

# ECAP 가공한 Zn-0.3Wt%Al 합금의 초소성 변형 특성

하태권<sup>#</sup> · 정재용<sup>1</sup> · 김근준<sup>1</sup> · 나길환<sup>1</sup>

## Superplastic Deformation Behavior of a Zn-0.3Wt%Al Alloy Fabricated by ECAP

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

(Received June 23, 2009 / Revised July 13, 2009 / Accepted July 29, 2009)

### Abstract

Superplastic deformation behavior and texture evolution after equal channel angular pressing (ECAP) of Zn-0.3Wt%Al alloy were investigated in this study. ECAP was conducted at temperatures from 60°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, which is called shear texture. Tensile tests were carried out at 100°C for ECAPed specimens under the strain rate of 0.0002/s. After ECAP of the Zn-0.3Wt%Al alloy, elongation was dramatically increased up to 500% at 100°C. The effect of ECAP on the anisotropy in the superplastic deformation behavior was negligible.

**Key Words** : Zn-Al Alloy, Superplastic Deformation, Equal Channel Angular Pressing, Texture

## 1. 서 론

등통로각압축법으로 불리는 ECAP(Equal Channel Angular Pressing) 가공법은 다결정 일반 금속재료에 유효변형율 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[1~3]. 하지만 ECAP에 의해 성형 가공된 재료는 이방성을 가진다고 잘 알려져 있다[4].

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[5] 첨가원소로 Al을 약 0.3wt.% 정도 함유한 단상합금은 적절한 가공열처리에 의해 1400% 이상의 뛰어난 초소성을 나타내는 것으로 보고된 바 있다[6, 7]. 본 연구에서는 Zn-0.3Al 단상합금을 제조 후 ECAP 공정을 이용하여 가공 횟수와 온도변화에 따른 집합조직의 변화를 관찰하였고 그에 따른 초소성 변형특성 평가를 위해 인장시험을 행하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 잉곳제조 및 ECAP 가공

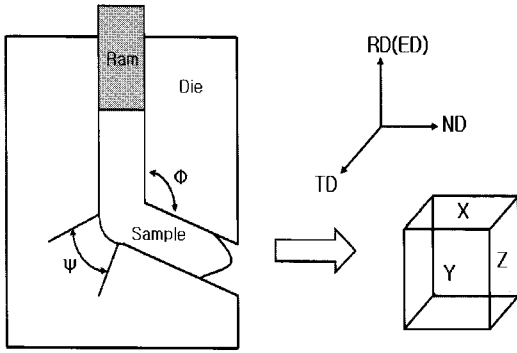
Zn-0.3wt.% 합금은 고주파 유도용해를 이용하여 30kg 잉곳의 형태로 제조하였으며 220°C에서 용

1. 강릉원주대학교 금속재료공학과  
# 교신저자: 강릉원주대학교 금속재료공학과,  
E-mail: tkha@kangnung.ac.kr

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 미세조직

Fig. 2에 본 연구에서 제조한 Zn-0.3wt.%Al 합금 잉곳의 미세조직을 보였다. 주조재의 경우 매우 조대한 결정립 크기를 보였으나 열간압연 후에는 Fig. 2(b)와 같이 미세화가 일어났으나 결정립 크기가 균일하지 않고 평균 30 $\mu$ m 정도의 조대하고 불규칙한 형태의 결정립 구조가 나타났다.



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

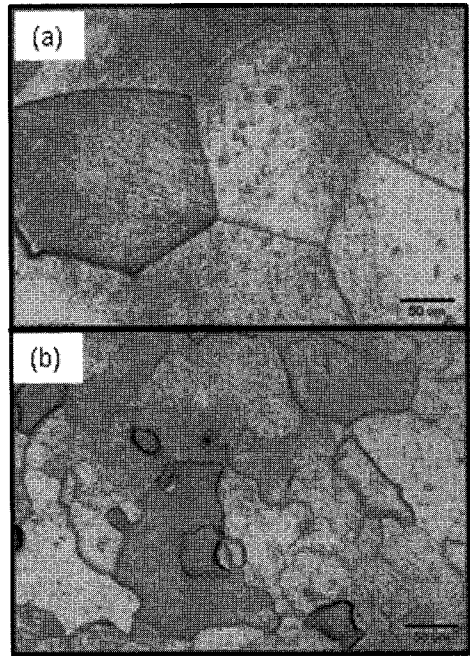
체화처리를 한 후 잉곳의 길이방향으로 절단하여 10mm 두께로 가공한 후 220 $^{\circ}$ C에서 압하율 60%로 열간압연하여 두께 4mm의 판재를 얻었다. ECAP 가공을 위하여 Fig. 1과 같이 수직통로와 수평통로 사이의 내부각( $\Phi$ )이 90 $^{\circ}$ 이고 만곡각( $\Psi$ )은 30 $^{\circ}$ 인 판재용 다이를 SKD61을 사용하여 제작하였다. 시편의 치수는 두께 4mm, 폭 20mm, 길이 100mm였다. ECAP 가공 중 윤활을 위해 MoS<sub>2</sub>를 사용하였으며, 가공속도는 4mm/s였고, 온도를 60 $^{\circ}$ C, 100 $^{\circ}$ C, 160 $^{\circ}$ C에서 회전 없이 각각 1, 2, 4 pass씩 시행하였다.

