

## 알루미늄 폐캔을 이용한 2차地金の 微細組織 및 集合組織에 미치는 合金元素의 影響

\*林且容 · 高興錫 · 姜石峯

韓國機械研究院 材料技術研究部

### Effect of Alloying Elements on the Microstructure and Texture of the Secondary Ingots made by Al Used Beverage Cans

\*Cha-Yong Lim, Hung-Suk Ko and Suk-Bong Kang

Dept. of Materials Engineering, Korea Institute of Machinery and Materials, Changwon, 641-010, Korea

#### 요 약

사용한 알루미늄 캔을 다시 캔으로 재활용 하는 단계는 폐캔의 수집, 피쇄, 선별, 도료제거, 용해 및 2차지금을 제작하는 단계와 이 2차지금을 이용하여 열처리, 열간 및 냉간압연, 중간소둔처리 등을 거쳐 다시 캔을 성형하는 단계로 나눌수 있다. 본 연구에서는 2차지금에서 캔성형까지의 과정에서 중요한 요소인 미세조직 및 열간압연후의 집합조직에 미치는 합금원소의 영향을 조사하였다. 폐 캔을 이용하여 다시 캔을 제조하기 위한 판매가공에서는 주조시 형성된 공석상들의 구형화와  $\alpha$ 상( $Al_{12}(Fe, Mn)_3Si$ )으로의 상변화 제어가 필요한데, 열처리에 의한 석출거동을 조사하여 615°C, 5시간 균질화 처리조건에서 최적의 미세조직을 얻을 수 있었다. 2차지금을 이용하여 캔소재를 제조한 결과, Mn량이 증가할수록 고용효과에 의해 전기전도도는 감소하고 집합조직의 발달이 억제되었다. Si와 Fe는 금속간화합물 형태로 존재하며, 함량이 증가할수록 석출효과에 의해 전기전도도가 증가하고 변형집합조직의 발달이 촉진되었다. 캔은 냉간압연후 다른처리 없이 바로 제조되기 때문에 집합조직의 제어는 열간압연 및 소둔처리 단계에서 제어되어야 한다.

주제어 : 알루미늄 폐캔, 재활용, 합금원소, 판매제조, 상변화, 미세조직, 집합조직

#### ABSTRACT

Aluminum can to can recycling was divided into two steps. The first step was composed of the processes such as collection of used beverage cans (UBC), shredding, magnetic separation, De-laquing, melting and casting. The second one was remelting and casting, heat treating, hot and cold rolling, annealing, and can making. In this study, the effect of alloying elements on the microstructure and texture of the secondary ingots made by Al UBC was investigated. In aluminum can to can recycling, the second phase particles appeared in the solidification stage must be controlled by heat treatment. The optimum heat treatment condition was 615°C for 5hrs. The textures in hot rolled sheet was depressed with increasing Mn content, on the other hand, Si and Fe elements promoted the texture development. The textures of can-body sheet should be controlled in the hot rolling and annealing stage because can was formed from cold rolled sheet without heat treatment.

Key words: Used aluminum cans, Recycling, Alloying elements, Sheet forming, Phase transition, Microstructure, Texture.

#### 1. 서 론

알루미늄은 가볍고 내식성이 우수하며 인체에 무해하기 때문에 맥주를 비롯하여 음료용 캔으로 많이 사용되

고 있다.<sup>1,2)</sup> 현재 전세계적으로 1년에 소비되는 알루미늄 캔은 약 1600억개 정도로 전체 음료캔의 약 80% 정도를 차지하고 있다.<sup>3,4)</sup> 그리고 선진국일수록 음료캔의 소비추세는 생체친화적인 알루미늄 캔의 비중이 점점 증가하고 있다. 국내에서도 1996년에 약 13억개 (23,000톤)의 알루미늄 캔이 소비되었고, 음료캔에서 약

\* 1999년 9월 22일 접수, 2000년 3월 24일 수리

\* E-mail: cylum@kmail.kimm.re.kr

20%를 점하고 있다.<sup>5)</sup> 사용한 알루미늄 캔은 중요한 자원으로 다시 알루미늄 캔으로 재활용 하는 것은 폐기에 따른 환경문제를 해결하고 에너지를 절약한다는 점에서 가시적인 효과를 얻을 수 있는 효율적이고 중요한 분야이다.<sup>6,7,8,9)</sup> 자원의 재활용은 유한한 자원을 지속가능하게 사용할 수 있다는 점에서 인류의 생존과 직결되는 과제이다. 선진국에서는 이미 Green round를 통해 환경과 무역을 연계시키기 시작하였고, 유럽에서는 앞으로 환경부담성 재료의 수입을 금지하는 등 세계무역질서에도 구체적인 변화가 일어나고 있다. 특히 수출주도형의 산업이 대부분을 차지하는 우리나라로서는 이에 적극적으로 대비할 필요가 있다. 그리고 공해방지효과, 에너지 소비절감 등 재활용의 간접적인 경제성까지 합치면 그 중요성은 지대하다 하겠다.

