

## 3104알루미늄 합금의 강도향상과 귀발생 억제를 위한 가공열처리법 연구

### Thermomechanical Treatment of 3104 Aluminum Alloy for Improving Strength and Earing Properties

한국과학기술연구원 조권구\* 정영훈 이창우 신명철  
고려대학교 권숙인

#### Abstract

Two kinds of thermo-mechanical treatments(TMT) were applied to two AA3104 alloys. Tensile test, cupping test and texture measurement were conducted. Height and angular positions of earings in the drawn cups were explained by ODF analysis. Tensile strengths of the experimental AA3104 alloys primarily depended on the contents of alloying elements. The tensile strengths measured in RD+45° direction were generally lower than those measured in RD and TD directions. The textures of the experimental alloys were determined as shear texture {100}<011> and Cube texture {100}<001> by ODF's. Some optimum ratio of shear texture {100}<011> and Cube texture {100}<001> for reducing earings was found.

#### 1. 서 론

Al beverage can으로 사용되는 재료로는 AA3004나 AA3104등이며 세계적으로 can-stock sheet로 사용되는 량은 연간 2백만톤에 달하고 있다. 일반적으로 can sheet 제조는 주조, 균질화처리, 열간압연, 소둔 그리고 냉간압연의 공정으로 이루어지며, 최종적인 특성으로는 295MPa이상의 인장강도, 285MPa이상의 항복강도와 3%이하의 낮은 귀발생이 요구된다. 이러한 특성을 만족시키기 위해서는 제조공정중의 변형공정, 회복, 재결정거동 그리고 집합조직 등을 이해하고 조절함으로써 얻을 수 있다[1-3].

현재 사용되고 있는 can-body제조공정에 대해서는 외국제조회사가 비밀로 하고 있기 때문에 자세한 것은 알 수 없지만 기본적인 공정으로 알려진 것은 다음과 같다. 주조된 시편을 breakdown mill로 500℃에서 열간압연한다. 이때 열간압연은 15분정도가 소요되고 온도는 300℃까지 떨어지며, 두께가 25mm정도의 slab가 된다. 이 단계에서 그 slab는 hot finishing mill로 전달되는데 이 mill의 roll속도는 재결정이 일어나지 않을 정도로 매우 빠른 경우도 있다. 이와 같이 제조된 can sheet의 최종 두께는 0.3mm 이하이다[1-3]. 그런데 국내에는 이러한 제조설비가 없고, 제조 기술력 또한 부족한 것이 현실이다.

따라서 본 연구에서는 기존의 can body sheet특성에 상당하는 새로운 가공열처리공정을 개발하는 것이 기본적인 목적이며, 또한 가공열처리공정에 따른 첨가원소와 집합조직이 귀발생에 미치는 영향을 이해하고자 하는 것이다.

## 2. 실험방법

본 연구에서 사용한 재료는 두 가지 종류로 DC주조한 것과 진공유도용해로에서 주조한 ingot이다. 시편제작은 두 가지의 열처리 공정을 통하여 제조하였다. 열처리 공정은 주조한 시편을 열간압연을 행하기 전·후에 용체화처리(607°C/6hr)와 시효처리(450°C/24hr)를 행한 후 냉간압연, 재결정처리(520, 560°C/1hr) 그리고 냉간압연(65%)순으로 행한 것(공정A)과 열간압연하기 전에만 용체화처리와 시효처리를 한 후 냉간압연, 재결정 그리고 냉간압연(공정B)순으로 행한 것이다. 최종 시편의 두께는 0.5mm였으며 두 시편의 조성은 표1에 나타내었다. 이와 같이 제조된 시편으로 인장시험, cupping test 그리고 집합조직 측정을 하였다. 인장시험은 압연방향에 대하여 0°, 45°와 90°에서 하였으며 subsize의 시편을 사용하였다. 가공성과 귀발생 정도를 측정하기 위한 Cupping시험 시편은 직경 55mm이고 편치는 33mm로 drawing비는 1.67이었으며, 고품운활제를 도포하여 시험하였다. 집합조직은 시편두께의 1/3의 위치에서 (111), (200) 그리고 (220)면의 pole figure를 측정하였고 이를 통하여 ODF분석을 하였다.

