

반용융 Al-Zn-Mg 합금의 고온 압출 시 특성 평가

조국래¹ · 김정한[#] · 염종택¹ · 심성용² · 이수근² · 박노광¹

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

Kuk Rae Cho, Jeoung Han Kim, Jong Taek Yeom, Sung Yong Shim, Su Gun Lim, Nho Kwang Park
(Received May 10, 2007)

Abstract

Semi-solid Al-Zn-Mg alloys were produced by 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]. 특히, 본 연구에서 사용하게 될 7XXX 계 알루미늄 합금은 수송기계의 부품경량화 추진으로 인해 수요가 증대되고 있다.

일반적으로 알루미늄 합금의 압출특성에 가장 큰 영향을 미치는 인자로는 합금강도 및 압출 단면의 구조를 들 수 있다. 소재적 측면에서 7XXX 계 알루미늄 합금의 경우 고강도를 지니게 되는

데, 이러한 재질적 고강도는 압출 특성에는 오히려 좋지 않는 영향을 미친다. 이러한 난가공성 7XXX 계 합금의 압출성 향상을 위한 다양한 연구가 진행 중에 있다.

이러한 난가공성을 해소하기 위한 방안으로 반용융 금속 성형법(Semi-Solid Metal Forming)을 들 수 있다. 반용융 금속 성형기술은 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].

본 실험에 사용된 빌렛은 Thixofoming 으로 단조와 압출에 요구되는 하중이 매우 적어 한번의

1. 한국기계연구원부설 재료연구소/소재성형센터
2. 경상대학교 재료공학부, 항공기 부품기술연구소
교신저자: 한국기계연구원부설 재료연구소
E-mail: kjh1754@kims.re.kr

공정으로도 원하는 형상으로 성형이 가능하다. 일반주조에 비해 응고 수축량이 적고, 보다 얇은 형태로 제작이 가능하지만 소재 생산에 요구되는 비용이 아주 큰 단점이 있다. 이를 보완하기 위한 방안으로 반응용 빌렛을 경사냉각판을 사용하여 기존의 빌렛과는 차별화하여 제조 하였다. 경사냉각판을 사용할 경우 기존공정과 대비하여 빌렛 제작시 비용 절감의 효과를 바라볼 수 있어 연구가 활발히 진행되고 있다[4~5]. 또한 경사냉각판을 이용한 빌렛은 기존의 반응용 빌렛 제조방법보다 간단한 방법으로 미세한 입상의 초정을 생성시켜 제조하였으나 냉각판 통과 후 용탕 내 가스 혼입에 의한 미세 기공 발생하는 단점이 있다.

본 연구에서는 반응용 7075 합금의 기존 공정대비 압출성 향상여부를 확인하고, 반응용과 일반주조 합금의 압출하중, 속도, 압출 빌렛의 기계적 특성 및 미세조직을 비교 평가를 수행하였다.

2. 실험 방법

본 연구를 위해 Al-Zn-Mg 합금의 주조 빌렛과 반응용 빌렛을 준비하였다. 압출을 위한 주조 빌렛은 모합금으로부터 용해되어 Air-Slip Continuous Casting 법으로 제조되었으며, 반응용 빌렛은 경사냉각판에 용탕을 흘려 균질 미세한 입상의 초정을 유지시키는 방법으로 용탕 온도 680℃, 냉각판 각도 40°, 580℃ 몰드에서 3분간 유지시킨 후 반응용 빌렛을 제조하여 사용하였다. Table 1은 7075계 합금의 용해 주조 시의 조건을 나타내고 있다. 일반 주조 AA7075 합금과 반응용 7075 합금의 화학 조성은 Table 2과 같다.

Table 1 Casting condition of 7075 alloy

Degasing process	Cooling Water-volume	Grain Refiner AlTi(5%) B(1%)	Cooling water-temp.	Casting speed	Casting time
20min	66.4ℓ /min	1kg	20℃	82mm/min	24min

Table 2 Chemical composition of AA7075 and semi-solid 7075 alloy

Alloy	Zn	Mg	Cu	Mn	Cr	Ti	Zr
AA7075	6.3	2.4	0.44	0.33	0.001	0.03	0.10
Semi-solid7075	6.27	2.374	0.437	0.33	0.001	0.031	0.104

Fig. 1은 압출용 반응용 빌렛이다. Fig. 2는 반응용 빌렛 제조장치인 수직 연속 주조장치와 냉각판을 보여주고 있다.

