

# 온간 후방 압출공정에서 AZ31 Mg 합금의 성형 특성

윤덕재<sup>#</sup>· 임성주<sup>1</sup>· 김응주<sup>1</sup>· 조종두<sup>2</sup>

## Plastic Forming Characteristics of AZ31 Mg Alloy in Warm Backward Extrusion

D. J. Yoon, S. J. Lim, E. Z. Kim, C. Cho

(Received October 12, 2006)

### Abstract

Bulk plastic forming characteristics were studied for the magnesium alloy, AZ31 in warm backward extrusion. Effects of process conditions such as extrusion ratio, forming temperature, and punching speed were investigated respectively. Variation of microstructure induced by the warm backward extrusion process was observed. Microstructure of the work piece showed evidences of recrystallization under the experiment conditions. It is estimated that in specific punch speed region fast stroke accelerates recrystallization and reduces the forming load.

**Key Words** : Magnesium Alloy, Magnesium Forging, Backward-Extrusion, Extrusion Ratio

### 1. 서 론

마그네슘 합금은 비중이  $1.74\text{g/cm}^3$  정도로 상용화되는 구조재료 중 비중이 가장 작고, 높은 비강도와 비강성 등의 구조재료로써 갖춰야 할 기계적 특성이 매우 우수하여 자동차 경량화를 이룰 수 있는 차세대 재료로 각광받고 있다. 최근 경량소재의 사용이 증대됨에 따라 마그네슘의 수요가 증가하고 있으나 냉간 가공성이 취약하고, 성형조건이 까다로움에 따라 성형기술의 확보가 미흡하고, 산화성 등의 조건으로 적절한 분위기와 표면처리 등의 단점으로 인하여 널리 활용되지 못하고 있는 실정이다.

현재 마그네슘 부품의 대량생산 공정으로는 다이캐스팅법이나 반응용·반응고성형법 등의 주조법으로 제조되고 있다. 이와 같은 성형법은 주조결함과 지구환경오염 물질의 배출 등의 문제점을 안고 있어 생산성 향상과 환경부하 절감을 위한

성형가공기술의 개발이 요구되고 있으며, 또한 우수한 기계적 특성과 표면을 얻을 수 있는 성형기술에 대한 관심이 고조되고 있다.

따라서 압출과 판재성형 등을 포함하는 소성가공은 성형시간의 단축, 재료 이용률의 증대 및 성형후의 후처리 공정의 용이성은 물론 높은 연성과 강도를 얻는데 적합한 방법으로 알려지면서 마그네슘 합금의 소성가공 기술의 정립과 기술개발에 대한 연구가 진행되고 있다. 최근 마그네슘 합금의 성형특성 분석을 위해 마그네슘 합금의 고온변형 특성분석과 온간 열간 성형을 위한 기초물성 및 기계적 성질의 평가에 대한 조사가 진행되고 있다[1~6].

본 연구에서는 마그네슘합금 AZ31이 체적 성형 시에 나타내는 변형 특성을 파악하고자 온간 후방 압출 실험을 수행하였다. 비교적 단순한 형상의 제품을 성형하면서 공정조건에 변화를 주어 적정 성형 조건을 찾아 보았으며, 성형 온도, 압

1. 한국생산기술연구원

2. 인하대학교 기계공학과

# 교신저자: 한국생산기술연구원, E-mail: ydj@kitech.re.kr

Table 1 Chemical composition of AZ31(wt %)

Al	Zn	Mn	Si	Fe	Cu	Ni	Other
2.5	0.6	0.2-1.0	<0.1	<0.005	<0.04	<0.005	<0.3(total)