알루미늄 캔용 원소재 관제는 물론 알루미늄의 국내 소요량을 전량 수입에 의존하고 있는 우리나라로서는 활용 가능한 알루미늄캔의 재활용율을 높여야 하는 것은 의회절약과 환경보호 측면에서 대단히 중요하다. 그러나 국내의 알루미늄 캔의 재활용은 효율적으로 이루어지고 있다고 할 수 없다. 폐 알루미늄 캔이 효과적으로 회수되고 있지도 않으며, 아직 정확한 통계자료도 나와있지 않은 형편이다. 알루미늄 캔의 가장 효율적인 재활용은 다시 알루미늄 캔으로 재활용하는 것이나 현실은 철강제조시의 탈산제나 각종 주조품(다이캐스팅 포함)으로 재활용되고 있는 형편이다. 즉 회수된 알루미늄캔이 국내에서는 전혀 다시 캔으로 사용되지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 알루미늄 캔을 다시 알루미늄 캔으로 재활용하기 위한 공정을 연구하였다. 폐알루미늄 캔과 신지금을 같은 비율로 사용하여 제조된 캔용 알루미늄 합금의 미세조직과 상변화 특성, 캔성형시 귀(earing)발달에 중요한 영향을 미치는 열간압연후의 집합조직에 미치는 합금원소의 영향을 조사하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 시험편제조

폐알루미늄캔과 순알루미늄을 같은 비율로 용해한 후 필요한 합금원소는 모합금의 형태로 첨가하였다. 아르곤 가스를 이용하여 10분간 탈가스 처리를 하고 750°C에서 출탕하였다. Table 1 에는 제조된 시험편의 화학조성을 나타내었다. A합금은 캔용소재로 현재 사용중인 Al-Mn-Mg합금으로서 기준(base)합금으로 설정

하였으며 나머지 3합금(B, C, D)은 Mn, Fe, Si원소 등의 영향을 조사위하여 설계한 합금이다. 주조후 최적의 균질화조건을 설정기 위해 처리온도는 350°C 부터 615°C 까지 변화시켰으며 처리시간은 30분부터 20 시간까지 변화시켰다. 균질화처리후 시험편을 190(W)×140(L)×23(T) (mm) 크기로 제작한 다음 480°C 에서 1 시간 예열하여 23 mm 에서 4 mm 까지 한 방향으로 열간압연하였다.

### 2.2. 미세조직

주조, 균질화조건변화, 공정변화에 따른 미세조직은 연마지 #1200번까지 연마후 1 μm 다이아몬드 페이스트로 연마하고 Keller용액으로 부식시킨 후 광학현미경으로 관찰하였다. 정출물의 분포와 상분석은 JEOL-5800모델 주사전자현미경을 이용하여 관찰하였다. 기지 내 미세 석출물들은 시험편을 기계연마에 의해 100 μm 이하로 연마후 표준화학적 계트연마법으로서 20% 퍼클로릭산(perchloric acid)과 80%메탄올(methanol) 혼합용액에서 전류밀도 10 A/cm<sup>2</sup>, 전압 60V, 온도 -30°C 조건으로 연마하여 투과전자현미경으로 관찰하였다.

### 2.3. 전기전도도 · 저항 및 경도

전기전도도는 실온에서 MAGNAFLUX FM-140 모델을 이용하여 표준ASTM에 의거한 ±3% IACS오차범위에서 측정하였다. 전기저항은 JIS규격 C2525 에 의거하여 실온 20°C 에서 4 단자 측정방법을 이용하였다. 시험편은 총길이 8 cm, 표점거리 4 cm 로 일정하게 제작하였다. 전류기는 HMCR-48A모델을 사용하여 10 mA 정전류를 흘려 보내어 전압기 KEITHLEY 181모델 나노볼트미터기를 이용하여 임계전압을 측정하였다. 측정된 임계전압을 가지고 JIS규격에 의거한 식  $\rho = (R \times S) / L$  (여기서,  $\rho$ 는 저항(mΩ),  $R_x$ 는 20°C 에서 측정된 실측저항(Ω), S는 시험편의 단면적 (mm<sup>2</sup>), L은 시험편의 길이(m))을 이용하여 각 시험편의 저항을 구하였다. 경도는 MATSUZAWA MST720 디지털 미소경도기를 이용하여 10회 측정하여 최대치 및 최소치를 제외한 값의 산술평균치를 경도값으로 취하였다.