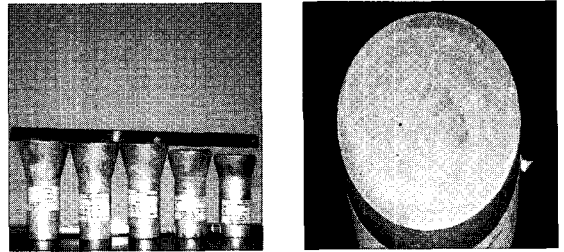


Fig. 1 Semi-solid billet for hot extrusion

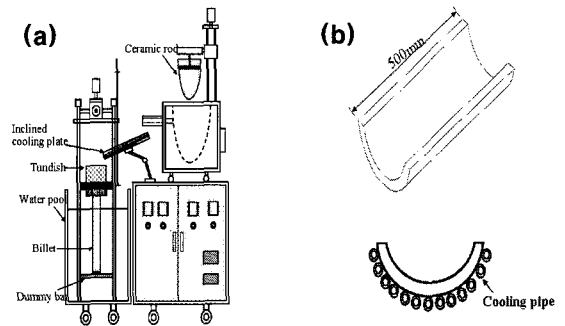


Fig. 2 Schematic diagram of cooling slope casting apparatus; (a) Vertical continuous casting and (b) Inclined cooling plate lope lane

압출공정은 800톤 유압 프레스를 이용하여 공정을 수행하였으며, Fig. 3은 고온압출 금형의 형상과 압출비에 따른 내부금형의 치수 변화를 나타낸 것이다. 압출 빌렛의 사이즈는 직경 60mm, 높이 30mm이다. 압출 금형은 Bend heater와 Cartridge heater로 가열하여 금형 출구의 온도를 400℃로 유지하였고, 압출 빌렛은 적외선 급속가열로(Halogen furnace)를 이용하여 350~600℃까지 가열하여 압출준비를 하였다. 온도는 빌렛과 금형에 열전대를 삽입하여 측정하였다. RAM 속도는 0.1~8mm/sec까지 다양한 속도로 압출을 수행하였다.

압출 빌렛의 기계적 특성을 시험하기 위해 480℃에서 2시간 균질화한 후 120℃에서 24시간 동안 시효 처리한 빌렛으로 인장시편을 제작 시험하였다.

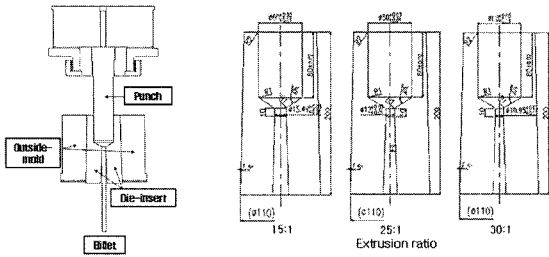


Fig.3 Hot extrusion die-set and die insert design

3. 결과 및 고찰

3.1 미세조직

Fig. 4 는 일반주조 AA7075 합금과 반응용 7075 합금의 가공 전 미세조직을 보여주고 있다. 일반주조 AA7075 합금은 전형적인 주조 조직인 수지상 구조를 보여주고 있으며, 반응용 7075 합금은 구상화조직을 보여주고 있는데 이는 경사냉각관을 이용해 수지상을 억제시켰기 때문이다.