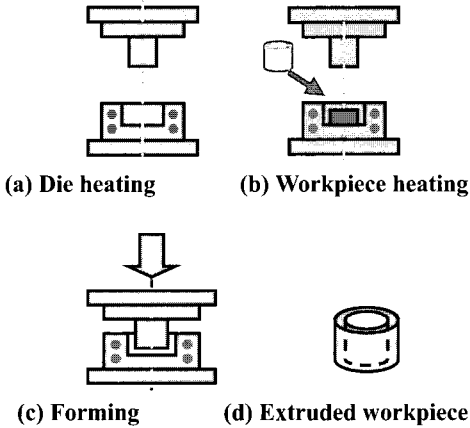


Fig. 1 Flow of the backward extrusion experiments

출비, 성형속도와 같은 공정 변수가 성형 제품의 특성에 미치는 영향을 살펴보았다. 또한 성형된 제품의 조직 관찰을 실시하여 공정변수가 미세적 조직 변화에 주는 영향을 분석하였다.

## 2. 온간 후방 압출 성형

본 연구에 사용된 소재는 상용 AZ31합금으로 Table 1에서 합금성분의 조성을 나타내었다. 실험에 앞서 시험소재가 균일한 조직과 기계적 특성을 가질 수 있도록 균질화 처리를 수행하였다. 균질화 처리는 소재를 400℃로 가열한 상태에서 10시간 동안 유지한 후 노에서 냉각시켰다.

실시한 온간 후방압출 실험은 Fig. 1과 같은 공정으로 구성되어있다. 일정한 온도로 시편을 가열하고, 성형 공정 중에 시편의 냉각을 방지하기 위해 금형을 가열하였다. 가열된 시편을 금형에 삽입하는 것이 아니라 성형온도로 가열된 금형에 윤활된 시편을 장착하여 가열된 금형으로부터 열전도에 의해 소재가 가열되도록 하였다. 이러한 방법으로 항온 성형이 가능하였다.

압출비에 변화를 주기 위해 Fig. 2에서 보이는 바와 같이 컨테이너의 내경을 일정하게 유지하여 압출 소재의 외경을 고정 시킨 상태에서 펀치의 외경에 변화를 주어 각각 다른 압출비를 얻을 수 있도록 하였다. 후방 압출 실험을 위한 펀치의 형상은 Fig. 3과 같이 설계하였다. 펀치의 밀면은 평

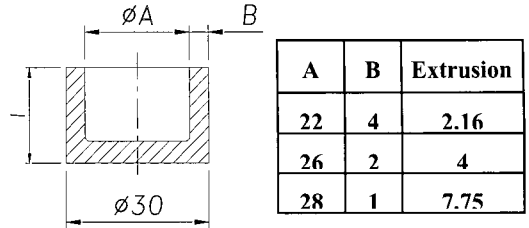
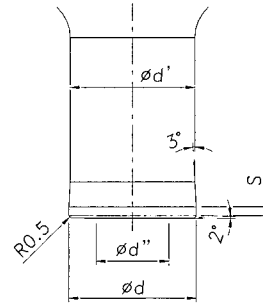


Fig. 2 Experimental conditions for the warm backward extrusion



(Unit : mm)

Extrusion ratio	7.75	4	2.16
Punch diameter ( $\phi d$ )	28	26	22
Punch relief ( $\phi d'$ )	27.4	25.4	21.4
Flat diameter ( $\phi d''$ )	16	14	13
Bearing (S)	2	2	2

Fig. 3 Design of the punches for the experiments

면부와 경사부를 동시에 갖는 형태를 채택하여 원활한 소재 유동이 발생하도록 하였다.

압출시편의 크기는 열팽창과 장착의 편의성을 고려하여 직경이 29.7mm가 되도록 하였으며, 시편의 높이는 충분한 스트로크를 얻기 위해 15mm가 되도록 하였다.

실험에 이용된 성형 장치는 90ton<sub>r</sub>의 성형력을 갖는 유압프레스로 Fig. 4에 외관을 나타내었다. 4개의 타이로드를 갖는 구조를 택하고 있으며, 40kW의 유압 장치를 이용하여 최대 성형속도 25mm/s를 얻을 수 있다. 성형속도는 2, 10, 20mm/s로 변화시키며 실험을 수행하였다.

