

AZ31B 마그네슘 박판의 원형 및 사각 딥드로잉 성형성 평가 Formability Evaluation of Circle and Rectangle Deep Drawing Process with AZ31B Magnesium Alloy Sheet

*권기태¹, #강충길², 강석봉³

*K. T. Kwon¹, #C. G. Kang(cgkang@pusan.ac.kr)², S.B.Kang

¹ 부산대학교 정밀기계공학과, ² 부산대학교 기계공학부, ³ 한국기계연구원

Key words : Sheet metal Forming ; Deep Drawing ; Punch shoulder radius ; Magnesium alloy sheet

1. 서론

마그네슘 합금 재료는 타 금속재료에 비해 비강도가 우수하며, 전자파 차폐능, 진동 감쇠능 및 재활용 측면에서 산업적으로 많은 수요가 발생하고 있다. 마그네슘 성형은 세계적으로 Die-casting 및 Thixoforming 공정이 주류이나 마그네슘 판재(AZ31B) 생산의 일반화로 환경문제, 제품의 성형 가능성, 품질 및 환경 친화적 측면에서 우수한 마그네슘 박판 성형 기술에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다.

연구동향을 살펴보면 AZ31 합금에서의 낮은 성형성을 향상시키기 위한 연구로는 다양한 온도에서의 성형성 연구가 이루어 졌으며, 딥드로잉 공정에서의 유한요소해석을 통한 성형한계예측과 Mg 합금의 고온 변형 기구 등에 관한 연구가 활발히 이루어 지고 있다[1][2].

또한 Tozawa 는 AZ31 마그네슘판재를 이용해 펀치 라운드와 온드를 변화시키 성형성을 실험하였으며 Koga 와 Paisarn 은 AZ31 판재를 이용해 펀치와 다이에 카본 코팅을 해서 드로잉성을 실험하였고 이에 따른 표면 거칠기를 연구하였다. Koga 등은 마그네슘 합금 판재의 전단 가공과 세이빙 가공의 특성을 연구하였으며 Aida 등은 AZ31 판재를 이용해 온도에 따른 r 값과 n 값을 비교하였고 드로잉 후 두께의 변화와 경도 변화를 실험적으로 연구하였다[3][4].

기존의 연구는 원형 또는 사각형 하나의 펀치에 의한 연구였으나, 본 연구에서는 원형 및 사각형의 두 펀치를 이용하여 판재성형을 할 때 최적 성형조건을 제시하고자 한다.

2. 실험방법 및 실험조건

2.1 고온 인장시험

기계적 특성을 평가하기 위한 두께 0.4mm AZ31 마그네슘 합금 소재는 일본 Sankyo Aluminum Industry 에서 제작한 것으로 화학 조성은 Table 1 과 같다. 시험 온도는 200℃, 250℃, 300℃, 350℃, 400℃ 다섯 구간으로 설정하였고, Cross head speed 는 각각 2, 20, 50, 100, 200 mm/min 으로 설정하여 0.0013, 0.0133, 0.0333, 0.0667, 0.1333 S-1 이 되게 하여 실험하였다. 실험에 사용된 시편의 치수 및 형상은 ASTM E80 subsize 로 제작하였다.

Table 1 Chemical composition (wt %) of magnesium alloy AZ31

Al	Zn	Zr	Mn	Fe
2.5	0.6	-	0.20	Under
~3.5	~1.4		~1.0	0.005
Si	Cu	Ni	Ca	Rare metal
Under	Under	Under	Under	Under
0.10	0.05	0.005	0.04	0.30

2.2 딥드로잉 실험 방법

드로잉 실험에 사용된 프레스는 25 톤 용량의 유압프레스를 사용하였다. 그리고 온간 성형을 위해 금형의 다이와 블랭크 홀더 내부에 카트리지 히터를 설치하여 성형다이의 온도를 증가시킬 수 있는 가열 장치를 설치하였고, 온도손실을 최소화 하기 위해 홀더 상단과 다이 바닥에 단열재를 부착하였다. Fig. 1 은 온간 딥드로잉 금형의 개략도를 나

타낸다.

