

AZ31 판재의 부풀림 성형 특성

권용남¹, 이영선¹, 이정환¹

Blow forming characteristics of AZ31 sheet

Yong-Nam Kwon, Y. S. Lee and J. H. Lee

Abstract

In the present study, the blow forming characteristics of AZ31 sheet was investigated to test the feasibility of the practical application of wrought Mg alloys. Mg alloys have drawn a huge attention in the field of transportation and consumer electronics industries since it is the lightest alloy which could be industrially applicable. Most Mg alloy components have been fabricated by casting method. However, there have been a lot of research activities on the wrought alloys and their plastic forming process recently. Shallow cups for the small electronics cases have been stamped with warm die system. However, some technical issues will challenge Mg forming when large parts are considered with warm die system over 200°C. Most of all, thermal expansion of die system will deteriorate a die accuracy. On the other hand, blow forming does not have a problem with inaccuracy with die system. In this study, tensile tests were followed by blow forming at various temperature and pressure. AZ31 sheet showed a superplastic deformation behavior with extensive grain boundary sliding at the temperature above 300°C. However, the deformation behavior was likely to differ depending on stress condition.

Key Words : Blow forming, Instability, Mg alloy, AZ31, dynamic recrystallization

1. 서 론

Mg 합금은 상온에서는 저면슬립계(basal slip system)만이 작동하여 매우 낮은 성형성을 나타내나 성형온도를 높임에 따라 비저면 슬립계들이 활성화되어 성형성이 향상된다고 알려져 있다. 이에 따라 현재 상용 제품의 생산에는 150~250 °C 범위에서 성형이 수행되고 있으나 강, 알루미늄 소재에 비해 낮은 성형성을 가지기 때문에 제품의 설계에 한계를 가진다. 성형성을 높이기 위한 또 다른 방법으로 결정립 미세화가 각광을 받고 있다. 주로 강소성가공(severe plastic deformation)을 이용한 방법이 많이 연구가 되고 있으며 약 0.5 μ m 정도의 결정립을 얻을 수 있다. 하지만, 이

러한 방법들은 공업적으로 사용하기에는 한계를 가진다.

Mg 합금은 제한된 슬립계와 낮은 적층결합에너지를 가지기 때문에 동적 재결정(dynamic recrystallization)이 쉽게 발생할 수 있는 재료이다. AZ31 합금의 경우 150 °C 이상의 온도에서는 일정 변형량 이상의 조건에서 재결정현상이 발생하여 결정립 미세화 효과를 얻을 수 있다. 이전 연구를 통해 재결정을 통해 얻어진 결정립의 크기는 가공변수의 영향을 받는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 미세한 결정립들은 전위 슬립 뿐만 아니라 결정립계 변형을 통해 성형이 가능하며 많은 연구를 통해 Mg 합금의 초소성 변형이 보고되었다.

1. 한국기계연구원 재료기술연구소 소재성형연구센터
교신저자: 권용남 E-mail: kyn1740@kmail.kimm.re.kr

본 연구에서는 AZ31 합금의 초소성 변형 특성을 조사하며 이를 바탕으로 부풀림 성형을 실시하였으며 성형 조건에 따른 성형 특성을 비교하였다.

2. 실험 방법

본 연구는 상용 AZ31 합금을 사용하여 실시하였으며 그림 1에 나타낸 바와 같이 평균 결정립 크기($d=1.74L$)는 각각 $20.3\mu\text{m}$ 를 가지고 있다.

변형율 속도 변화시험 및 인장시험을 사용하여 $250 \sim 450^\circ\text{C}$ 의 온도 영역에서 고온 변형 특성을 조사하였다. 고온 인장시험을 실시한 후 광학현미경을 이용하여 평균 결정립 크기를 측정하였다.

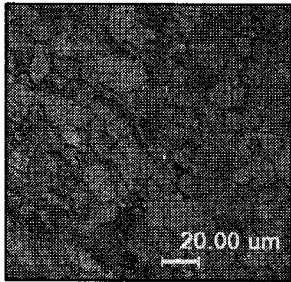


Fig. 1 Optical micrograph of an AZ31 alloy with the grain size of $20.3 \mu\text{m}$ used in the present study.

변형율 및 변형율속도민감계수를 고려하여 $300, 450^\circ\text{C}$ 두가지 온도에서 부풀림 성형을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

$250 \sim 450^\circ\text{C}$ 의 온도 범위에서 변형율속도 변화 시험을 통해 얻은 응력-변형율속도의 관계를 그림 2에 나타내었다. 온도의 증가에 따라 변형율속도민감계수(strain rate sensitivity, m)가 낮은 변형율속도 영역에서 점차로 높은 값을 가지며 400°C 이상의 온도 영역에서는 0.5 이상의 값을 가져 결정립계 미끄러짐이 주도적인 변형기구로 작동할 것으로 예상된다. 반면 높은 변형율속도 영역 및 낮은 온도에서는 m 값이 0.1 정도의 낮은 값을 나타내 전위 활주에 의한 변형이 진행되는 것으로 판단된다. 변형율속도 민감계수 m 값이 0.5 이상으로 높은 영역에서의 활성화에너지는 130 kJ/mol 를 가지는 것으로 확인되었다.