Table 1. Chemical composition of specimens

Element Alloy	Mn	Mg	Fe	Cu	Si	Al
KIST Alloy	0.87	1.24	0.49	0.24	0.22	bal.
DC Alloy	0.99	1.16	0.31	0.19	0.31	bal.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 인장시험

두 합금과 공정조건 그리고 재결정온도에 따른 각 시험방향에서의 인장시험결과를 표2에 나타내었다. 전체적으로 볼 때 인장강도와 항복강도는 RD나 TD방향에 비해 R+45°방향에서 약간 낮은 값을 보이고 있으며, 연신율은 전반적으로 약간 높은 값을 보이고 있다. 재결정 온도에 따른 인장특성을 보면 560°C에서 재결정처리(용체화처리의 의미)한 것이 520°C에 비해 약간 높은 인장값을 보이고 있다. 이러한 결과는 재결정 처리후 시효공정에서 나타나는 석출경화의 효과에 따른 차이라고 사료된다. KIST합금과 DC주조합금을 비교해 보면 KIST합금이 전반적으로 조금 높은 인장값을 보이는데 이는 표1의 성분함량을 보면 알 수 있다. 비록 고용강화와 분산상의 형성으로 강도향상에 기여하는 Mn의 함량은 KIST합금에 비해 DC주조합금이 높지만 그의 constituent particle을 형성하여 강화에 기여하는 Cu, Mg, Fe의 함량은 KIST합금이 높다. 또한, DC주조시 강도를 감소시킨다고 알려진 Si의 함량은 DC주조합금이 더 높다. 따라서 전반적인 인장값의 차이는 첨가원소의 함량의 차이에 기인한 것으로 사료된다[4-5].

### 3.2 집합조직과 Cupping test

그림1은 560°C에서 재결정처리한 두 합금과 가공열처리공정에 따른  $\phi 2=0^\circ$ 에서의 ODF결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이 전단집합조직(shear texture)인  $\{100\}\langle 011 \rangle$ 방위가 주방위로 존재하였으며, 방위분포함수가 낮기는 하지만 재결정집합조직인 Cube방위( $\phi 1=0, \phi 2=0$ )도 같이 존재함을 볼 수 있다. Cupping test결과는 표2에 나타내

었는데 모든 시편에서 1.91~5.4%사이의 45°방향의 귀발생을 보였다.

ODF결과(그림1)와 귀발생정도(표2, 그림2)를 비교해 보면 전단집합조직인 {100}<011>방위의 방위분포함수가 높고  $\phi_1=0$ ,  $\phi_2=0$  위치인 Cube집합조직의 방위분포함수가 낮은 그림1의 (a) 경우에는 5.4%의 높은 귀발생을 보여주고 있다. 반면, 그림1의 (a)에 비해 변형집합조직의 방위분포함수는 낮아지고 Cube집합조직의 방위분포함수가 높아진 (d)의 경우에 있어서는 1.91%로 매우 우수한 귀발생율을 보이고 있다.

두 합금과 공정조건에 따른 귀발생은 그림2에 도식적으로 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 두 합금 모두 A공정보다는 B공정에서 낮은 귀발생율을 보이고 있다. 이러한 결과는 그림1의 ODF결과에서 볼 수 있듯이 두 합금 모두 A공정보다는 B공정에서 Cube집합조직의 방위분포함수가 약간 높은 결과를 보였다. 이러한 결과는 서로 다른 가공열처리에 따른 미세조직과 냉간압연시 기지의 변형균일성에 기여하는 particle의 차이에 기인한 것으로 사료된다.

위의 결과들을 미루어 볼 때 귀발생은 전단변형집합조직과 재결정 집합조직인 Cube 집합조직이 일정비율로 존재할 때 억제되는 것으로 사료된다.

Table 2. Tensile properties of alloys as a function of heat treatment process and test direction.

Alloy and Process	Recry. Temp.	Tensile Properties									Earing (%)
		UTS			YS			El.			
		RD	RD+45°	TD	RD	RD+45°	TD	RD	RD+45°	TD	
KIST Process A	520°C	299	298	308	255	258	274	7.9	8.5	8.7	5.4
	560°C	306	303	310	272	263	273	8.3	10.3	9.6	4.12
KIST Process B	520°C	303	296	296	257	241	245	9.4	9.7	9.1	2.51
	560°C	303	298	307	263	251	260	10.3	10.1	9.3	2.71
DC Process A	520°C	290	289	292	252	238	240	8.2	9.1	8.3	3.11
	560°C	292	292	297	251	245	240	8.2	9.5	8.7	2.74
DC Process B	520°C	290	290	292	253	246	251	8.8	9.1	8.9	1.94
	560°C	298	294	297	260	249	253	8.9	10.5	10.4	1.91

#### 4. 결론

- 1) 두 합금 및 모든 조건에서 인장값은 R+45°방향에서 약간 낮은 값을 보였다.
- 2) KIST합금이 DC주조합금보다 높은 인장값을 보였는데 이는 constitute particle을 형성하는 첨가원소의 함량의 차이에 기인한 것으로 사료된다.
- 3) ODF측정결과 전단변형집합조직인 {100}<011>방위가 주방위로 나타났으며, 재결정 집합조직인 Cube방위도 낮은 방위분포함수로 존재하였다.
- 4) 귀발생은 모두 45°에서 발생하였고 ODF의 결과와 잘 일치하였는데 전단변형집합조직({100}<011>)과 재결정집합조직(Cube, {100}<001>)이 일정비율을 보일 때 가장 낮은 귀발생율을 보였다.
- 5) A공정보다는 B공정에서 낮은 귀발생율을 보였다.