Fig. 5에서는 압출금형의 외관을 보여주고 있다. 카트리지 히터를 컨테이너 외곽에 배치하여 성형 온도를 유지하도록 하였다. 시편을 금형 안에서 가열함으로써 금형과 시편의 온도를 동일하게 유지하였으며, 가열온도는 150, 180, 200℃로 변화시켜가며 실험을 수행하였다. 또한 상부 펀치의 온도가 성형에 미치는 영향을 살펴보고자 상온과



Fig. 4 Hydraulic press used in the experiments

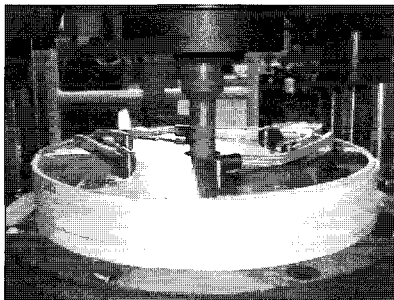


Fig. 5 Warm backward extrusion die set

180℃로 가열한 경우를 구별하여 실험하였다.

소재와 펀치, 소재와 컨테이너 사이의 마찰력을 줄이기 위해 윤활제로써 MoS<sub>2</sub> 를 분무 방식으로 소재와 금형에 도포하여 사용하였다.

### 3. 성형 실험 결과

성형온도와 성형 속도, 압출비를 각각 달리하여 온간 후방압출 실험을 수행하였으며 그 결과의 일부를 Fig. 6에 나타내었다. AZ31의 열간 성형온도에 비해 낮은 온도인 200℃에서 후방압출 성형이 성공적으로 수행되었다. 소재 내부와 외부에 결함 발생 없이 깨끗한 성형 면을 얻을 수 있었다.

#### 3.1 성형 온도의 영향

성형 온도를 달리하여 성형실험을 수행한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 금형의 온도가 높을수록

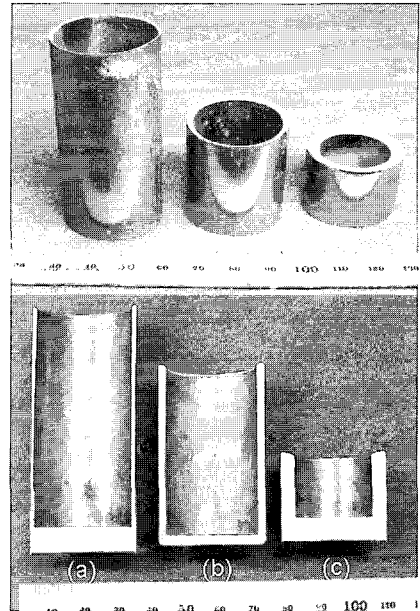


Fig. 6 Extruded work pieces

Extrusion ratio : (a)7.75, (b)4.00, (c)2.16

Workpiece & die Temp. : 200℃,

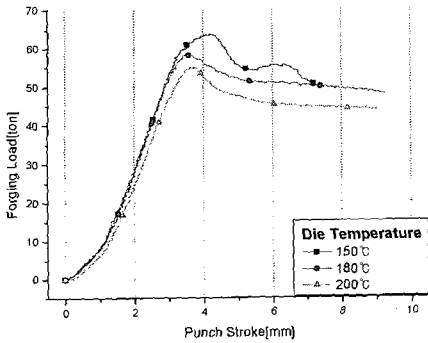
Punch temp. : 20℃, Punch speed : 20mm/s

낮은 성형하중을 보이고 있으나 압출하중의 차이는 크지 않은 것으로 나타나고 있다. 150℃에서는 결함이 발생하였으나, 180℃ 이상의 성형 조건에서는 결함 발생 없이 후방압출이 가능하였다. 이는 기존에 알려진 AZ31 열간 성형 추천 온도 250℃을 하회하는 값에서 높은 압출비를 갖는 고변형률 성형을 성공한 사례이다.