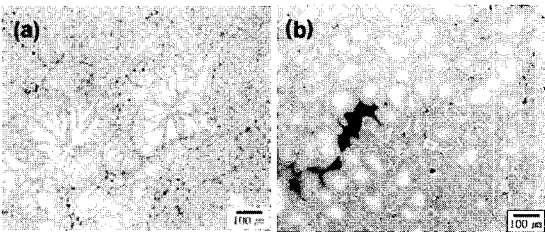


Fig. 4 As-received microstructure of Al-Zn-Mg (a) AA7075 alloy and (b) Semi-solid 7075 alloy

주조재와 반응용재 합금의 결정립 크기를 측정하기 위하여 잉곳의 윗부분을 중심부분과 표면부분의 수평면으로 구분해서 측정하였다. 측정결과 중심부와 표면부의 결정립 크기 차이가 크지 않아 양호한 조직 균질성을 가지고 있음을 확인할 수 있었다. 위 두 개의 원소재 합금의 결정립 크기를 Table3 에서 나타내고 있다.

Table 3 Grain size distribution of AA7075 and semi-solid 7075 alloy

Alloy	center (μm)	Surface(μm)
AA7075	106	114
Semi-solid 7075	61	63

Fig. 5 에서 반응용 원소재의 기공 사이즈를 히스토그램으로 나타내었다. 기공의 사이즈는 중심부 최대 630μm 에서 최소 10μm, 표면은 최대 400μm 에서 최소 9μm 에 이르기까지 아주 다양하게 분포되어있었다. 이러한 기공으로 인해 기계적 특성이 현저히 저하될 것으로 예상되었고 실제로 저하되었다. 반응용 소재를 인장 시험한 결과 항복강도에 도달하기도 전에 파단이 발생하였다. 이러한 결과는 반응용 소재에 내재한 기공에 의한 것으로 사료된다.

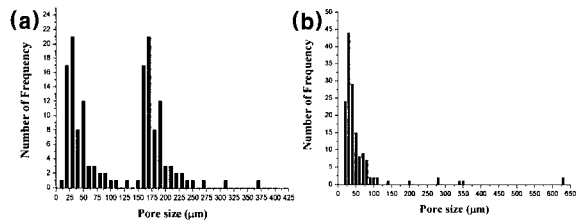


Fig. 5 Pore size distribution of semi-solid 7075 alloy; (a) Surface region and (b) Center region

3.2 반응용 소재 액상분을 변화

온도와 유지시간에 따른 반응용 소재의 액상분을 변화를 알아보기 위해 SDT Q600-DSC 장비를 이용하여 Heating ratio 10°C/min 의 조건으로 실험한 결과 605°C에서 액상분을 20%로 고액공존 구역에서 압출작업 시 최적조건으로 판단하였다. 하지만 600°C이상에서 장시간 유지할 경우 결정립의 조대화 및 결정립 내부에 용융이 발생됨을 Fig. 6에서 확인할 수 있다. 따라서 590~610°C사이에서 약 10분 정도 유지 후 압출하는 것이 고액공존 구역에서의 압출에 유리할 것으로 판단된다.

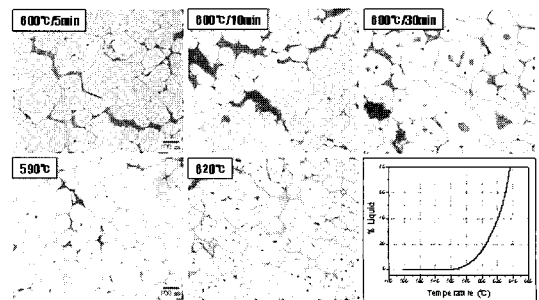


Fig. 6 Variation of liquid phase area fraction of Semi-solid 7075 Alloy

3.3 고온 압출

고액공존 상태에서 시험을 하기 전 두 소재의 압출 특성을 확인하기 위해 빌렛 온도 400℃, 램 속도 3mm/sec, 압출비 25:1, 직접압출 방식으로 압출을 수행하였다. Fig. 7 (a), (b)는 두 합금의 압출 후 표면 상태로서, 두 합금 모두 매끈한 표면 상태를 보이고 있다. Fig. 7 (c), (d)는 압출 빌렛의 압출방향으로 자른 단면의 표면부 미세조직을 보여주는 것으로 일반주조 AA7075 합금의 표면부가 반응용 7075 합금의 표면부보다 조대한 것으로 나타나고 있다. 이것은 기존 주조재보다 반응용재의 압출 후 조직 균질성이 좀 더 우수하다는 것을 보여주는 부분이다.