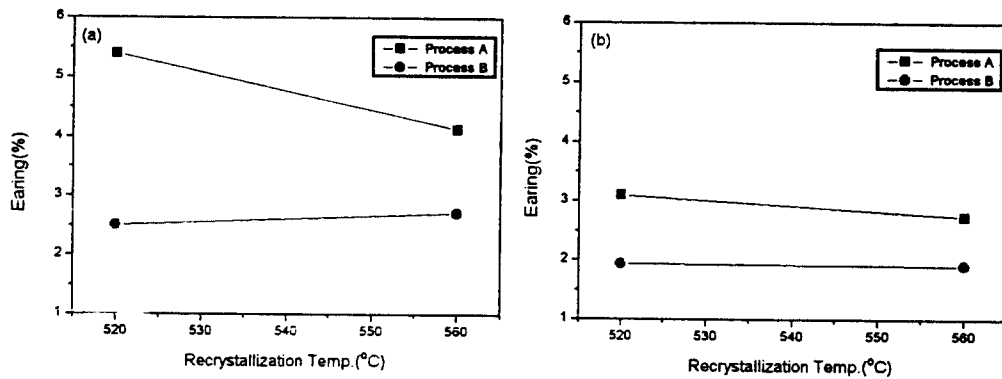


Fig.2. Earing in the drawn cup with process and alloys  
(a) KIST alloy (b) DC alloy

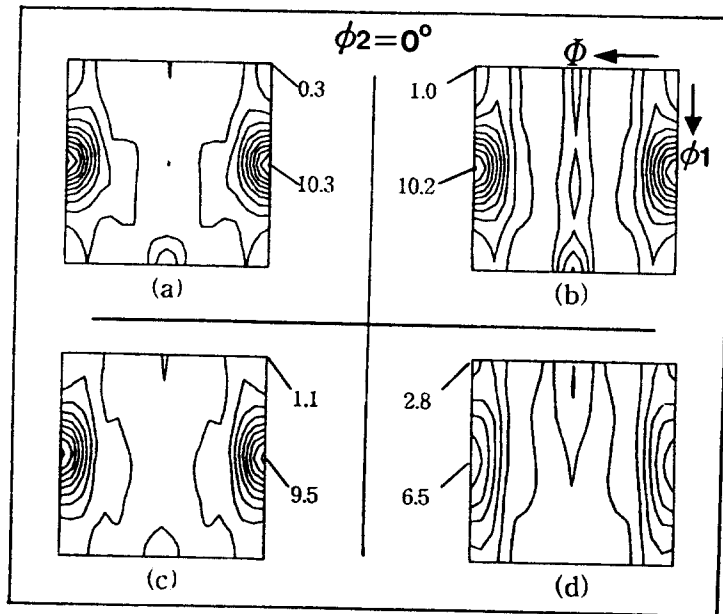


Fig.1. Orientation Distribution Function of shear texture and Cube texture  
(a) KIST alloy, Process A, 560°C recry. (b) KIST alloy, Process B, 560°C recry.  
(c) DC alloy, Process A, 560°C recry. (d) DC alloy, Process B, 560°C recry.

## 5. 참고문헌

- [1] Humpherys, F.J. and Hatherly, M., (1996), Recrystallization and related annealing phenomena. Pergamon Press. p393-395
- [2] Shin Tsuchida and Yoshio Baba, Aluminum Alloys for Packaging, ed. by J. G. Morris et. al., Proc. of sym. TMS, Chicago, USA, Nov. p 17-29 (1992)
- [3] Z. Li and X. Li, et. al., ibid. p. 61-69
- [4] D. D. Roeber, R. E. Sanders, Jr., Sci. and Eng. of Light Mat., ed by K. Hirano et. al., RASELM 91., Tokyo, Japan p. 747-753 (1991)
- [5] E. J. Westerman, Aluminum Alloys for Packaging, ed. by J. G. Morris et. al., Proc. of sym. TMS, Chicago, USA, Nov. p 1-16 (1992)
- [6] O. Engler et. al., Proc. 6rd Int. Conf. Al-Li Alloys, p. 333-338, (1991)