### 2.4. 집합조직

집합조직은 자동화된 집합조직 측정용 고니오메타에서 측정하였으며 극점도분석은 불완전극점도로서 셀츠 반사법을 이용하여  $\alpha$ 는 0° 부터 70° 까지 5° 간격으로 3개의 반사면 (111), (200), (220)에 대한 극점도를 측

정하였으며 무질서도의 보정은 무질서한 방위를 가진 4N고순도 알루미늄 분말을 이용하여 무질서도를 측정 한 다음 보정된 극점도를 작성하였다. Euler각에 따른 방위분포함수(ODF)의 계산은 세계의 극점도 결과로부터 Bunge의 급수 전개방법( $l_{max}=22$ )으로 방위밀도값  $f(g)$  를 구하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1. 전기전도도 변화

주조 및 균질화조건에서 온도변화에 따른 석출거동을 조사하기 위하여 전기전도도변화를 동시에 관찰한 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 전기전도도는 400°C~450°C 온도영역에서 모두 최대치를 나타내고 있다. 전기전도도는 처리온도가 증가할수록 최대치까지 급격하게 증가한 다음 점차 감소하는 경향을 보인다. 또한 처리시간이 길어질수록 전기전도도는 증가하고 있다. 기준합금(alloy A)과 다른 합금을 비교해보면, Mn량이 증가할수록 전기전도도는 감소하고 최대 피크치는

450°C에서 400°C로 낮은 온도로 이동하고 있다. Si와 Fe량이 증가하면 전기전도도는 증가하고 최대 피크치는 400°C의 낮은 온도로 이동함을 알 수 있다. 전기전도도는 기지내 용질원자와 매우 밀접한 관계에 있다. 일반적으로 기지내 용질원자의 고용도가 과포화되면 전기전도도는 과포화고용원자 및 주변의 변형장 때문에 감소한 반면, 용질원자의 석출 및 상변화시에는 전기전도도는 증가한다. 2원계 알루미늄합금에서 Mn의 고용도는 627°C에서 1.0 wt%, Mg 450°C에서 17.4 wt%이다. 그외 Si는 577°C에서 1.65 wt%, Fe는 655°C 0.04 wt%이다. 3원계 Al-Mn-Mg 알루미늄합금에서는 Mn과 Mg의 고용도는 감소한다. Mn의 고용도는 593°C에서 0.96 wt% 이던 것이 0.8 wt%으로 감소하고 Mg의 고용량은 2 wt%로 감소한다. 3원계 이상 합금에서 위의 각 화학성분들의 고용온도는 낮아진다. 전기전도도의 최대 피크점인 400°C~450°C에서는 용질원자 거동이 활발하게 진행되는 영역으로서 석출이 잘 이루어짐을 생각할 수 있다. 기준합금과 타합금을 비교해보면 Mn량이 증가할수록 기지내 고용도는 증가하여 과포화로 인해

