

반응고 Al-Zn-Mg 합금의 고온 압출 시 특성 평가

조국래¹, 김정한¹, 염종택¹, 심성용², 임수근², 박노광¹

Characteristics on the Hot Extrusion of Semi-Solid Al-Zn-Mg Alloy

Kuk Rae Cho¹, Jeoung Han Kim¹, Jong Taek Yeom¹, Sung Yong Shim², Su Gun Lim²,
Nho Kwang Park¹

Abstract

Semi-solid Al-Zn-Mg alloys were produced using a cooling plate method in order to investigate the extrudability. Al melt was poured on cooling plate which was adjusted at 60° with respect to the horizontal plane, and the melt was cooled by water circulation underneath. Obtained Semi-solid feedstock has globular microstructure but also contains considerable amount of gas pore. Due to the pore, tensile elongation of the semi-solid feedstock was very low and it doesn't show yield point phenomenon. Isothermal hot extrusion was carried out using at 400°C with a ram speed of 1mm/sec and an extrusion ratio of 25:1. The extruded bar show noticeably improved tensile ductility and strength because pore volume fraction decreased from 5% to 0.8% after extrusion. Mechanical properties of the semi-solid extruded bar were compared with that of commercial casting alloy..

Key Words : Semi-Solid Alloy, Hot Extrusion, Al-Zn-Mg, Mechanical Properties

1. 서 론

최근 산업기계 부품 산업의 최대 기술개발 과제는 금속재료의 경량화와 성능 향상을 통한 효율성 및 내구성 증대이다. 이를 위해 선진 각국에서는 종래의 철강 재료를 사용하던 분야에 고비강도 알루미늄 합금을 개발하여 대체하고자 하는 노력이 활발하게 이루어 지고 있다[1]. 그 중에서 반응고 금속 성형(Semi-Solid Metal Forming)기술은 액상과 고상이 공존하는 온도 영역에서 금속 또는 금속계 복합재료를 성형하는 방법으로써 기존의 고체상태에서 성형하는 단조기술의 단점을 보완하고 장점을 극대화 할 수 있는 새로운 성형기술로 실용화를 위한 많은 연구 및 개발이 이루어 지고 있다[2,3].

현재 반응고 가공법은 Rheocasting 과 반응고 성형법(Thixofoming)의 두 가지로 분류할 수

있다. Rheocasting 은 반응고 상태에서 제조된 슬러리를 직접성형 가공하여 최종 제품으로 제조하며, Thixofoming 은 반응고 상태에서 주조된 빌렛을 제조한 후, 이 빌렛을 적당한 길이로 절단된 슬러그를 반응고 상태로 재 가열하여 단조 혹은 다이 캐스팅을 실시하여 최종 제품으로 제조하게 된다. 반응고 가공법의 핵심은 반응고 모재는 용기없이 독자적으로 절단이 가능하다는 것이다[4]. Thixofoming 은 높은 원가로 인해 상업화가 이루어 지지 못한 반면 Rheocasting 은 상업화가 진행되어 우주항공, 자동차, 국방 및 기계요소 부품으로 넓혀가고 있다. 본 실험에 사용된 반응고 빌렛은 Thixofoming 반응고 빌렛으로 경사냉각판을 사용하여 기존의 빌렛과는 차별화하여 제조 하였다. 경사냉각판을 사용한 것은 빌렛 제작시 비용 절감의 효과를 바라볼 수 있어 연구가 진행되고

1. 한국기계연구원, 재료기술연구소/소재성형센터
2. 경상대학교 재료공학부, 항공기 부품기술연구센터

있다. 또한 경사냉각판을 이용한 빌렛은 기존의 반응고 금속 제조방법보다 간단한 방법으로 미세한 입상의 초정을 생성 시켜 제조한 것이나 대기 중에 많은 노출로 인해 기공이 발생한 단점이 있다.