#### 2.2 집합조직의 측정 및 분석

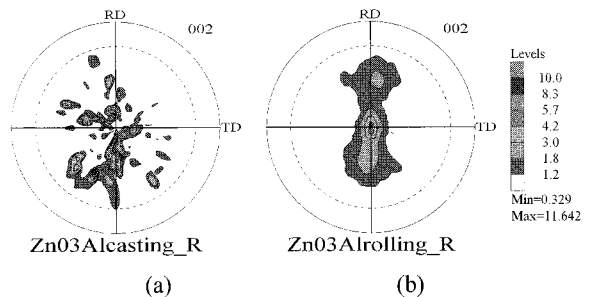
ECAP 시험을 통해 얻어진 시편은 Fig. 1의 X면 집합조직을 분석하였다. 이를 위하여 BRUKER<sup>®</sup>사 XRD(X-Ray Diffractometer) 장비를 이용하여 (002) 극점도를 반사법(reflection method)으로 75 $^{\circ}$ 까지 측정하였다. 보다 정확한 집합조직의 분석을 위하여 각 시편마다 두께방향의 중심부(S=0), 위표면(S=1) 그리고 아래표면(S=-1)에서의 극점도를 측정하였다.

#### 2.3 초소성 인장시험

Zn-0.3wt.%Al 합금의 초소성 변형특성에 미치는 ECAP 가공의 영향을 알아보기 위하여 100 $^{\circ}$ C에서 ECAP 가공한 시편들에 대하여 압출방향, 수직방향, 그리고 45 $^{\circ}$  방향으로 표점거리 4mm의 인장시험편을 제작하여 초기 변형률 속도 2 $\times$ 10<sup>-4</sup>/s로 인장시험을 시행하였다. 비교를 위하여 ECAP 가공전의 열간압연재에 대하여도 인장시험을 시행하였다.



**Fig. 2 Microstructures of as-cast and hot-rolled specimens**



**Fig. 3 (002) pole figure of (a) as-cast and (b) hot-rolled specimens**

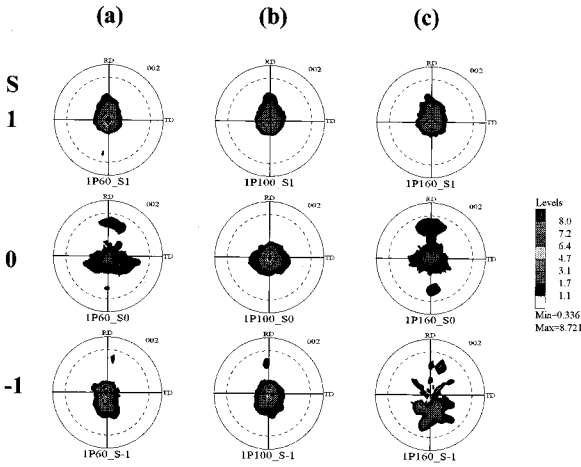


Fig. 4 (002) pole figures of ECAPed specimens at (a) 60, (b) 100, and (c) 160°C by 1 pass

