한국소성가공학회 2007년도 추계학술대회 논문집 pp. 250~253

AZ31B 마그네슘합금 판재의 원형 및 사각 딥드로잉 성형성의 실험적 평가

권기태1 · 강석봉2 · 강충길#

A Study on the Experimental Evaluation of AZ31B Sheet Formability with Circle and Rectangle Shape

K.T. Kwon, S. B. Kang, C. G. Kang

Abstract

Since Mg alloy has many attractive advantages among the practically used metals, many researchers have been studied to develop useful process and material. The crystal structure of Magnesium was hexagonal close-packed, so its formability was poor at room temperature. But formability was improved in high temperature with increasing of slip planes, twins, dynamic recrystallization. In this study The formability of AZ31B magnesium sheet is estimated according to the variable temperatures, forming speed, thickness, blank holding force. The results of deep drawing experiences show that the formability is well at the range from 200 to 250℃, 20 to 60 mm/min forming speed and 2.5 to 3KN blank holding force.

Key Words : AZ31B Magnesium Alloy Sheet, Deep Drawing, Microstructures, Thickness

1. 서 론

마그네슘 합금은 구조용 금속 재료 중 가장 가벼우며 비강도, 비강성, 주조성, 기계가공성, 진동·충격 흡수능 및 피로 특성이 우수하여 수송기기, 전자제품 휴대용 공구류, 스포츠·레저용품, 군수용품, 의료기기 등 폭넓은 분야에 응용되고 있다.

1990년대 초부터 대기 오염의 주원인인 자동차 배기가스의 배출을 감소하려는 국제적인 움직임이 활발해짐에 따라 연비 개선을 위해 차체 경량화가 가장 현실적인 대안으로 제시되면서, 구조용 금속 재료 중 최경량인 마그네슘합금이 새롭게 주목받게 되었다.

현재 전자부품의 마그네슘합금 부품은 고도의 부품 정밀도와 치수 안정성, 그리고 표면특성을 요구하는데, 판재 성형에 의해 부품을 제조할 경우 주조결함이 없고, 우수한 표면 조건을 유지할 수 있어 생산성이 높을 뿐 아니라 인건비를 감소시킬 수 있는 등 기업의 경쟁력을 강화시킬 수 있다[1].

최근에 발표되는 연구 결과들을 살펴보면, 기존의 주조 분야 뿐만 아니라 판재 성형기술에 대한 내용이 크게 증가하고 있다. 특히 E. Doege등은 여러 종류의 마그네슘 합금(AZ31, AZ61, MN150)을 온간에서 성형성 연구를 하였다. 온간에서 변형률속도에 따른 인장시험을 통해서 변형률 속도가 유동 응력에 미치는 영향을 고찰하여 변형률 속도가 빠르면 최대 변형률이 감소한다는 것을 보였으며, 온간 원형컵 딥드로잉을 수행하여 각각의 성형성을 비교하였다[2]. Fuh-Kuo Chen등은 AZ31합금 판재를 사용하여 온도, 펀치 형상이 사각컵 딥드로잉의 성형성에 미치는 영향을 연구하였다. 온간 인장시험을 통하여 200℃에서 연신율이 크게 증가한다는 것을 확인하였고, 펀치의

1. 부산대학교 대학원 기계공학부
2. 한국기계연구원 재료기술연구원
교신저자: 부산대학교 기계공학부, cgkang@pusan.ac.kr

형상(펀치반경, 펀치코너반경)에 따른 성형성을 연구하였다[3]. 하지만 기존의 연구는 난성형 소재인 마그네슘 합금의 원형 또는 사각형의 단형(單形)에 관한 성형성 평가에 충실하여, 실제 산업제품과 같이 이형(異形) 많은 복잡한 형태의 성형성에 관한 연구는 부족하였다.