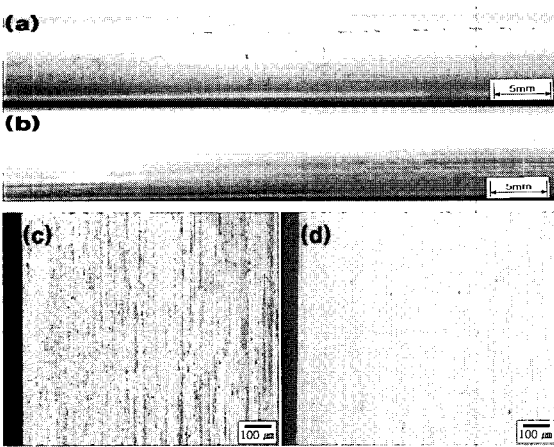


Fig. 7 Surface condition and microstructure of bar extruded at 400°C with 3mm/sec ram speed: Macrostructure of (a) AA7075 and (b) Semi-solid 7075; Microstructure of (c) AA7075 alloy and (d) Semi-solid 7075 alloy

반용용재의 기공변화를 Fig. 8 (a)를 통해 확인할 수 있다. 압출 전 육안으로 구분이 가능했던 기공이 압출을 통해 미세화되었고 현미경으로 구분이 가능해 졌으며, 분율 또한 5%에서 0.8%로 현저하게 감소하였다. Fig. 8 (b)를 보면 압출 후 결정립 크기가 압출 후 확연하게 미세화 되었음을 알 수 있다. 압출 빌렛을 480℃에서 2 시간 동안 균질화 처리 후 120℃에서 24 시간 동안 시효 처리를 한 후 인장시편을 만들어 시험한 결과 Table 4 와 같은 기계적 특성을 나타내고 있다. 여기서 반응용 7075 합금은 일반주조 AA 7075 합금보다 인장, 항복강도는 2~3%정도 낮으나, 연신율은 1% 가량 증가했다는 것을 알 수 있었다.

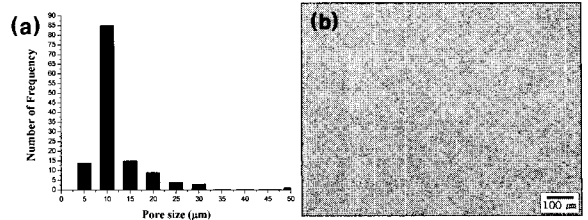


Fig. 8 Microstructural feature after hot extrusion; (a) pore size histogram and (b) optical micrograph showing grain size refinement

Table 4 Tensile properties at room temperature

Alloy	UTS (MPa)	Y.S. (MPa)	Elongation (%)
AA7075	674	654	12.0
Semi-solid 7075	654	639	13.2

Table 5 Tensile property variation according to the extrusion ratio

Alloy (ratio of extrusion)	UTS (MPa)	Y.S. (MPa)	Elongation (%)
Semi-solid 7075 (15:1)	658	631	12.8
Semi-solid 7075 (25:1)	641	613	13.9
Semi-solid 7075 (30:1)	666	634	12.8
AA7075 (25:1)	677	651	10.1

3.3.1 압출비에 따른 압출특성

압출재의 인장특성에 미치는 압출비의 영향을 알아보기 위해서 빌렛과 금형 출구온도는 400℃, 램 속도 0.5mm/sec 로 동일하고, 압출비는 15:1, 25:1, 30:1 로 각각 달리하여 압출하고 T6 후열처리 한 후 인장시험을 한 결과 일반주조재 보다는 반응용재가 기계적 특성은 떨어지지만 압출비가 클수록 강도와 연신율이 증가하는 모습을 보여주고 있다. Table 5 는 압출비에 따른 기계적 특성을 보여주고 있다.