압출공정은 복잡한 단면형상을 가지는 봉이나, 튜브의 제조에 일반적으로 응용되나 형상에 따른 불균일 변형이 유발될 수 있다는 단점이 있다. 또한 기계적, 야금학적 특징을 가짐으로 표면 균열과 재결정이 일어날 가능성을 포함할 수 있다[5]. 본 연구에서는 기존 주조소재와 반응고 소재에서의 고온 압출 시 발생될 수 있는 미세 조직 발달에 대해 비교 분석하며, 압출 빌렛을 비교하여 기계적 특성을 평가하기 위한 실험을 수행하였다.

2. 실험 방법

본 연구를 위해 Al-Zn-Mg 합금 주조 빌렛과 반응고 빌렛을 준비하였다. 압출을 위한 주조 빌렛은 모합금으로부터 용해되어 Air-Slip Continuous Casting 법으로 제조되었으며, 반응고 빌렛은 경사냉각판에 용탕을 흘려 균질 미세한 입상의 초정을 유리시키는 방법으로 용탕 온도 680℃, 냉각판 각도 40° 조건하에서 반응고 빌렛을 제조하여 사용하였다. 주조 빌렛 AA7075 와 반응고 빌렛 7X1X Al 합금의 화학 조성은 표 1 과 같다. 그림 1 은 AA7075 합금과 7x1x 합금의 미세조직을 보여주고 있다.

Table 1 Chemical composition of experimental alloys.

Alloy	Zn	Mg	Cu	Mn	Cr	Ti	Zr	Sc
AA7075	6.3	2.4	0.44	0.33	0.001	0.03	0.10	-
7x1x	6.27	2.374	0.437	0.33	0.001	0.031	0.104	-

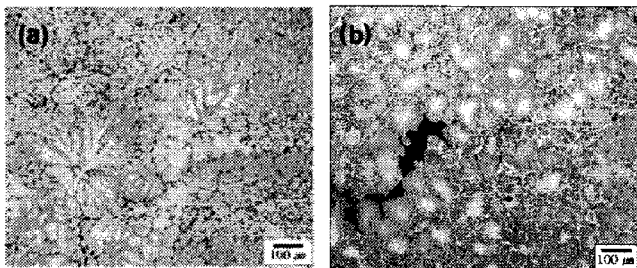


Fig. 1 As-received microstructure of Al-Zn-Mg (a) AA7075 Alloy, (b) Semi-solid 7x1x Alloy.

그림 2 는 압출용 반응고 빌렛이다. 그림 3 은 경사냉각판을 이용한 반응고 제조장치와 반응고 제조원리를 도식화 한 것이다.

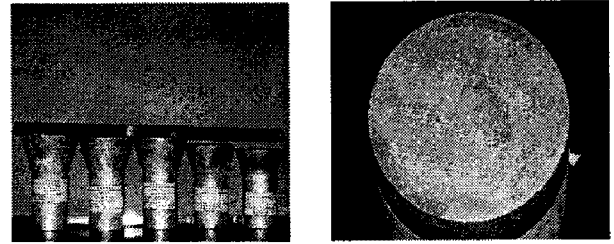


Fig. 2 Semi-solid billet for hot extrusion.

