

## 알루미늄 압출공정변수에 따른 재결정층 두께 변화

오개희<sup>1</sup>, 민유식<sup>1</sup>, 박상우<sup>1</sup>, 장계원<sup>2</sup>

### The Thickness of Recrystallization Layer during Aluminum Extrusion Process

K. H. Oh, Y. S. Min, S. W. Park, G. W. Jang

#### Abstract

The effect of exit temperature on the thickness of recrystallization layer during Al extrusion process was investigated. The recrystallization layer of an extruded Al alloy is an important feature of the product in a wide range of applications, particularly those within the automotive industry. The thicker recrystallized layer in the Al alloys can give rise to a number of problems including reduced fatigue resistance and orange peel during cold forming. But the interaction of extrusion process variables with the thickness of recrystallization layer is poorly understood, and there is limited information available regarding the role of the main hot extrusion variables. Using the 3650 US ton extrusion press, this paper describes the effect of the main process variables such as billet temperature, ram speed, and exit temperature on the thickness of recrystallization layer for the A6XXX Al alloy.

**Key Words:** Extrusion (압출), A6XXX Al Alloy (6XXX 알루미늄 합금), Recrystallization Layer (재결정층)

#### 1. 서론

최근 들어 자동차의 급격한 증가로 인한 배기가스 배출이 지구온난화 및 환경파괴의 주범으로 인식되면서, 자동차 배기가스 저감을 위한 차량경량화에 대한 요구가 날로 증가되는 추세에 있다. 이에 따라 세계 여러 자동차 업체를 중심으로 자동차 부품에 상대적으로 가벼우면서도 기계적 성질이 우수한 알루미늄 합금을 적용하려는 노력이 활발히 진행되고 있다.

가공 기술 중 하나인 압출을 이용한 알루미늄 자동차 부품의 개발은 기존 단조 또는 주조공법보다 그 공정비용이 저렴한 이유로 널리 확산이 이용되고 있다. 특히 최근에는 압출공정을 통하여

직선형태의 형재를 얻고, 이후 프레스, 벤딩 등의 후속공정을 통하여 원하는 부품의 형상을 얻는 이른바 압출성형 공정을 이용한 알루미늄 자동차 부품의 개발이 활발히 진행되고 있다. 그러나 알루미늄 압출재를 자동차 부품에 적용함에 있어 압출공정 후 표면에 발생하는 재결정층은 강도, 성형성, 가공성 등에 영향을 미칠 수 있으며, 특히 표면 재결정층에 존재하는 인장응력으로 인해 피로특성을 저하시켜 부품의 내구성을 감소시키는 원인이 된다[1]. 이러한 표면 재결정층의 생성을 억제하기 위해서는 건전한 합금소재의 개발과 더불어 주어진 합금에 대한 압출공정변수의 최적화가 필수적이라 할 수 있으나 현재까지 이러한 표면재결정층과 압출공정변수와의 상호관계에 대

1. 동양강철 기술연구소  
2. 현대모비스 기술연구소

한 이해가 상당히 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 6XXX Al 합금을 이용하여 빌렛 온도, 램 속도 및 출구 온도가 표면재결정층 생성 및 두께 변화에 미치는 영향을 조사하여 본 합금에 대한 압출공정변수를 최적화하고자 하였다.

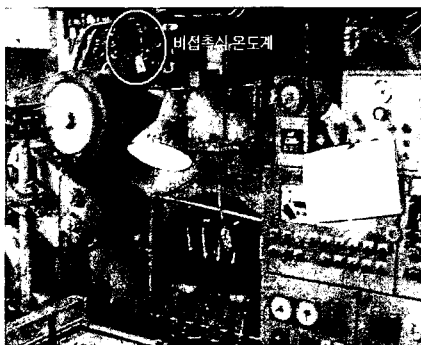
## 2. 실험 방법

본 연구에 사용된 압출용 알루미늄 합금 빌렛은 DC 주조된 A6XXX Al 합금으로 Table 1에 이의 화학조성을 나타내었다.

**Table 1 The chemical composition of A6XXX Al alloy in wt%**

Alloy	Si	Fe	Cu	Mg	Zn
Content	0.88	0.20	0.01	0.62	0.004
Alloy	Mn	Cr	Ni	Ti	Al
Content	0.55	0.15	0.002	0.01	97.58

빌렛은 530℃에서 10hr 동안 균질화 처리하였다. 압출 시험은 양산규모의 UBE 3650 US ton press를 사용하였으며, 특히 출구 상단에 비접촉식 온도계를 장착하여 정확한 출구 온도의 측정이 이루어지도록 하였다. Fig. 1에 본 연구에 사용된 압출기의 형상을 나타내었다.



