응력은 낮아지고 연신율은 급격히 증가하여 560%까지 얻을 수 있었다.

Table 1 Summary of mechanical properties of Zn-0.3wt.%Al alloy conducted at 100°C.

| Specimen | Angle (°) | YS (MPa) | UTS (MPa) | El.(%) | |
|---------------|-----------|----------|-----------|--------|-----|
| Hot-rolled | 0° | 92 | 101 | 83 | |
| | 45° | 101 | 108 | 88 | |
| | 90° | 104 | 112 | 82 | |
| 4Pass ECAP | 60°C | 0° | 33 | 37.9 | 558 |
| | | 45° | 35 | 40.5 | 461 |
| | | 90° | 37.8 | 43.5 | 561 |
| | 100°C | 0° | 35 | 39 | 460 |
| | | 45° | 30 | 37 | 508 |
| | | 90° | 32 | 40 | 444 |
| | 160°C | 0° | 57 | 65 | 332 |
| | | 45° | 65 | 69 | 334 |
| | | 90° | 73 | 78 | 332 |

4. 결 론

ECAP가공온도가 낮아짐에 따라 전단집합조직의 강도가 증가되는 경향을 확인할 수 있었으며, pass수가 증가함에 따라 더욱 두드러졌다. ECAP에 의해 전단집합조직이 발달함으로써 basal slip이 보다 용이한 방위로 배열됨으로써 항복응력이 낮아지고 ECAP 가공에 의해 결정립 미세화가 일어나서 결정립계 미끄러짐이 활발하게 일어남으로써 유동응력은 낮아지고 연신율은 급격히 증가하여 560%까지 얻을 수 있었다.

후 기

집합조직의 해석에 도움을 주신 강릉원주대학교 금속재료공학과와 정효태 교수님께 깊이 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Y. Iwahashi, Z. Horita, M. Nemoto, T. G. Langdon, *Metall. Mater. Trans.* Vol. 29A(1988), p. 2503.
- [2] J. Y. Chang, J. S. Yoon, *J. Kor. Inst. Met. & Mater.* Vol. 40(12) (2002), p. 1309.
- [3] V. M. Segal, *Mater. Sci. Eng.* Vol. A197(1995), p. 157.
- [4] J. S. Hates, Keyte, P. B. Prangnell, *Master. Sci. Technol.* Vol. 16(2000), P. 1259
- [5] I. V. Alexandrov, A. A. Dubravina, A. R. Kilmametov, V. U. Kazykhanov, R. Z. Valiev, *Met. Mater. Int.* Vol. 9, (2003), p. 151.
- [6] C. Van Riet and P. De Meester : *Scripta Metall.*, 19, 795 (1985)
- [7] T. K. Ha, J. R. Son, W. B. Lee. C. G. Park and Y. W. Chang : *Mater. Sci. Eng.*, A307, 98 (2001)