이상의 응력-변형율속도 관계를 바탕으로 온도 및 변형율속도를 변화시키면서 인장시험을 실시하였다. 그림 3에 나타낸 것과 같이 변형 온도가 높아짐에 따라 연신율이 증가하는 일반적인 경향을 관찰할 수 있었다. 연신율에 대한 변형율속도의 영향은 온도가 400°C 미만의 온도에서는 크게 나타나지 않은 것을 확인할 수 있었다. 이상의 결과에서 저면슬립계를 제외한 보조슬립계의 역할은 온도의 증가에 따라 연신율에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다.

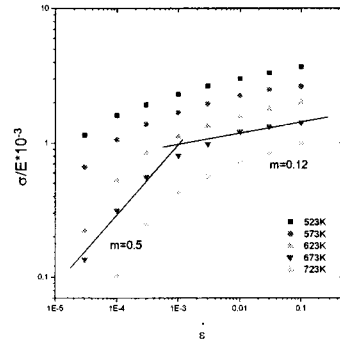


Fig. 2 Stress-strain rate relation of AZ31 alloy with the grain size of $20.3\mu\text{m}$ in the temperature range of $250 \sim 450^\circ\text{C}$.

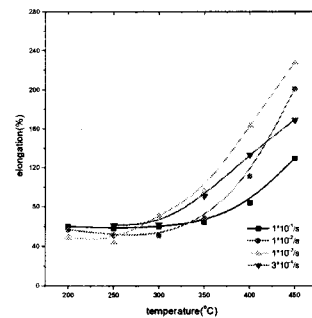


Fig. 3 Elongation of AZ31 alloy is dependent on strain rate at the temperature range $200 \sim 450^\circ\text{C}$.

그림 4는 온도 및 변형율 속도를 변화시키며 인장시험을 실시한 시편의 미세조직을 관찰한 결과를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 변형 온도가 200°C 인 경우 $5\mu\text{m}$ 이하로 미세하게 재결정된 조직이 관찰되고 있다. 하지만, 변형율 속도의 변화에 따라 재결정이 발생하는 양상은 달라지며 변형율속도가 낮은 경우에 가장 균일한 결정립크기를 보여주고 있다. 변형온도가 300°C 의 경우에도 변형율속도에 관계없이 변형 전 조직에

비해 결정립크기가 감소하는 경향을 확인할 수 있었다. 하지만, 변형온도가 450°C의 경우 변형속도가 0.1/s 일 때 결정립 성장이 관찰되었으며 다른 변형율속도 조건에서도 결정립이 변형 전 시편에 비해 성장한 것을 확인할 수 있었다.

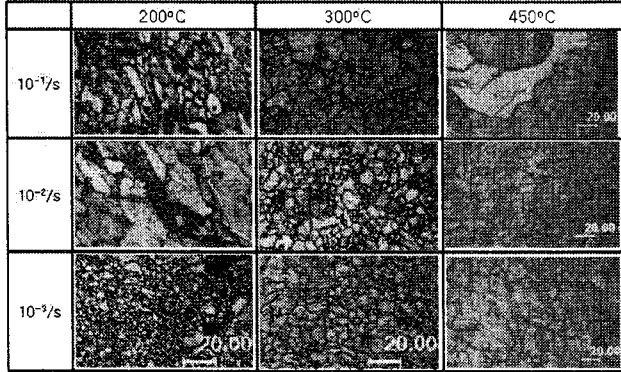


Fig. 4 Optical micrographs after tensile deformation under the several strain rates. (a) 200°C, (b) 300°C and (c) 450°C.

그림 5 및 표 1은 실린더 형상의 금형을 이용하여 온도 및 압력을 변화시키면서 부풀림 성형을 실시한 결과를 나타내고 있다. 앞에서 설명한 인장시험 결과에 의하면 300°C에서는 100%이하의 낮은 변형율을 나타내었지만 부풀림 성형에서는 250%이상의 변형율을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 이상의 결과는 응력 조건의 변화에 따른 변형의 안정성뿐만 아니라 미세조직의 변화에도 그 원인이 있는 것으로 판단된다.

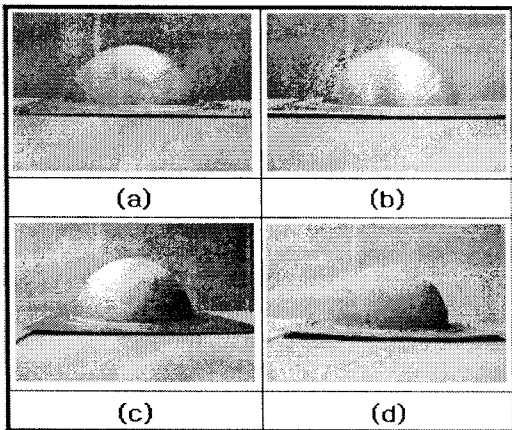


Fig 5. Blow forming results with (a) 0.6MPa at 300°C, (b) 1MPa at 300°C, (c) 0.2MPa at 450°C and (d) 0.6MPa at 450°C.