**Fig. 1 3650 US ton Press with pyrometer**

빌렛은 Induction Heater를 사용하여 180초 이내에 압출 온도까지 예열하였으며 램 속도는 1~6mm/s 범위에서 압출하였다. 냉각은 압출 후 mist quenching 하였으며, Back end defect를 방지하기 위

해 Butt의 양을 10%로 하였다.

본 연구에 사용된 압출재는 사각 단면을 갖는 중공형 profile로, 재결정층 두께 조사를 위해 각 압출재의 중간 부분을 취하여, Modified Keller reagent로 각각의 단면을 에칭하여 광학현미경으로 관찰하였다.

## 3. 실험 결과

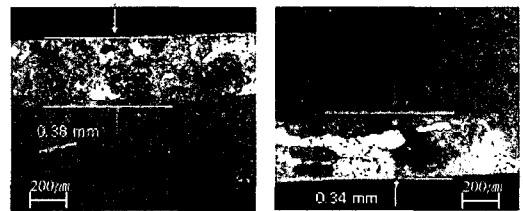
각 압출조건에 따른 출구 온도 측정 결과를 Table 2에 나타내었다.

**Table 2 Exit temperature vs. Press condition**

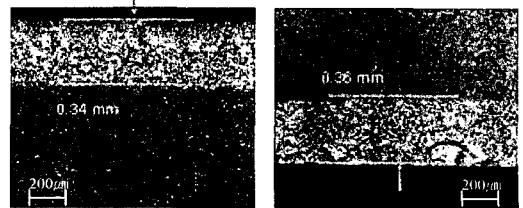
No.	Billet Temp. (°C)	Ram Speed (mm/sec)	Exit Temp. (°C)
A	480	1.0	460~470
B	478	2.0	470~480
C	481	3.0	480~490
D	485	5.0	520~530
E	478	5.0	510~520
F	470	6.0	510~520

여기서 보면, N.C. Parson et al.[2] 등이 관찰한 바와 같이 주어진 빌렛 온도에 대해 출구 온도는 램 속도에 비례하여 증가함을 알 수 있다.

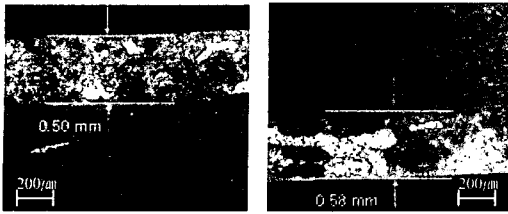
또한 이들 각 공정조건에 대해 표면재결정층 생성 및 두께를 현미경 관찰한 결과를 Fig. 2에 나타내었다.



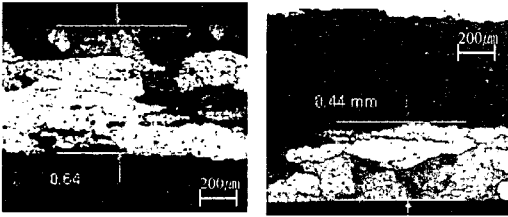
(a) 460~470°C



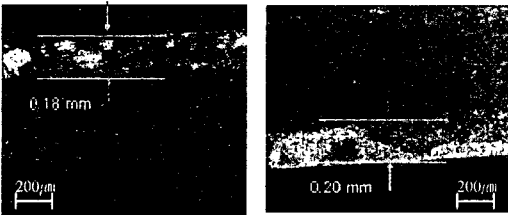
(b) 470~480°C



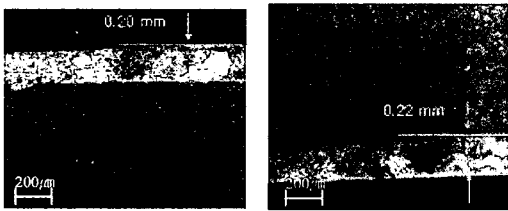
(c) 480~490°C



(d) 520~530°C



(e) 510~520°C



(f) 510~520°C

Fig. 2 Microstructures of extruded profile in A6XXX Al alloy as a function of exit temperature (°C)  
 (a) 460~470°C (b) 470~480°C (c) 480~490°C  
 (d) 520~530°C (e) 510~520°C (f) 510~520°C

여기서 보면, 각 빌렛 예열온도 및 램 속도에 따라 각기 다른 표면재결정층 두께가 얻어짐을 알 수 있으며, 이는 출구온도와 상관 관계가 있음을 알 수 있다.

Fig. 3 에는 각 공정 조건별로 측정된 출구온도에 따른 재결정층 두께 변화를 나타내었다.