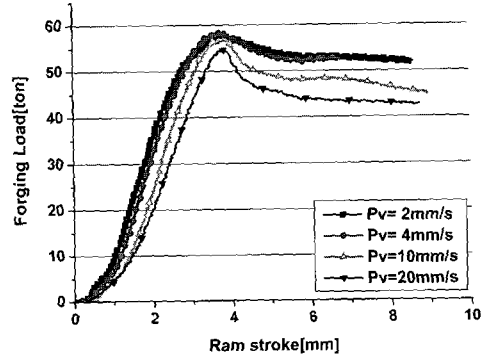
150℃이하의 조건에서는 압출 되어 올라온 부위에 결함이 발생하였으며, 하중 곡선상의 요동은 이러한 결함 발생의 영향으로 판단 된다. 후방 압출이 원활 하게 일어나는 조건에서는 초기 하중 상승기를 지나 정상상태에 돌입하는 것을 관찰할 수 있다.

소재와 컨테이너의 온도가 200℃ 이상인 경우에는 펀치온도의 영향이 미비하였으나 성형 온도를 180℃로 낮추어 실험을 실시한 경우 펀치의 온도가 낮아짐에 따라 표면 결함이 Fig. 8과 같이 발생하였다.

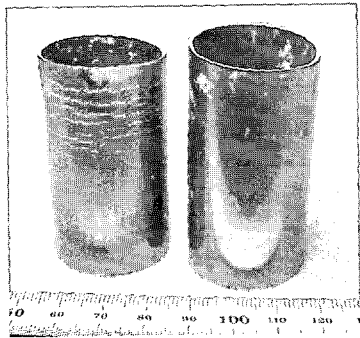
펀치의 온도가 낮은 경우에는 Fig. 9에서 나타나는 바와 같이 성형 하중이 증가하였으며 조기에 결함이 발생하여 성형이 중단 되었다.



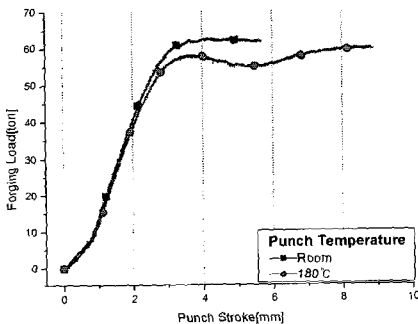
**Fig. 7 Effect of extrusion temperature**  
Extrusion ratio : 7.75, Punch speed : 20mm/s



**Fig. 10 Effect of punch speed on extrusion load**  
Extrusion ratio: 7.75, Temp.: 200°C



**Fig. 8 Effect of punch temperature**  
Punch temp. : Left 20°C, Right 180°C  
Workpiece & die Temp. : 180°C,  
Extrusion ratio : 7.75, Punch speed : 2mm/s



**Fig. 9 Punching loads in different punch temp**  
Workpiece & die Temp. : 180°C,  
Extrusion ratio : 7.75, Punch speed : 2mm/s

### 3.2 성형 속도의 영향

성형 속도를 달리한 상태에서 후방 압출 실험을 수행하고 각각의 성형하중을 측정하여 비교하였다. 압출비 7.75, 성형온도 200°C 조건에서 성형

속도에 따른 후방 압출 하중을 Fig. 10에 나타내었다. 성형 속도가 빠를수록 후방 압출 하중이 적게 소요됨을 나타내고 있다. 이는 변형 속도와 변형 하중이 정비례하는 일반적인 점소성체의 특성과 상반되는 결과이다.