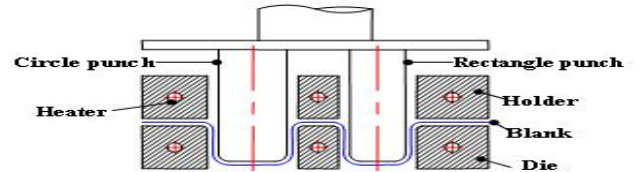


Fig. 1 Schematic diagram of warm deep drawing die

2.3 성형 조건에 따른 딥드로잉 실험

AZ31 합금의 성형 조건에 따른 성형성 평가를 위해 온간 및 열간에서 딥드로잉 실험을 하였다. 250℃ 이상의 고온에서 소재의 연화로 인한 소착이 발생하여 Boron Nitrate (BN) 스프레이를 이용하여 이형 및 윤활하였고, 금형 클리어런스는 20%이다. 실험에 사용된 소재의 두께 및 크기는 각각 0.4mm, 100 × 75(가로 × 세로)mm 이다. 실험은 블랭크 홀딩력이 일정하게 작용할 때, 소재 온도 및 속도에 따라 펀치 어깨 반경이 각각 1mm, 2mm 인 원형 및 사각형 펀치를 동시에 1 회 드로잉 하여 실험하였다. Table 2 에 성형 조건을 나타내었다.

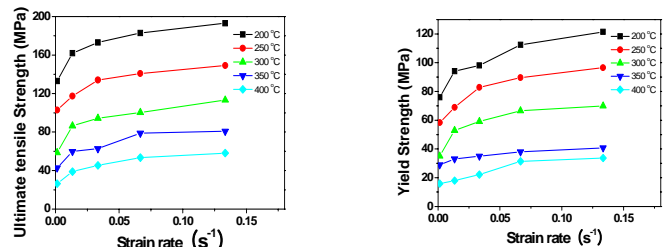
Table 2 Experiment condition for deep drawing

Punch shoulder radius, rp (mm)	1, 2
Punch diameter, dp (mm)	Circle Rectangle
Die diameter, Dd (mm)	24 19.7 × 23.7(width×height)
Die shoulder radius, rd (mm)	25.2 21.0 × 25.0(width×height)
Thickness, (mm)	2
Velocity, Vp (mm/min)	0.4
Temperature, (°C)	20, 60, 100
Lubricant	200, 250, 300, 350, 400, 450
Blank Holding Force, BHF (KN)	Boron Nitrate(BN) Spray
Blank Size	2.0, 2.5, 3.0
	100 × 75 (width×height)

3. 실험결과 및 고찰

3.1 고온 인장시험 결과

온도 및 변형률 속도에 따른 고온인장시험 결과를 Fig 2 에 나타내었다. Fig. 2 (a), (b), (c) 세 변수 모두 온도가 증가하면 같은 변형률 속도에서 값이 감소하는 것을 알 수 있다. 변형률 속도가 증가하면 기울기는 감소하지만 점차 값이 증가하는 것을 볼 수 있다. 가공 경화 지수 (n) 값 역시 온도와 변형률 속도에 대해 비슷한 양상을 보이나 Fig. 2 (d)와 같이 온도가 증가함에 따라 가공 경화 지수가 감소하는 경향이 완만함을 알 수 있다. 이를 통해 고온에서 재료의 연화로 인해 유동응력이 감소하는 것을 알 수 있다. [5].



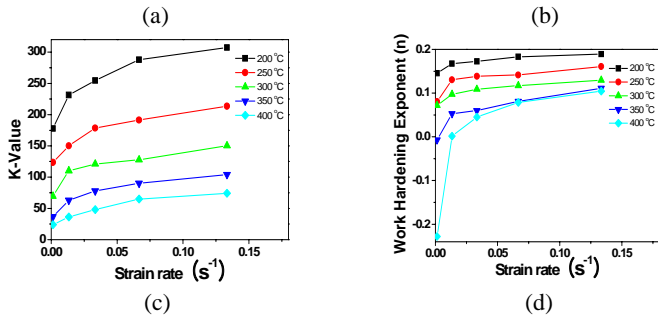


Fig. 2 Results of tensile test according to the various strain rate, (a) Yield Stress, (b) UTS, (c) K-Value, (d) Work hardening exponent (n)

3.2 온도에 따른 딥드로잉 성형성 평가

200, 250, 300, 350, 400, 450°C 온도에서 20, 60, 100 mm/min 속도, 블랭크 홀딩력(BHF) 2.0, 2.5, 3.0KN 및 펀치 어깨 반경을 1mm, 2mm 로 달리 하여 실험을 하였다. 온도 별로 살펴볼 때, Fig. 3(b)에서 보듯이 200°C, 250°C에서는 속도에 관계없이 성형이 잘 되었으며, 300°C 이상의 온도에서는 대부분이 성형이 잘 되지 않았다. 이는 Fig. 5 에서 알 수 있듯이 동적 재결정 생성과 회복으로 인해 결정립자 성장으로 조대해진 결과라고 사료된다. [6] 고온에서 조대해진 결정립자 및 재료의 연화로 인한 펀치력 감소가 Fig. 4 의 그래프에서 나타난다.