이에 따라 본 연구에서는 선진국 및 국내에서 활발히 연구하는 원형 또는 사각형의 단형(單形) 형상에 대한 마그네슘 AZ31B 합금의 성형성 연구와는 달리 핸드폰 케이스, 싱크대 등등과 같이 형상이 복잡한 산업제품을 고려하여 원형과 사각형의 이형(異形)의 형상을 동시에 성형함으로써 복잡한 형상에 대한 마그네슘 AZ31B 합금의 성형성을 연구하였다.

2. 실험 방법

실험에 사용된 프레스 장비는 정격하중 50TON 유압 프레스이며, 전압에 의해 유압량을 조절할 수 있다. 메인 실린더와 블랭크 홀더 실린더 유압이 구분되어 있으며, 펀치의 드로잉 스트로크에 따라 블랭크 홀딩력이 제어 가능하다.

Fig. 1에 원형 및 사각형 두 형상을 동시에 성형하는 실험의 개략도를 나타내었다. 실험에 사용된 소재는 0.4mm 두께의 마그네슘 AZ31B 판재를 사용하였다. 금형에 카트리지 히터를 삽입하여 금형을 가열하고, 금형을 통해 소재를 가열하였다. 금형의 상·하·측면에 단열재를 부착하여 단열하였다. 실험 목적물 형상은 원형 및 사각형의 두 형상사이 소재의 간섭으로 높이는 비교적 얕은 5mm로 정하였다. 블랭크는 AUTOCAD를 이용하여 원형 및 사각형에 대한 각각의 원형 블랭크를 설계하고, 두 원형 블랭크를 평행한 접선으로 연결하여 임의의 직사각형 블랭크를 설계하였다.

실험 공정 변수는 Table 1에 나타내었다. 펀치와 다이 사이의 공차는 소재 두께의 20%이며, 고온에서 소재의 연화로 인해 소착이 발생하여 Boron-Nitrate(BN) Spray로 이형 및 윤활하였다. 실험 온도는 200, 250, 300, 350, 400, 450℃, 속도는 20, 60, 100mm/min으로 실험하였다. 펀치 어깨 반경은 성형품의 얕은 깊이로 측벽의 직선부를 고려하여 r_p=1mm로 설계하였으나, Fig. 2의 성형 결과를 보듯이 날카로운 펀치 코너로 인해 파단되어, r_p=2mm로 수정하여 실험 결과를 비교하였다.

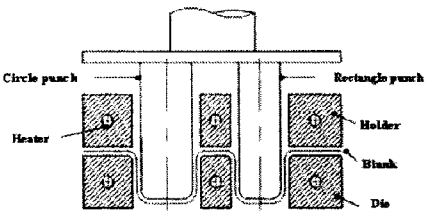


Fig.1 Schematic diagram of deep drawing

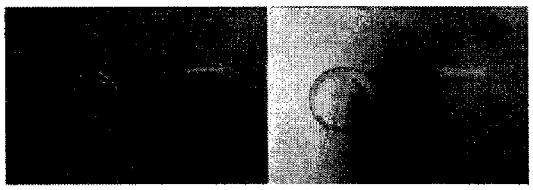


Fig.2 Shapes of cups after drawing. (a) r_p=1mm , (b) r_p=2mm ; 250℃-2.5KN-60mm/min

Table.1 Conditions of deep drawing experiment

Punch shoulder radius, r_p(mm)	-1, 2	
Punch diameter, D_p (mm)	Circle	Rectangle
	24	19.7×23.7 (width × height)
Die diameter, D_d (mm)	25.2	21.0×25.0 (width × height)
Die shoulder radius, r_d(mm)	2	
Velocity, V_p (mm/min)	20, 60, 100	
Temperature,(℃)	200, 250, 300, 350, 400, 450	
Lubricant	Boron-Nitrate(BN) Spray	
Blank Holding Force, BHF(KN)	2.0, 2.5, 3.0	
Blank Size	100×75(width× height)	