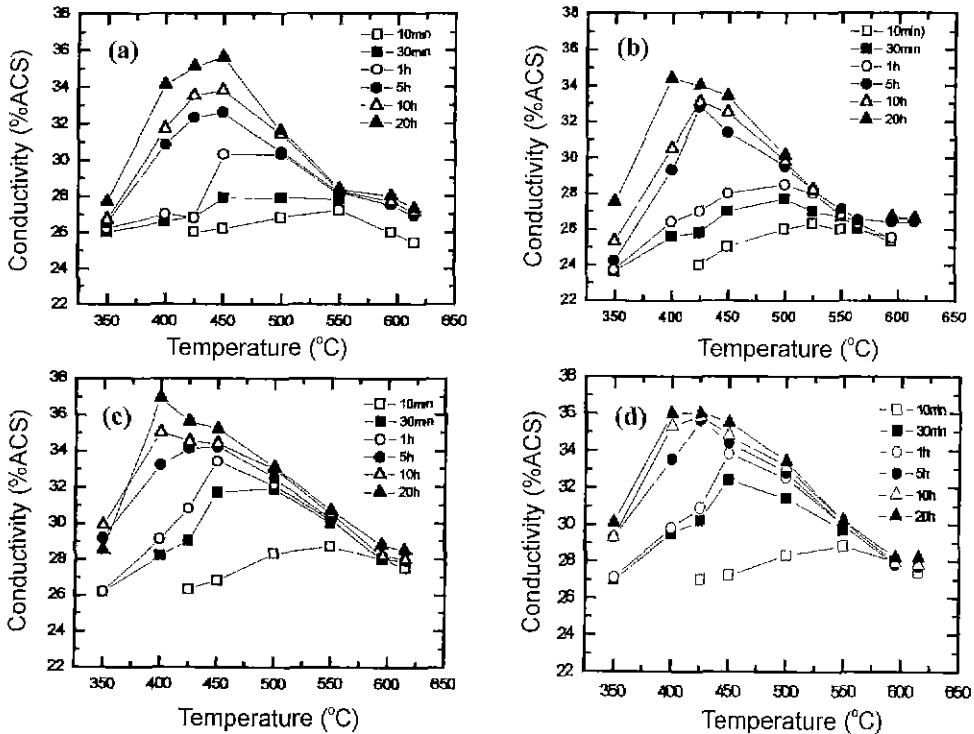


Fig. 1. Isochronal electrical conductivity curves.

(a) alloy A, (b) alloy B, (c) alloy C, (d) alloy D

전기전도도는 감소하였다. 최대 전기전도도치는 450°C에서 400°C로 이동하여 Mn량이 증가함에 따라 석출은 촉진되고 있음을 알 수 있다. Si 및 Fe량이 증가한 시험편은 기준합금보다 전기전도도는 증가하였으며 최대 피크치도 450°C에서 400°C로 이동하였다. 따라서 Si와 Fe량이 증가할수록 기지내 Mn의 고용도를 낮추는 대신에 석출이 촉진됨을 알 수 있다. Si량이 높은 합금이 가장 높은 전기전도도를 보인다. 따라서 Si이 많이 함유된 합금이 가장 석출이 잘 이루어짐을 알 수 있다.

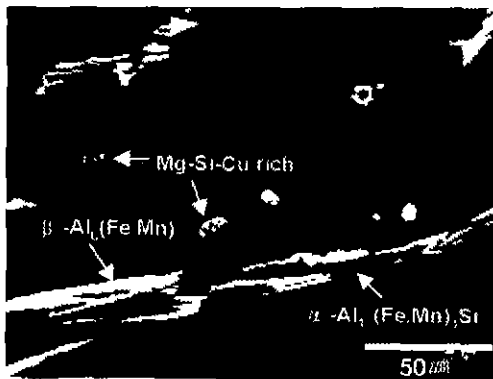


Fig. 2. SEM morphology of D alloy (as-cast condition)

### 3.2. 미세조직

주사전자현미경을 이용하여 주조상태의 미세조직 및 상분석한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 주조조직은  $\beta$ - $Al_{16}(Fe, Mn)$ ,  $\alpha$ - $Al_{12}(Fe, Mn)_3Si$ ,  $Mg-Si-Cu$  rich 상으로 구성되어 있다. 주조 및 균질화처리조건(전기전도도 최대피크점 400°C, 최소피크점 595°C)에서 석출 및 상변화 거동을 광학현미경과 투과전자현미경으로 관찰한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 주조상태에서는 Fig. 2에 보인 상 이외에  $Mg_2Si$  상이 관찰된다. 결정립계에는 주로  $\beta$ - $Al_{16}(Fe, Mn)$ 상이 존재하며  $\beta$ 상 가장자리에  $\alpha$ - $Al_{12}(Fe, Mn)_3Si$  상이 존재함을 알 수 있다. 결정립내에는 미세 석출물이 관찰되는데, 투과전자현미경으로 관찰한 결과를 보면 Al 기지의 (100)면과 평행하게 배열된 길쭉한 침상형  $Mg_2Si$  상이 관찰된다. 이러한 기지내  $Mg_2Si$  상의 밀도는 합금성분중 Si량이 증가할수록 증가하였다. 또한 결정립계  $\beta$ 상 주위는 무석출대(PFZ)가 존재함을 알 수 있다. 균질화처리온도 400°C에서 5시간 처리한 조건에서는 주조조직에 관찰된 3상이 그대로 존재하고 있다. 하지만 결정립내 석출물들의 밀도는 증가한 반면 결정립계내에 약간 조대한 석출물이 관찰되며 무석출대도 관찰된다. 투과전자현미경으로 관찰된 결과를 보면, Al 기지의 (100)면과 평행한  $Mg_2Si$ 의 존재 흔적이 관찰되나 길쭉한 침상형은 관찰되지 않고는. 처리온도