Table 1. Summary of blow forming results

	(a)	(b)	(c)	(d)
Temperature	300°C		450°C	
Pressure	0.6MPa	1.0MPa	0.2MPa	0.6MPa
Height(mm)	81.25mm	80.7mm	96mm	91mm
Time(sec)	1080sec	215sec	2800sec	130sec

그림 6은 300 및 450°C에서 부풀림 성형한 시편의 조직을 나타내고 있다. 그림에서 확인할 수 있듯이 부위별로 결정립크기의 차이가 크게 발생하고 있다. 그림 4에 나타난 일축인장 후 조직의 경우 재결정이 발생한 후 결정립 크기가 국부적으로 낮아지며 이와 함께 응력이 낮아져 변형의 집중이 유발되는 것으로 판단된다. 이와 달리 부풀림 성형시 이축인장 상태는 일축인장에 비해 네킹의 발생을 억제하는 경향을 나타낸다.

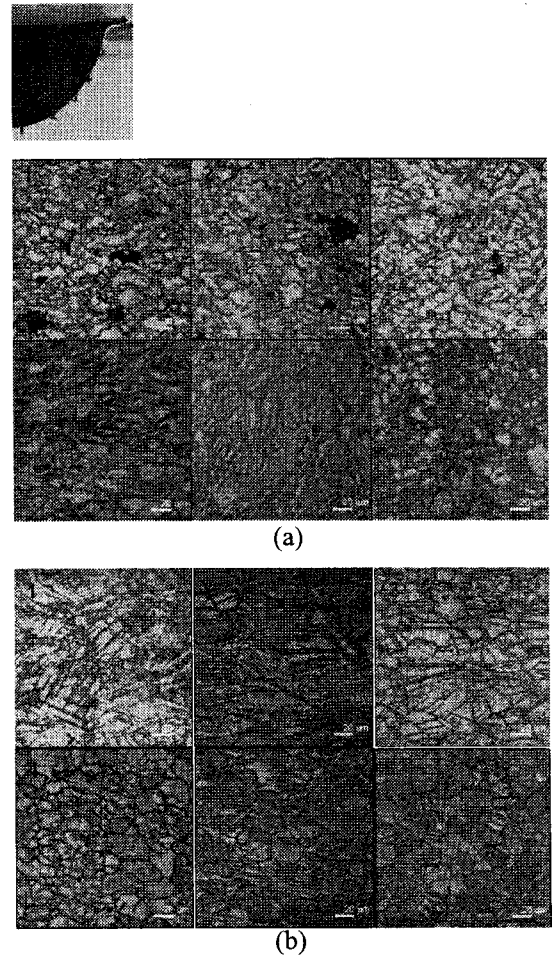


Fig 6. Blow forming results with (a) 0.5MPa at 300°C and (b) 0.4MPa at 450°C

즉, 이축인장상태에서 변형이 진행되는 부풀림 성형의 경우 일축인장에 비해 변형의 안정성이 높으며 이에 따라 재결정이 시편 전체에 걸쳐 발생할 수 있는 가능성이 높아진다. 이상의 원인으로 일축인장시험에 비해 높은 변형율을 나타내는 것으로 판단된다.

온도 및 압력에 따라 부풀림 성형의 한계 변형율을 유사한 이유는 낮은 온도(300°C)에서는 결정립계 미끄러짐을 보완해 줄 수 있는 변형기구가 효과적으로 작동하지 못하여 결정립계에서 공공이 심하게 발생하는 반면, 높은 온도(450°C)의 경우 결정립계 이동의 속도가 높아 결정립계 미끄러짐이 효과적으로 발생할 수 없기 때문으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 상용 AZ31 합금의 고온변형거동 및 부풀림 성형성에 대한 온도 및 변형율속도의 영향을 조사하였다. 동적재결정이 활발한 AZ31 합금에서 재결정으로 인해 얻어진 미세한 결정립은

결정립계 미끄러짐이 활발해지는 온도 이상의 영역에서는 연신율을 증가시키는데 기여하는 것으로 판단된다. 하지만, 온도가 높아짐에 따라 결정립 성장 속도가 빨라져 결정립계 미끄러짐이 작동할 수 없는 상태로 변화할 가능성도 있다.

이축응력상태에서 진행되는 부풀림 성형은 일축인장시험에 비해 변형의 안정성이 높아 균일한 재결정 경향을 유도할 수 있으며 이에 따라 결과적으로 높은 변형율을 얻을 수 있다.

후 기

본 연구는 지식기반기계 부품소재연구개발 클러스터 사업단의 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

- [1] F. J. Humphreys and M. Hatherly, 1995, Recrystallization and related annealing phenomena, Elsevier Sc. Ltd., Oxford, U. K..