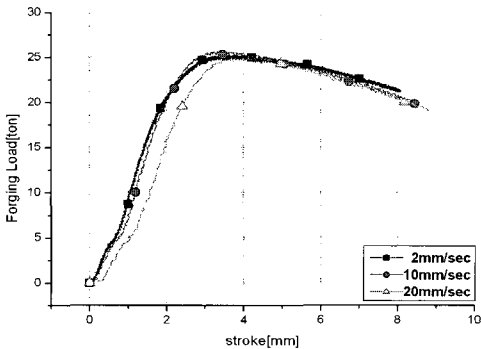
이러한 현상은 미세적 조직변화로부터 원인을 찾을 수 있다. 소재의 구조가 변하지 않은 상태, 즉 일정 점도의 조건 아래에서는 성형 속도와 성형 하중이 비례하지만, 변형 중 조직이 미세화 될 경우, 변형체의 유효 점도가 변하게 된다. AZ31의 온간/열간 성형시 결정립계의 미끄러짐이 주요한 변형 기저로 작용함에 따라 성형 속도 증가로 인해 결정입이 미세화 되었고, 미세화된 결정립계에서 미끄러짐이 쉽게 발생하여 성형 하중이 감소하게 된 것으로 사료된다.

또한 펀치의 속도가 빠를수록 압출 하중의 최대 값과 정상상태 값에 차가 벌어짐을 확인할 수 있다. 성형 속도가 빠를수록 후방 압출 초기에 재결정이 충분히 진척되지 않은 부분이 성형되면서 압출하중의 증가를 가져왔을 것으로 예상된다.

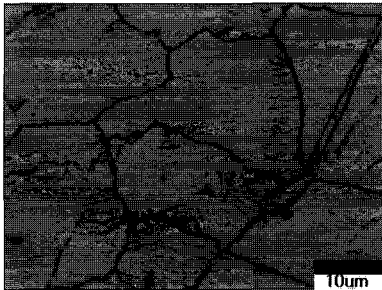
### 3.3 압출비의 영향

압출 속도와 함께 압출비의 영향을 보기 위해 압출비 2.16로 실험한 결과를 Fig. 11에 나타내었다.

Fig. 10과 비교하였을 때 압출비가 줄어든 경우 압출 속도 증가에 따른 압출하중 감소의 경향이 감소함을 알 수 있다. 열간 변형에서 소재의 유동 응력은 변형률 속도의 함수로 볼 수 있다. 변형이 가장 급격하게 일어나는 부위인 압출 펀치의 베어링 부위에서 발생하는 변형률 속도는 펀치의 속도로부터 선형적(산술급수적)인 영향을 받는다.



**Fig.11 Effect of punch speed on extrusion load**  
Extrusion ratio: 2.16, Temp.:200 °C



**Fig.12 Microstructure of initial work piece**

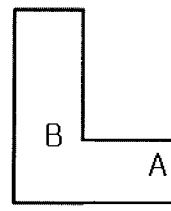
이에 비하여 압출비는 이 부위의 변형률 속도에 기하급수적 영향을 미치게 되므로, 압출비가 클수록 공정 조건이 성형하중 변화에 미치는 영향을 확대하여 나타내게 된다.

### 3.4 미세조직 변화

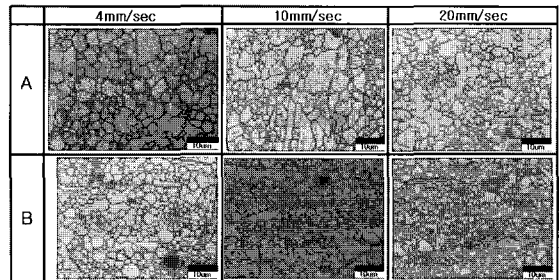
AZ31 합금의 온간 후방압출 성형시 발생하는 조직의 변화를 관찰하였다. 압출 성형전 초기 소재는 균질화 처리를 통하여 비교적 등축의 결정 형상을 갖고 있음을 Fig. 12에서 확인 할 수 있다. 결정립의 평균 직경은 약 20µm임을 보여 주고 있다.

조직의 변화가 가장 활발하게 일어날 것으로 예상되는 최고 압출비 7.75(초기시편 직경 30mm, 압출 벽 두께 1mm)인 경우를 살펴보았다. 조직 관찰 점의 위치는 Fig. 13 과 같다.