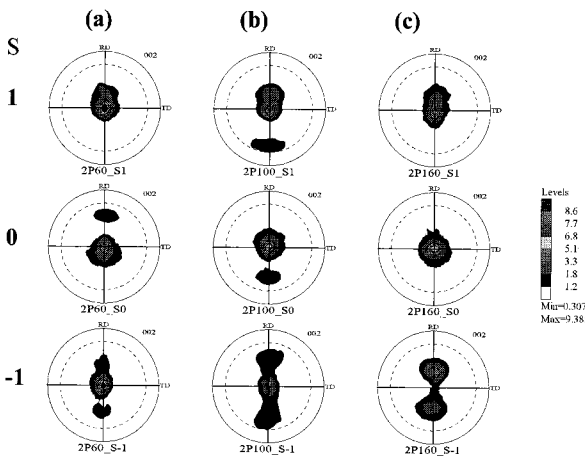


Fig. 5 (002) pole figures of ECAPed specimens at (a) 60, (b) 100, and (c) 160°C by 2 passes

### 3.2 집합조직의 변화

Fig. 3 은 구조한 잉곳과 열간 압연판재의 집합조직을 나타낸 것으로 구조상태의 경우 조대한 결정립들에 의한 몇 개의 개별적인 pole 들로 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. 4 에서 Fig. 6 은 ECAP 한 후 각 pass 별 집합

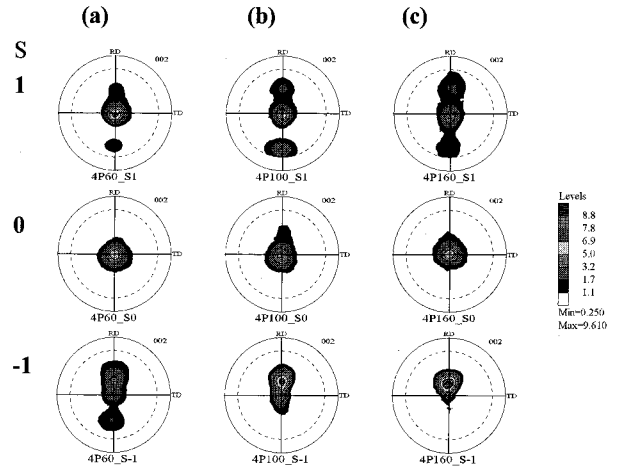


Fig. 6 (002) pole figures of ECAPed specimens at (a) 60, (b) 100, and (c) 160°C by 4 passes

조직의 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 가공횟수가 증가함에 따라 더욱 두드러지는 것을 알 수 있다. 이러한 집합조직은 전단집합조직으로 ECAP 가공 공정의 전단변형특성에 의해 나타난 것으로 판단된다. 상대적으로 슬립계가 작동하기 용이하게 배치 됨으로써 소성변형능력이 향상되고 결과적으로 초소성 변형에서 결정립계 미끄러짐을 보완해 줄 수 있는 슬립계가 많으므로 초소성 변형특성도 향상될 것으로 기대된다 [8, 9].

### 3.3 ECAP 가공 후 미세조직의 변화

Fig. 7은 4회 ECAP 가공한 후의 미세조직을 나타낸 것이다. 가공온도가 가장 낮은 60°C에서는 매우 미세하고 균일한 미세조직이 형성된 반면 가공온도가 높아짐에 따라 전체적인 결정립 크기는 점차 증가하고 균일한 크기분포를 가지지 않는 것을 알 수 있다.

### 3.4 초소성 변형거동

Table 1은 열간압연재와 다양한 온도에서 4 pass의 ECAP 가공을 거친 시편들에 대하여 가공방향에 대하여 0, 45, 90° 방향으로 인장시편을 제작하여 100°C에서  $2 \times 10^{-4}$ /s로 인장시험을 시행한 결과를 나타낸 것이다. ECAP 가공온도가 낮을수록 항복