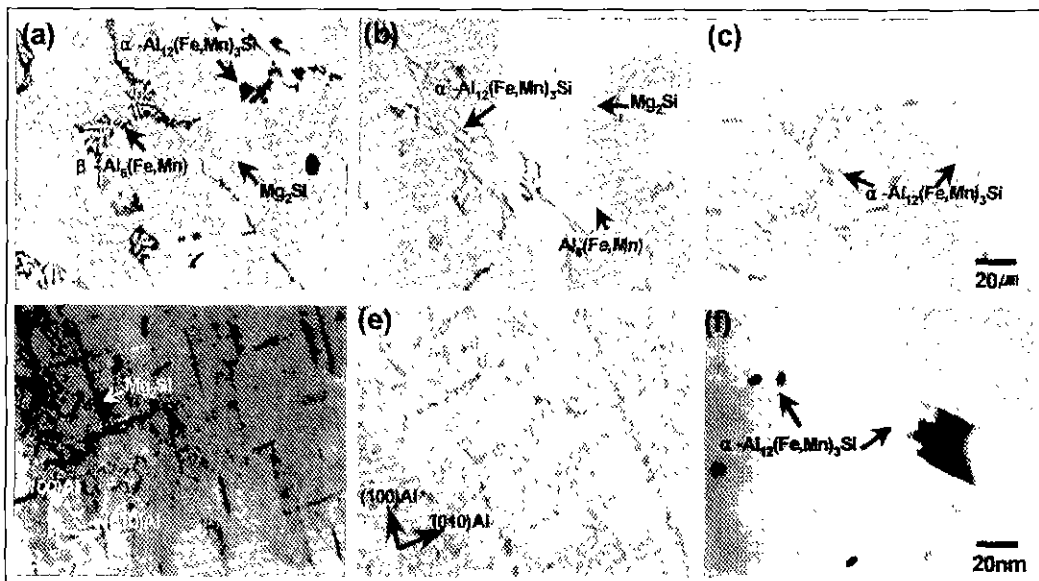


Fig. 3. Optical micrographs and TEM photographs of C alloy in as-cast and after homogenization. (a)OM (as-cast), (b) OM(400°C×5 hrs), (c) OM(595°C×20 hrs), (d) TEM(as-cast), (e) TEM(400°C×5 hrs), (f) TEM (595°C×20 hrs)

가 595°C 인 고온에서는 모두  $\alpha$ -Al<sub>12</sub>(Fe, Mn)<sub>3</sub>Si 상만이 관찰된다. 주조상태에서 존재했던 Mg<sub>2</sub>Si는 400°C 처리온도에서 분해되어 595°C 에서  $\alpha$ -Al<sub>12</sub>(Fe, Mn)<sub>3</sub>Si 상이 형성됨을 알 수 있으며, 주조상태에서 존재한  $\beta$ -Al<sub>6</sub>(Fe, Mn)상은 595°C 에서 모두  $\alpha$ -Al<sub>12</sub>(Fe, Mn)<sub>3</sub>Si 상으로 변화하였음을 알 수 있다. 여기서  $\beta$ -Al<sub>6</sub>(Fe, Mn)상은 Al<sub>6</sub>Fe 상과 Al<sub>6</sub>Mn 상이 결합된 혼합상이다. Al<sub>6</sub>Fe 상과 Al<sub>6</sub>Mn 상은 결정구조가 모두 사방정으로서 격자상수도 매우 비슷한 값을 갖는다. 따라서  $\beta$ -Al<sub>6</sub>(Fe, Mn)상내의 Fe 원자는  $\beta$ -Al<sub>6</sub>(Fe, Mn)상에서 쉽게 분해되거나 Mn 원자와 치환이 가능하다. Si는 Mg, Mn, Fe 등과 결합하여 금속간화합물을 만든다. Mg<sub>2</sub>Si 가 분해되어 기지내로 고용되고 남은 Si는  $\beta$ -Al<sub>6</sub>(Fe, Mn)상과 반응하여  $\alpha$ -Al<sub>12</sub>(Fe, Mn)<sub>3</sub>Si 상으로 상변태한다. 기지에  $\beta$ -Al<sub>6</sub>(Fe, Mn) 상의 분포 밀도나 크기에따라서  $\alpha$ -Al<sub>12</sub>(Fe, Mn)<sub>3</sub>Si 상의 분포 및 크기가 달라진다. 3000계 알루미늄합금에서 “ $\alpha$ -상변화”라 일컬어지는 상변태적 기구는 위에서 말한  $\beta$ -Al<sub>6</sub>(Fe, Mn)상이 새로운  $\alpha$ -Al<sub>12</sub>(Fe, Mn)<sub>3</sub>Si 상으로 상변태 하는것을 말한다. 위의 결과로부터  $\alpha$ -Al<sub>12</sub>(Fe, Mn)<sub>3</sub>Si 상의 핵생성 자리는 Mg<sub>2</sub>Si 가 분해된후 고용되지 못하고 남은 Si원자와  $\beta$ -Al<sub>6</sub>(Fe, Mn)상임을 알 수 있다.