점 A는 펀치 중심부 바로 아래 부분으로 단축 압축 변형 모드가 주도적으로 일어나는 부분이며 그 이하 부분은 펀치의 전진에 따라 변형 구간이 포함되기 전까지는 변형 없이 정체되어 있게 된다. B 위치는 중심부에서 압축되어 밀려온 소재가



**Fig.13 Microstructure observation positions**



**Fig.14 Microstructure of the extruded work pieces**  
Extrusion ratio : 7.75, Temp. : 200 °C

펀치 이동 방향과 반대 방향으로 압출 되어 나가는 부분으로 평면 변형률 변형 모드가 지배하게 된다. 펀치의 베어링 부위를 지난 소재는 일정 속도로 강체 이동을 하게 되므로 더 이상의 변형 진전이 없다.

변형률 속도가 소재의 내부 조직 변화에 미치는 영향을 보기 위하여 후방 압출 펀치의 속도를 달리하여 실험하고 그 결과를 Fig. 14에 나타내었다.

기존의 결정립 경계에서 재결정이 발생하여 점차 성장하는 것을 관찰 할 수 있다. A 에서 관찰되는 조직의 경우 펀치의 속도가 빠를수록 재결정의 진척도가 높게 나타나며, 새로이 생성된 결정립의 크기가 작고, 그 수 또한 많음을 알 수 있다. 점 A 에서 출발한 소재가 최소 단면적 부분을 통과한 후, 점 B 에 도달하게 되면서 기존의 거대 결정립은 신생 결정립에 의해 잠식되고 있다. 후방 압출 변형이 완료된 시점에서도 변형률 속도가 클수록 결정립이 미세화됨을 확인 할 수 있다.

## 4. 결론

온간 후방압출 실험을 통해서 상용 AZ31의 성형 특성을 분석 하였다. 기존의 열간 성형온도 보다 낮은 180°C에서 압출비 7.75의 고변형률 성형이 결함발생 없이 가능함을 확인 하였다. 고온 성

형 조건 아래에서 재결정 현상이 관찰 되었으며 변형률 속도가 높을수록 결정이 미세화되었다. 성형 속도를 증가 시켰을 때 오히려 성형하중이 감소하는 현상이 관찰 되었으며, 이는 결정립 미세화로 인해 결정립 미끄러짐이 원활히 일어날 수 있는 분위기가 조성된 것 때문으로 추론 된다.

### 참 고 문 헌

- [1] D. J. Yoon, Y. W. Seo, C. Cho, H. J. Choi, K. H. Na, 2005, Characteristic of Hydrostatic Extrusion for Magnesium Alloy AZ31, Advanced Technology of Plasticity(2005)-Proceedings of the 8<sup>th</sup> ICTP, pp. 691~692.
- [2] N. Ogawa, M. Shiomi, K. Osakada, 2002, Forming limit of magnesium alloy at elevated temperatures for precision forging, Int. J. Mach. Tool. Manufac., Vol. 42, pp. 607~614.
- [3] P. Maier, K. U. Kainer, 2005, Extension of the Range of Applications for Magnesium Alloys, 62<sup>nd</sup> Annual World Conference Proceedings, pp. 99~104.
- [4] H. Friedruch, S. Schumann, 2001, Research for a new age of magnesium in the automotive industry, J. Mat. Pro. Tech., Vol. 117, pp. 276~281.
- [5] 오세웅, 추동균, 이준희, 강충길, 2005, 마그네슘 판재성형을 위한 인장 및 압축실험을 통한 기계적 물성평가, 한국소성가공학회지, 제 14 권, 제 7 호, pp. 635~641.
- [6] 이병호, 신광선, 이종수, 2004, AZ31 Mg 합금의 가공조건에 따른 고온 성형성 연구, 한국소성가공학회 2004 년도 춘계학술대회 논문집, pp. 80~83.