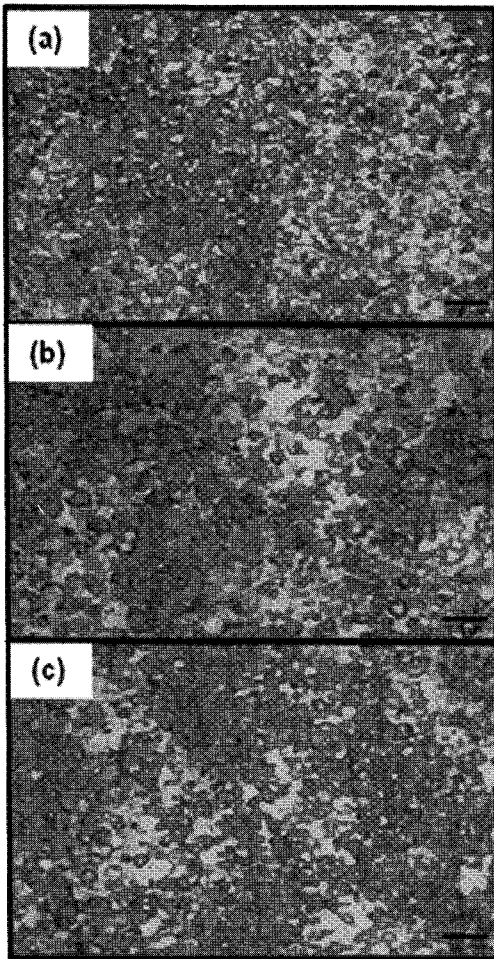


Fig. 7 Microstructure obtained after 4-pass ECAP on Zn-0.3wt.%Al alloy at temperatures of (a) 60, (b) 100 and (c) 160°C

강도와 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 tensile properties of Zn-0.3wt.%Al alloy obtained 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. 결론

본 연구에서는 ECAP 가공에 따른 미세조직과 집합조직의 변화와 초소성 변형특성을 평가함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) ECAP가공에 의해 전단집합조직이 형성되는 것을 확인하였으며, 가공온도가 낮아짐에 따라 그리고 가공회수가 증가함에 따라 전단집합 조직의 강도는 증가되었다.

(2) ECAP가공에 의해 전단집합조직이 발달함으로써 basal slip이 보다 용이한 방위로 배열됨으로써 항복응력이 낮아지고 ECAP 가공에 의해 결정립 미세화가 일어나서 연신율이 증가하였다.

(3) ECAP가공에 따른 초소성 변형의 이방성은 크지 않았고, 60°C에서 4회 ECAP 가공한 시편에서 최대 560%의 초소성 연신율을 얻을 수 있었다.

#### 후 기

본 연구는 2006 년도 학술진흥재단 신진교수연구비지원(과제번호 D00274)에 의해 이루어졌으며 이에 감사 드립니다. 집합조직의 해석에 도움을 주신 강릉원주대학교 금속재료공학과와 정효태 교수님께 깊이 감사 드립니다.

## 참 고 문 헌

- [1] R. Z. Valiev, T. G. Langdon, 2006, Principles of Equal-Channel Angular Pressing as a Processing Tool for Grain Refinement, *Prog. Mater. Sci.*, Vol. 51, p. 881.
- [2] R. Z. Valiev, R. K. Islamgliev, I. V. Alexandrov, 2000, Bulk nanostructured materials from severe plastic deformation, *Prog. Mater. Sci.*, Vol. 45, p. 103.
- [3] Y. T. Chu, X. Z. Liao, 2004, Nanostructured materials: retaining ductility, *Nature Mater.*, Vol. 3, p. 351.
- [4] I. V. Alexandrov, A. A. Dubravina, A. R. Kilmametov, V. U. Kazykhanov, R. Z. Valiev, 2003, Textures in Nanostructured Metals Processed by Severe Plastic Deformation, *Met. Mater. Int.*, Vol. 9, p. 151.
- [5] C. Van Riet, P. De Meester, 1985, Cavitation in a Dilute Superplastic Zn-0.5%Al Alloy - A Cascade Mechanism for Cavity Generation, *Scr. Metall.*, Vol. 19, p. 795.
- [6] T. K. Ha, W. B. Lee, C. G. Park, Y. W. Chang, 1997, Room Temperature Superplasticity in a Zn-0.3wt.%Al Alloy, *Metall. Mater. Trans.*, Vol. 28A, p. 1711.
- [7] T. K. Ha, J. R. Son, W. B. Lee, C. G. Park, Y. W. Chang, 2001, Superplastic Deformation Behavior of a Fine-Grained Zn-0.3wt.%Al Alloy at Room Temperature, *Mater. Sci. Eng.*, Vol. A307, p. 98.
- [8] T. K. Ha, Y. W. Chang, 1998, An Internal Variable Approach to Structural Superplasticity, *Acta Mater.*, Vol. 46, p. 2741.
- [9] T. K. Ha, H. C. Shin, Y. W. Chang, 1997, An Internal Variable Approach to Superplastic Deformation Behavior of Pb-Sn Eutectic Alloy, *J. Kor. Inst. Met. Mater.*, Vol. 35, p. 191.