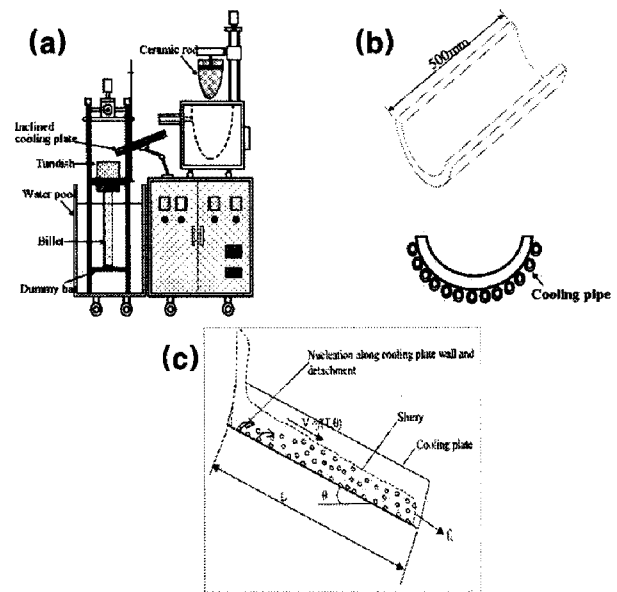


Fig. 3 (a) Vertical continuous casting method, (b) Inclined cooling plate lobe lane, and (c) Scheme on preventing dendrite structure.

일반 주조 빌렛은 기공의 사이즈가 미미한데 비해 반응고 빌렛에서는 육안으로도 식별이 가능할 정도로 큰 사이즈의 기공을 찾아 볼 수가 있었다. 반응고 빌렛 내부의 기공 분율은 압출 전 내부 2.31%와 표면쪽 5.36%이다.

그림 4 는 고온압출 금형의 형상으로, 압출공정은 800 톤 유압 프레스를 이용하여 수행되었다. 빌렛의 사이즈는 직경 50mm, 높이 50mm 이다. 빌렛과 컨테이너를 3 시간 동안 탠드히터와 카트리지히터로 가열시켰으며, 빌렛과 컨테이너 모두 열전대를 삽입해 빌렛의 온도를 400℃를 유지 후 압출을 실행하였다. 압출 빌렛으로 기계적 특성을 시험하기 위해 480℃에서 2 시간 균질화한 후 120℃에서 24 시간

동안 시효 처리한 빌렛으로 인장시편을 제작 시험하였다.

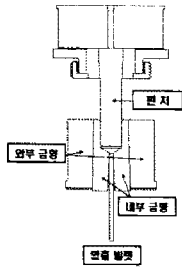


Fig. 3 Hot extrusion die-set design.

3. 결과 및 고찰

3.1 미세조직 변화

주조재와 반응고재 합금의 결정립 크기를 측정하기 위하여 잉곳의 윗부분을 중심부분과 표면부분의 수평면으로 구분해서 측정하였다. 위 두 개의 원소재 합금의 결정립 크기를 표 2 에서 나타내고 있다. AA7075 합금은 7x1x 합금과는 달리 수지상의 미세조직을 보였다.

Table 2 Grain size distribution of AA7075 and 7x1x.

Alloy	Horizontal region of center (μm)	Horizontal region of edge (μm)
AA7075	106	114
7x1x	61	63

그림 4 에서 반응고 원소재의 기공 사이즈를 히스토그램으로 나타내었다. 기공의 사이즈는 중심부 최대 $630\mu\text{m}$ 에서 최소 $10\mu\text{m}$, 표면은 최대 $400\mu\text{m}$ 에서 최소 $9\mu\text{m}$ 에 이르기까지 아주 다양하게 분포되어있었다. 이러한 기공으로 인해 기계적 특성이 현저히 저하되었다. 반응고 소재를 인장 시험한 결과 항복강도에 도달하기도 전에 파단이 발생하였다. 이러한 결과는 반응고 소재에 내재한 기공에 의한 것으로 사료된다.

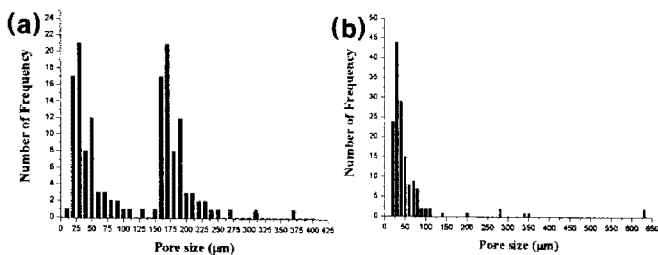


Fig. 4 Distribution of pore size about 7x1x. (a) Surface region and (b) Center region.