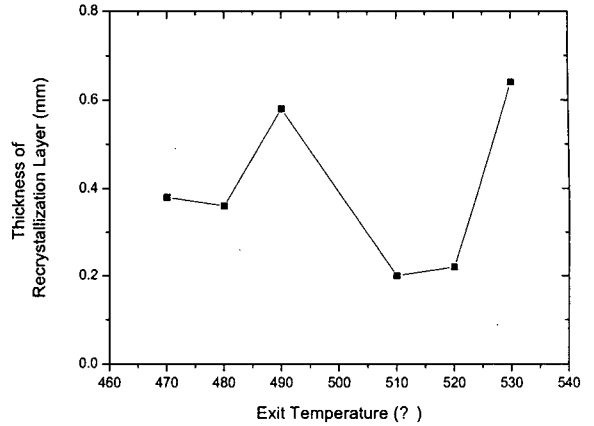


Fig. 3 The thickness variation of recrystallization layer in A6XXX Al alloy as a function of exit temperature.

압출공정변수 중 출구온도는 빌렛, 콘테이너 및 금형의 예열온도와 램 속도 등이 조합되어 얻어지는 제품의 표면온도로, 이는 주로 제품 표면 불량 발생을 방지하기 위해 관리된다. 반면 자동차 부품 및 수송기계 등의 적용을 위해서는 반복되는 하중에서의 피로강도 저하를 방지하기 위하여 반드시 재결정층의 두께를 정해진 수치 이하로 관리 해야 할 필요성이 있다. 그러나 출구온도의 관점에서 현재까지 표면재결정층 생성 방지를 위해 산업계에서 제시하고 있는 가이드 라인은 단지 출구온도를 낮게 유지하라는 정도에 불과하다.

본 연구에서 출구온도에 따른 재결정층 두께를 측정한 결과, Fig. 3 에서 볼 수 있듯이 빌렛 온도가 470~480°C 사이에서 유지되는 경우, 출구온도는 빌렛 예열온도 및 램 속도에 의존되나, 이에 따른 표면 재결정층의 두께는 510~520°C의 출구온도에서 최소화 되었다. 즉, 출구온도가 470~510°C 범위인 경우, 램 속도의 증가에 따라 재결정층 두께가 점차 증가하나, 출구온도가 510~520°C인 경우, 재결정층의 두께는 0.18~0.22mm로 감소하였다. 이후 출구온도가 더 증가하면 다시 재결정층의 두께가 급격히 증가하는 경향을 나타내었다.

#### 4. 고찰

측정된 재결정층 두께는 압출공정에서 재결정의 driving force 인 A6XXX 계 알루미늄 내에 축적

된 소성변형량의 정도로 설명될 수 있을 것으로 판단된다. 즉, 주어진 빌렛 예열온도에서 출구온도가 470~510℃로 낮을 경우, 열간 성형에 의해 축적된 소성변형량을 압출공정 중에 모두 회복하지 못하고 재결정층의 두께를 증가시키는 것으로 판단된다. 그러나 510~520℃의 출구온도범위에서 측정된 재결정층 두께의 경우, 압출 가공에서 축적된 소성변형량을 공정 중에 회복하면서 표면 내부로 재결정층이 확산되는 것을 방지하는 것으로 판단된다. 530℃ 이상의 높은 출구온도에서는 압출재 표면부에 생성된 재결정립이 내부로 성장하면서 표면 재결정층의 두께를 증가시킨 것으로 판단된다.

또한 490~510℃의 출구온도 범위에서는 상대적으로 미세한 결정립이 재결정층의 두께를 증가시킨 반면, 510~520℃의 출구온도 범위에서는 열간 소성변형에 의해 생성된 핵이 조대한 결정립으로 성장하면서 상대적으로 재결정층의 두께를 감소시킨 것으로 판단된다. 이에 대해서는 A6XXX Al 압출공정에서 도입된 소성변형량에 따른 핵생성 및 성장의 관점에서 좀더 세밀한 분석이 필요할 것으로 판단된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 양산규모의 3650 US ton press 를 이용하여 A6XXX Al 합금에 대한 압출공정변수에 따른 재결정층 두께의 변화를 평가를 하였다.

(1) 주어진 합금에 대해 재결정층 두께는 램 속도, 빌렛 온도 및 출구온도와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다.

(2) 주어진 합금에 대해 빌렛 초기온도가 470~480℃, 램 속도가 5~6mm/s 인 경우 최대 압출성을 얻을 수 있었다.

(3) 주어진 압출 조건에서 출구온도가 510~520℃인 경우 표면재결정층 두께가 0.2mm 이하로 최소화 되었다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부 부품소재기술개발사업의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- [1] Grainger, H.B. and P B.A. Willis, "Coarse Grain", Aircraft Production, May 1959, 170
- [2] Parson, N.C., C.W. Jowett, J.D. Hankin, K.P. Hicklin, "Comparision of the Extrusion Performance and Product Characteristics of Three Structural Extrusion Alloy: AA6061, AA6082, AA6005A", "Proceedings of the Seventh International Aluminum Extrusion Technology Seminar, 2000, Vol. 2, pp. 1-12