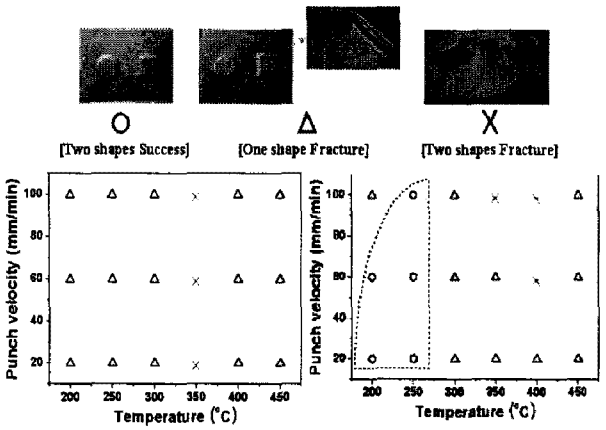
3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 펀치 어깨 반경, 블랭크 홀딩력, 온도 및 속도에 따른 실험 결과이다. Fig .3 (a) r_p=1mm일 때는 날카로운 펀치 어깨 반경에 과도한 응력집중으로 온도 및 속도에 관계없이 파단이 발생하였으며, (b) r_p=2mm일 때는 온도 200~250 ℃ 구간, 20 ~ 60 mm/min의 구간에서 양호한 형태의 컵 성형이 가능하였다.

Fig. 4는 펀치 스트로크에 따른 가공력 선도를 나타낸 것이다. Fig. 4 (b) r_p=2mm에서 알 수 있듯이 소재의 열적 연화 현상으로 인해 온도가 상승 할수록 가공력은 감소하며, 재결정 온도 이상의 온도에서 재결정 및 결정 성장에 의한 소재의 연화

로 300℃ 이후 가공력이 급격히 줄어들었다. (a) r_p=1mm에서는 성형깊이 3mm에 못미쳐 파단이 일어나 하중이 감소하는 경향을 보이며, 비교적 노이즈가 심하나 온도가 상승할수록 가공력이 감소하는 경향은 동일하다.

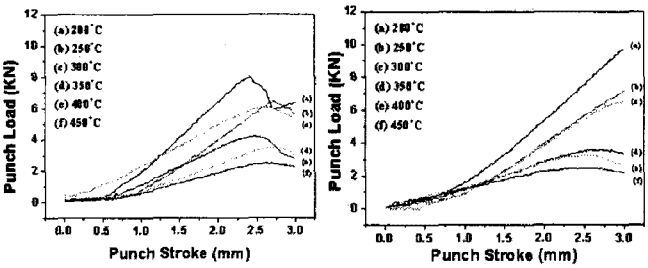
Fig. 5 제품의 두께 변화를 온도별로 나타내었다. Fig. 5 (a)는 원형 형상의 중심축을 기준으로 안쪽의 두께 변화를 나타낸다. 펀치 어깨 와 다이 어깨 지점에서 두께가 얇아지며, 온도가 상승할수록 소재 두께가 더 얇아 졌다. 그리고 안쪽 부위에서 소재의 구속으로 유입이 원활치 않아 바깥쪽 보다 펀치 어깨 지점의 두께 변화 가 더 심하였다. Fig. 5 (b)는 사각형 형상의 중심축을 기준으로 안쪽의 두께 변화를 나타낸다. 펀치 어깨부에서는 두께 변화가 심하지 않았으며, 다이 어깨부에선 대부분 파단이 발생하였다. 온도가 상승할수록 소재 두께가 더 얇아 지는 경향을 나타낸다. 또한 안쪽 부위의 소재의 구속으로 유입이 원활치 않아 두께가 급격히 얇아 지며, 파단이 발생하였다.