### 3.3. 최적 균질화 조건 설정

Fig. 4 는 기준합금인 A합금에 대하여 균질화처리온도 595°C와 615°C, 처리시간 5 hr, 10 hr, 20 hr 조건으로 균질화처리한 광학현미경 관찰 결과를 나타내었다. 열처리 시간보다는 열처리 온도가 금속간화합물들의 체적 분율에 많은 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 595°C 보단 615°C 에서 미세조직의 변화가 현저하게 나타났으며 처리시간이 길어질수록 주조상태에서 결정립계에 존재했던 금속간화합물들은 점차 구형으로 변하고 있으며 결정립내의 미세 석출물들은 더욱 조대해지고 있다. 595°C 에서 5 시간 처리후 관찰된 상들은 거의  $\alpha$ -Al<sub>12</sub>(Fe, Mn)<sub>3</sub>Si 상으로 변태함을 알 수 있다. 캔용 소재에서 균질화 조건을 설정할때 고려해야될 가장 중요한 것은 금속간화합물들을 구형형태로 만들고 동시에  $\alpha$ -Al<sub>12</sub>(Fe, Mn)<sub>3</sub>Si 상으로 변태시키는 것이다. 이는 캔 제조동안 발생하는 깁링현상(캔 cupping & ironing공정에서 다이와 캔 표면의 마찰로 생성되는 표면 흠집) 방지, 표면 cleaning, 파단 방지등에 효과적이기 때문이다. 따라서  $\alpha$ -Al<sub>12</sub>(Fe, Mn)<sub>3</sub>Si 상으로 변태가 완전하게 이루어지고 구형 형태로 상변태된 615°C 에서 5시간~10 시간 처리한 조건이 최적의 균질화처리 조건이라고 말할 수 있다. B, C, D 합금에서도 금속간화합물의 체적분율에 차이가 있으나 균질화처리조건은 A합금과 동일한

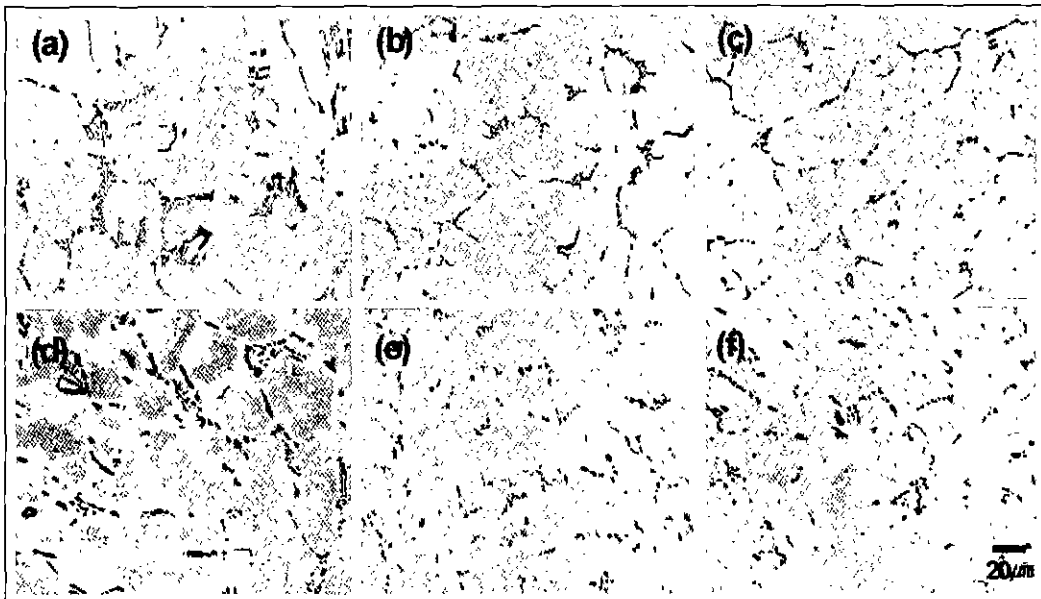


Fig. 4. Optical micrographs of alloy A homogenized at 595°C and 615°C for different times.