3.2 고온압출

AA7075 는 $3\text{mm}/\text{sec}$ 의 압출 속도와 온도는 400°C 에서 실험을 하였다. 7x1x 는 AA7075 와 온도는 동일하고 압출속도는 보다 더 낮은 속도인 $0.1\text{mm}/\text{sec}$ 에서 압출을 수행하였다. 그림 5 (a), (b)는 두 합금의 압출 후 표면 상태이다. 두 합금 모두 매끈한 표면 상태를 보이고 있다. 그림 5 (c), (d)는 압출 빌렛의 압출방향으로 자른 단면의 표면부 미세조직을 보여주는 것으로 AA7075 의 표면부가 7x1x 의 표면부보다 조대한 것으로 나타나고 있다. 이것은 기존 주조재보다 반응고재의 압출 후 조직 균질성이 좀 더 우수하다는 것을 보여주는 부분이다.

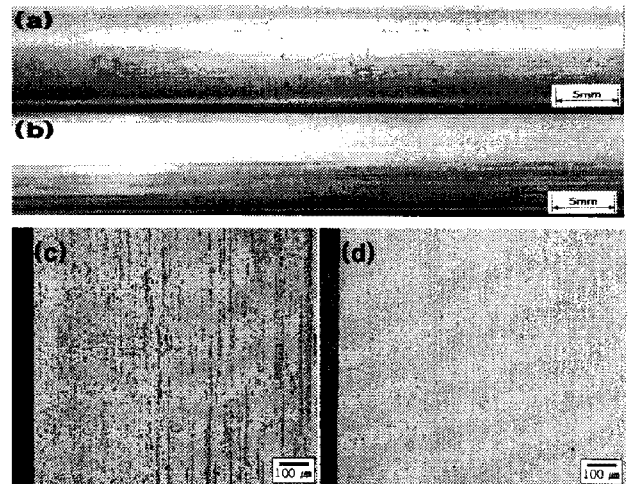


Fig. 5 Surface condition and microstructure of bar extruded in a press at 400°C with $3\text{mm}/\text{sec}$ and $0.1\text{mm}/\text{sec}$ ram speed: Macrostructure of (a) AA7075, and (b) Semi- solid 7x1x; Microstructure of (c) 7x1x Alloy and (d) Semi-solid 7x1x.

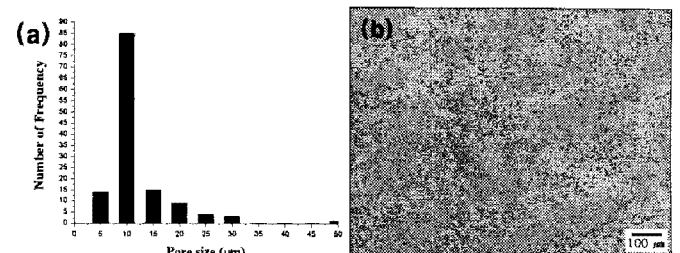


Fig. 6 Microstructural feature after hot extrusion; (a) pore size histogram and (b) optical micrograph showing grain size refinement.

위 그림 6 (a)를 통해 확인할 수 있듯이 압출 전 육안으로 구분이 가능했던 기공이 압출을 통해 미세화되었고 현미경으로 구분이 가능해졌으며, 분율 또한 5%에서 0.8%로 크게 감소하였다. 그림 6 (b)를 보면 압출 후 결정립 크기가 압출 후 확연하게 미세화 되었음을 알 수 있다.

압출 빌렛을 480°C에서 2 시간 동안 균질화 처리 후 120°C에서 24 시간 동안 시효 처리를 한 후 인장시편을 각각 2 개씩 만들어 실험을 수행한 결과 그림 6 과 같은 유동응력 곡선을 얻을 수 있었다. 그림 6 (a)는 AA7075 의 곡선을 나타내고 있고, (b)는 7x1x 의 곡선을 나타내고 있다. 두 합금 모두 유사한 결과를 보여주고 있다.