(a) r_p=1mm, 2.5KN (b) r_p=2mm, 2.5KN

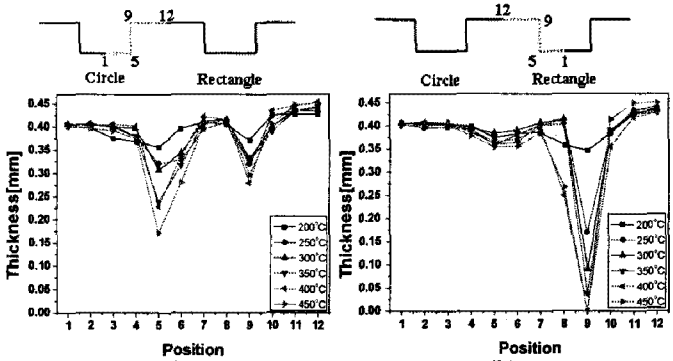
Fig.3 Results of defect analysis at depth 3mm

Fig. 6은 원형 형상의 ⑤번 지점에 대하여 온도에 따른 미세조직변화를 나타내었다. 미세조직은 아세트산(acetic acid) 10mL, 피크릭산(picric acid) 6g, 증류수(H2O) 10mL, 에탄올(ethanol) 95% 70mL를 혼합한 에칭액에 5~10초 에칭하여 에탄올에 세척한 후 500배로 관찰하였다.



(a) r_p=1mm, 2.5KN (b) r_p=2mm, 2.5KN

Fig.4 Relationship between punch stroke and load according to the temperature



(a) (b)

Fig. 5 Change of the cup thickness at various positions and temperature. (2KN – 20 mm/min)

온도가 상승할수록 재결정의 생성 및 성장으로 인해 입자의 크기가 점점 커지며, 이러한 조대한 입자는 소재를 연화 시킨다. 이러한 재결정 생성 및 성장으로 인한 소재의 연화 및 고온의 환경, 소성변형에 의한 가공 열발생 등에 의한 소재의 열적 연화는 유동응력을 감소시킨다.

Fig. 7은 블랭크 홀딩력 2.0KN, 속도 20mm/min 조건에서 3mm성형한 제품의 미세조직변화를 나타내었다. ①, ⑤번 지점에서는 결정입자들이 상온에서의 조직과 비교하였을 때 상당히 조대하며, 입계에 새로운 결정입자들이 발생함을 알 수 있다. 그리고 ③번 지점에서는 결정입자가 소재가 늘어난 방향으로 늘어났다. 특히 소성변형이 심하게 발생하여 파단이 발생한 ②, ④번 지점에서는 특히 기계적 쌍정이 많이 관찰되었다. 이러한 쌍정의 발생은 재료의 연성을 저하시켜, ②, ④부위에서 파단이 발생한다 또한 원형컵의 ④번 지점에서는 특히 동적 재결정이 활발하게 발생하고, 이러한 동정 재결정이 쌍정의 발생을 방해하는 것을 알 수 있다. 따라서 쌍정의 발생은 감소하고 재결정은 활발하게 발생하여 연성이 증가함을 알 수 있다[4].