(a) 595°C×5 hrs, (b) 595°C×10 hrs, (c) 595°C×20 hrs, (d) 615°C×5 hrs, (e) 615°C×10 hrs, (f) 615°C×20 hrs

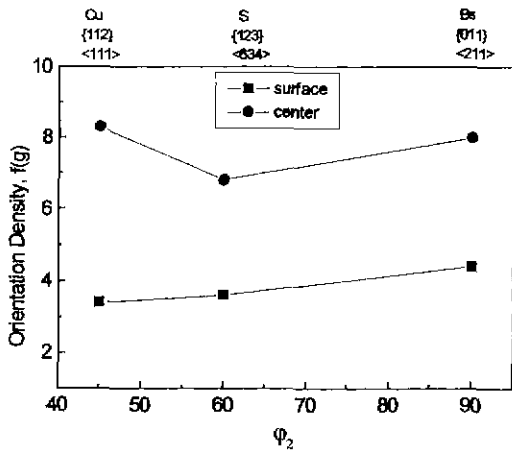


Fig. 5. Texture after hot rolling (A alloy).

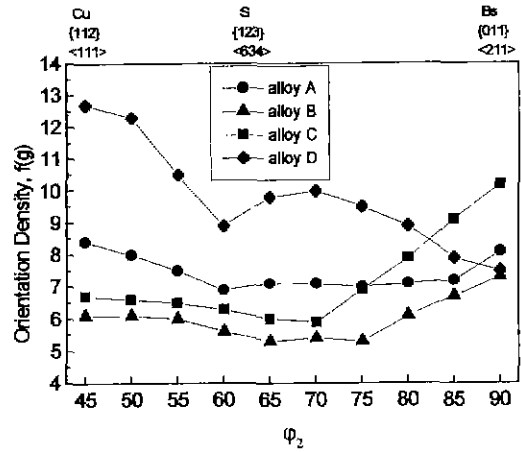


Fig. 6. Effects of alloying elements on  $f(g)$  of hot rolled sheets.

결과를 얻었다.

### 3.4. 열간압연후의 집합조직

캔소재는 고강도와 낮은 귀울(earing rate)이 요구되는데, 열간압연후의 집합조직은 캔성형시 귀생성 정도에 큰 영향을 미친다.<sup>10)</sup> 열간압연후의 A합금판재에 대한 표면 및 중앙부위의 집합조직 측정결과를 Fig. 5에 나타내었다. 집합조직 측정결과를 보면 표면에는 냉간압연집합조직에서 주로 관찰되는  $\beta$ -섬유 집합조직을 보여주고 있으며 방위밀도값은 다소 낮고 Cu-S-Bs방위의 방위밀도값 차이가 적은 것으로 보아 균일하게 변형됨을 관찰 할수 있다. 판재의 중앙부위는 표면부보다  $\beta$ -섬유 집합조직의 방위밀도값은 높게 나타났으며 Cu-방위 및 Bs-방위에서 방위밀도값은 8.3과 8.1였다. 각 합금별 열간압연후의 집합조직발달정도를 Fig. 6에 나타내었다. 이 그림에 보인 집합조직은 열간압연동안 주로 냉간압연집합조직과 유사한  $\beta$ -fiber집합조직이 발달하였다. Mn이 많이 첨가된 B합금의 경우 기준합금인 A합금에 비해 집합조직의 발달정도가 감소함을 알수가 있

다. 즉, Mn의 과포화고용농도가 증가할수록 집합조직의 발달은 억제됨을 알수있다. Si함량이 높은 C합금의 경우 기준합금에 비해 Bs-방위에서  $f(g)=10.3$ 로서 최대값을 나타낸다. Si와 Fe의 함량이 많은 D합금은 전반적으로 높은  $f(g)$ 값을 나타내나 Bs방위에서 기준합금보다 약간 낮은 값을 나타내었다. 위의 결과를 종합하면 Mn원소는 고용효과에 의해 집합조직의 발달이 억제되었고, Si 및 Fe원소는 열간압연후의 집합조직 발달을 촉진시켰다.