압출비를 달리한 반응용재 압출빌렛과 일반주조재의 압출 빌렛의 미세조직을 관찰하니 소재 특유의 조직인 구상화 조직과 수지상 조직이 압출 후에도 여전히 남아있었으며 기공의 분율과 크기의 경우 압출비가 높을수록 분율은 낮아지고 크

기는 작아짐을 확인하였다.

3.3.2 고액 공존 구역에서의 고온 압출

고액 공존 구역에서의 압출 조건으로 빌렛은도 590℃, 램 속도 1mm/sec, 압출비 25:1, 직접압출 방식으로 압출한 후의 미세조직을 관찰하고 T6 후 열처리 한 후 기계적 특성을 알아보았다. 일반 주조재와 반응용재 모두 압출재 표면부에서 재결정이 발생하였으며 반응용재 계면부 액상구역에서 비평형, 저용점 공정상 및 편석이 존재 가능함을 확인하였다. 상온인장 시험 결과 반응용재의 특성이 일반주조재에 비해 상대적으로 저하되었는데 이는 압출 후 냉간 가공을 통하여 강도향상을 시킬 필요가 있음을 시사한다. 400℃의 압출에 비해 낮은 강도와 높은 연신율이 확인되었다. 이는 결정립의 조대화, 석출 경화상의 고용, 전위량 감소 등의 영향으로 판단된다.

반응용재 압출과 일반 주조재 압출 시 최대 압출 가능속도에 대한 차이는 크지 않았다. Fig. 9에서 볼 수 있듯이 두 소재 모두 590℃, 3mm/sec에서는 표면에 균열이 발생되며 압출 되었고 1mm/sec에서는 미려한 표면을 가진 압출재가 나왔다.

고액 공존 구역에서 압출 요구하중은 반응용재의 경우 일반 주조재에 비해 12~18% 정도 낮은 결과를 얻었다.

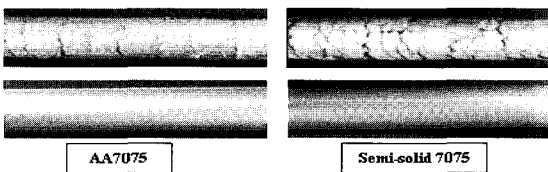


Fig. 9 Appearance of extruded AA7075 and semi-solid 7075 bar

4. 결론

Al-Zn-Mg 합금 중 AA7075 합금과 반응용 7075 합금 두 종류의 고온 압출 시 기계적 특성에 대해 조사해보았다.

(1) 압출 전 반응용 소재는 항복점에 도달하기 전 파단이 발생했다. 이것은 반응용 빌렛 제조과

정 중 발생한 기공에 의한 것으로 판단된다.

(2) 압출 후 기공의 축소와 결정립의 미세화로 압출 빌렛의 기계적 특성이 압출 전과 비교해 상당히 우수해졌다.

(3) 고액 공존구역에서 반응용 압출 시 빌렛의 적정 가열 온도는 590~610℃ 이하이며 유지시간은 10분 이내여야 한다.

(4) 고액 공존 구역에서 압출재의 기계적 특성은 반응용재가 떨어진다.

(5) 반응용재와 일반압출재의 최고압출 속도는 유사한 반면, 압출요구 하중은 반응용재가 12~18% 정도 낮다.

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 Solidified 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] 임수근, 김권섭, 1999, 경사냉각관에 의한 반응고금속의 제조, 한국소성가공학회 고액공존금속의 성형기술 심포지엄(III), pp. 117~130.
- [5] 김권섭, 임수근, 1999, 경사냉각관으로 제조된 반응고 금속의 미세조직, 한국소성가공학회 고액공존금속의 성형기술 심포지엄(III), pp. 157~172.
- [6] T. Sheppard, P. J. Tunnicliffe, S. J. Patterson, 1982, Direct and indirect extrusion of a high strength aerospace alloy(AA7075). J. M ech. Work. Tech. 6, pp. 313~331.
- [7] 이상용, 이정환, 이영선, 전재일, 신평우, 1998, Al7075 합금의 열간단조와 반응고 단조에 있어서 조직, 성형성 및 경도 특성 비교, 한국소성가공학회지, pp. 620~630.