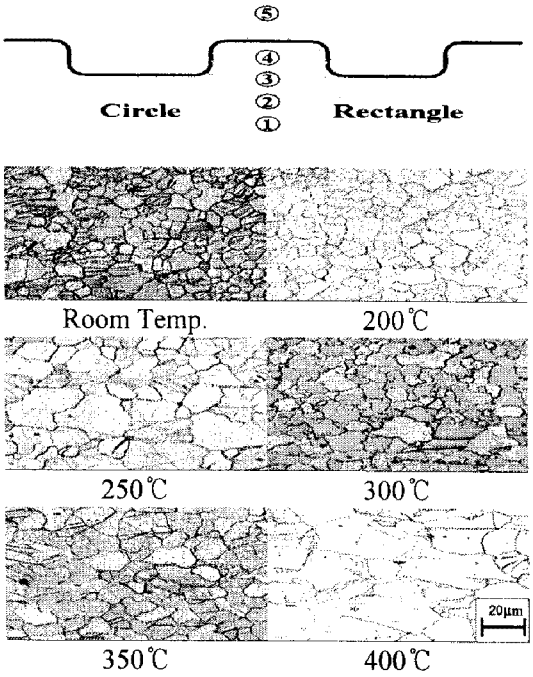


Fig.6 Change of microstructure according to temperature at position 5

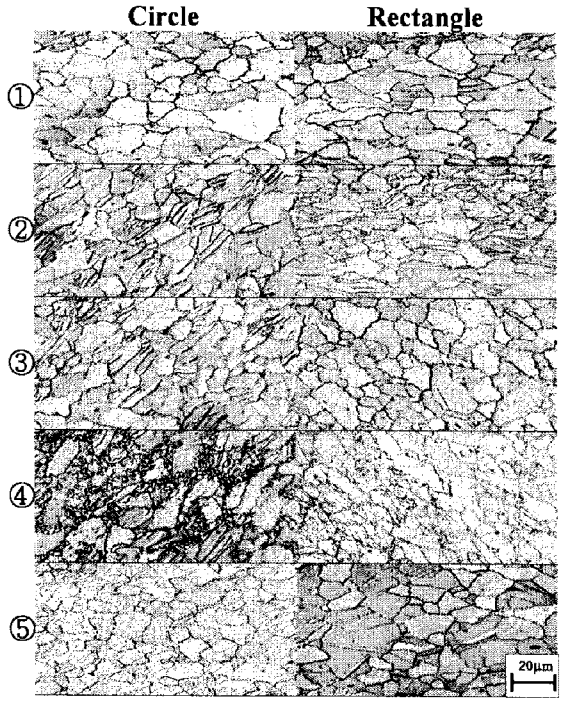


Fig.7 Microstructures of circle and rectangle cup at various positions, BHF=2.5KN, V_p=20mm/min, T=250℃

4. 결 론

마그네슘 AZ31B 합금의 0.4mm 판재를 이용하여 각각의 조건에 따른 딥드로잉 실험을 한 결과를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 소재의 열적 연화로 온도가 증가할수록 가공하중은 감소하며, 특히 350℃이상의 온도에서 재결정입자의 성장으로 조대한 미세조직 때문에 소재가 연화되어 가공하중은 급격히 감소하였다.

(2) 각 형상의 소성변형이 많이 발생하는 ②, ④번 지점에서 쌍정이 많이 관찰되었으며, ④번 지점에서는 동적재결정이 발생하여 쌍정의 생성을 억제하였다.

(3) 각 형상의 중심축의 안쪽의 두께 관찰 결과 다이와 펀치 코너부에서 두께변화가 심하였으며, 온도가 상승할수록 두께변화폭이 커졌다.

(4) 고온 작업환경에서 성형속도의 의존성이 크기 때문에 적정 성형속도가 요구되며, 실험에서 20, 60mm/min 속도로 성형할 때 가장 성형성이 우수 하였다. 또한 200, 250℃ 온도에서 성형성이 우수 하였다.

후 기

본 연구는 KIMM에서 진행하는 Mg중기거점 기술개발 사업으로 진행된 결과로써 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

[1] C.S. Roberts, 'Magnesium and Its Alloys', John Wiley and Sons, New York, 1960

[2] E. Doege, K. Droder, 'Sheet metal forming of magnesium wrought alloys-formability and process technology', JMPT, Vol. 115, 2001, pp.14-19

[3] S. Yoshihara, K. Manabe, H. Nishimura, 'Effect of blank holder force control in deep-drawing process of magnesium alloy sheet', JMPT, Vol. 170, 2005, pp.579-585

[4] Manuel Marya, Louis G. Hector, Ravi verma, Wei Tong, "Microstructure effects of Az31 magnesium alloy on its tensile deformation and failure behaviors", MSE, A418, 2006, 341-35