## 4. 결 론

알루미늄 폐켄과 신지금을 같은 비율로 용해 주조하여 미세조직 및 열간압연후의 집합조직에 미치는 합금원소의 영향을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Mn량이 증가할수록 Mn의 고용효과에 의해 전기전도도는 감소하였고, Si와 Fe량이 증가할수록 석출상이 많이 생성되어 전기전도도는 증가하였다.
2. 열처리에 의한 상변화는 초기  $\beta$ -Al<sub>3</sub>(Fe, Mn)상에

Table 1. Chemical compositions of investigated alloys

Alloys	Com.	composition(wt %)					remarks	
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg		Al
A		0.27	0.47	0.20	0.90	1.09	bal.	base
B		0.28	0.48	0.20	1.20	1.10	"	Mn high
C		0.43	0.49	0.26	0.92	1.09	"	Si high
D		0.44	0.66	0.20	0.93	1.06	"	Si & Fe high

서  $\alpha$ -Al<sub>12</sub>(Fe, Mn)<sub>3</sub>Si상으로 상변태 하였으며, Mg<sub>2</sub>Si에서도  $\alpha$ 상이 핵생성되어 성장하였고, Si과 Fe원소는  $\alpha$ 로의 상변화를 촉진하였다.

- 3. 최적 균질화 처리조건은 주조상태에서 형성된 공석상들의 구형화와  $\alpha$ 상으로의 변태가 완료된 처리온도 615°C, 처리시간 5시간이었다.
- 4. 열간압연후의 두께별 집합조직은 소재의 중앙부위가 표면보다 더 발달하였으며, 전체적으로 균일하게 변형되었다. Mn량이 증가할수록 고용효과에 의해 집합조직은 덜 발달되었고, Si과 Fe의 증가는 변형집합조직의 발달을 촉진시켰다.

**참고문헌**

- 1. K. Shibata and Y. Waseda : "New model for assessment of metal production and recycling systems". JOM, 61(6), 494-501 (1977).
- 2. T. Takahashi, K. Fujisawa, K. Ooumi, and K. Nagata: "Recycling of aluminum used beverage can", KOBE RESEARCH AND DEVELOPMENT, 47(3), 35-38 (1997)
- 3. S. Apotheke r : "A knockout year for aluminum can recycling", RESOURCE RECYCLING, 14(6), 27-34 (1995).
- 4. D. Koplow : "Federal energy subsidies and recycling. A case study", RESOURCE RECYCLING, 13(11), 28-32 (1994).
- 5. (사)한국금속캔재활용협회, 금속캔 연도별 재활용 자료. (1998).

- 6. W. B. Steverson : "Can sheet performance as a function of UBC quality", Proc. of Aluminum Alloys for packaging III, Minerals, Metals and Materials Society/AIME, 157-179, San Antonio, Texas, USA, 16-19 Feb. (1998).
- 7. Kazuya Yano · "Aluminum can recycling", 日本輕金屬學會 第51回 シンポジウム, 'リサイクル環境保全, 經濟性への材料技術からの取組み', 22-30 (1997).
- 8. Y. Tashiro and K. Ohnishi · "Aluminum can recycling and its environmental effect in Japan". Proc. of the Second International Conference on EcoBalance, 300-304, Tsukuba, Japan, 18-20 Nov. (1996).
- 9. J. C. Kenney, J. S. Chen, F. Higgins, S. Smigiel, and J. Vinch · "Design and construction of a small-scale used beverage can recycling unit", Proc. of Light Metals 1997, Minerals, Metals and Materials Society/AIME, 1101-1104, Orlando, Florida, USA, 9-13 Feb. (1997).
- 10. F. J. Humpherys and M. Hatherly : "Recrystallization and related annealing phenomena", Pergamon, 393-398 (1995).

**高興錫**



- 1994 울산대학교 금속공학과 학사
- 1996 울산대학교 금속공학과 석사
- 2000 한국기계연구원, 위촉연구원
- 현재 현대강관(주) 기술연구소 주임 연구원

**林且容**



- 1986 연세대학교 금속공학과 학사
- 1988 한국과학기술원 재료공학과 석사
- 1991 한국과학기술원 재료공학과 박사
- 현재 한국기계연구원 재료기술연구부 선임연구원

**姜石峯**



- 1972 서울대학교 금속공학과 학사
- 1981 한국과학기술원 재료공학과 석사
- 1986 한국과학기술원 재료공학과 박사
- 현재 한국기계연구원 재료기술연구부 책임연구원