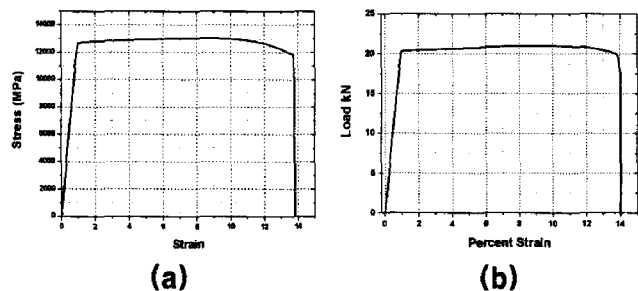


Fig. 5 Stress vs. strain curves of AA7075 and 7x1x
(a) AA7075 and (b) semi-solid 7x1x.

표 3 은 AA7075 합금과 7x1x 합금의 압출 빌렛에 대한 기계적 특성을 나타내고 있다. 여기서 7x1x 합금은 AA7075 합금보다 인장, 항복강도는 각각 2~3%정도 낮으나, 연신율은 1% 가량 증가했다는 것을 알 수 있다.

Table 3 Tensile properties at room temperature.

Alloy	UTS (MPa)	Y.S. (MPa)	Elongation (%)
AA7075	674	654	12.0
7x1x	654	639	13.2

4. 결론

Al-Zn-Mg 합금 중 AA7075 합금과 7x1x 합금 두 종류의 고온 압출 시 기계적 특성에 대해 조사해보았다. 압출 전 반응고 소재는 항복점에 도달하기 전 파단이 발생했다. 이것은 반응고 빌렛 제조과정 중 발생한 기공에 의한 것으로 판단된다. 그러나 압출 후 기공의 축소와

결정립의 미세화로 압출 빌렛의 기계적 특성이 압출 전과 비교해 상당히 우수해 졌다. 두 합금 모두 인장시험 결과를 볼 때 유사한 곡선을 나타내며 인장, 항복강도 또한 비슷한 값을 나타낸다. 반응고 소재가 연신율에서는 주조재보다 조금 더 높은 값을 보여준다. 결론적으로 반응고 소재의 특성을 살려 고액 공존의 상태가 이루어 질 수 있는 전후의 온도에서 성형을 하게 된다면 주조재를 성형할 때보다 좀 더 쉬운 성형을 할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-01-03) 지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] Sang-Yong Lee, Jung-Hwan Lee, Young-Sun Lee, 1997, Thixoforging Technology of Rapidly Soidified Al-High Si Alloy, 대한금속학회회보 Vol.10, No.2, pp. 153~163.
- [2] Proc. of 3rd Int. Conf. on the Processing of Semi-Solid Alloys and Composites, (1994), Japan
- [3] Proc. of 4th Int. Conf. on the Processing of Semi-Solid Alloys and Composites, (1996), Englad
- [4] M.C. Flemings : Metallurgical Transactions B, 22B(1991), pp.269~293.
- [5] Sheppard, T., Tunnicliffe, P.J. & Patterson, S.J., 1982, Direct and indirect extrusion of a high strength aerospace alloy (AA7075). *J. Mech. Work. Tech.* 6, pp. 313~331.
- [6] 이상용, 이정환, 이영선, 전재일, 신평우, 1998, Al7075 합금의 열간단조와 반응고 단조에 있어서 조직, 성형성 및 경도 특성 비교, 한국소성가공학회지:소성가공, pp. 620~630.
- [7] 엄정필, 장동훈, 김득규, 윤병은, 임수근, 1997, 냉각판을 이용한 반응고 A356 합금의 미세조직, 한국소성가공학회:학술대회지, pp.148~159.