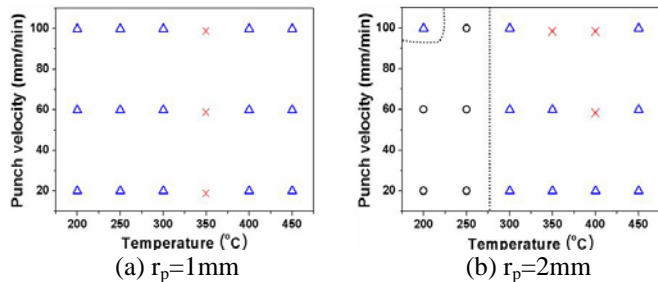


Fig. 3 Result of defect analysis at BHF=2.5KN, T=250°C, h=3mm (○=Success; △=one shape fracture; ×=two shape fracture)

3.3 펀치 어깨 반경에 따른 딥드로잉 성형성 평가

펀치 어깨 반경이 1mm 일때는 한계 성형깊이가 2mm 였고, 3mm 이상 성형 시 소재가 날카롭게 블랭킹(blanking) 되는 현상이 나타났다. 펀치 어깨 반경이 2mm 일때는 블랭킹(blanking) 현상 없이 한계성형 깊이가 3mm 였고, 3mm 이상 성형 시 두 펀치 형상 안쪽에서 부분적인 파단이 일어났다. Fig. 4 (a)에서 2mm 를 넘어서면서 하중이 감소하는 경향은 재료의 파단에 의한 것이며, (b)에서는 300°C 이상 고온에서 재료의 연화로 인해 펀치력이 감소한다.

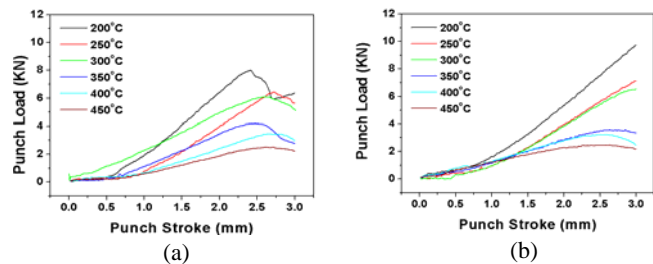


Fig. 4 Relationship between punch stroke and load according to the temperature at (a) r_p=1mm (b) r_p=2mm (BHF=2.5KN, V_p=60mm/min)

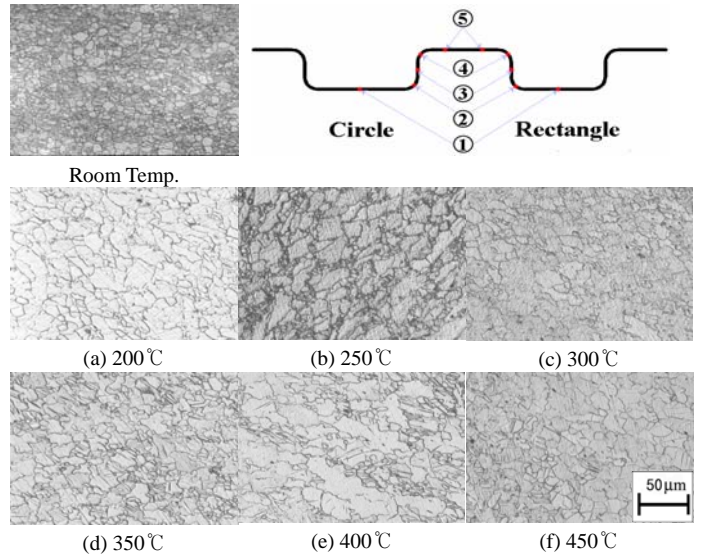


Fig. 5 Microstructures of rectangle at position 4

4. 결론

원형 및 사각의 펀치를 딥드로잉 하여 제품의 성형성을 분석하였고, 실험 결과는 다음과 같다.

1. 펀치 어깨 반경이 각각 1mm, 2mm 일 때 한계 성형높이는 각각 2mm, 3mm 로써 펀치 어깨 반경이 1mm 일 때 보다 성형성이 50%증가 하였다.
2. 인장시험 결과는 고온일수록 재료의 연화에 의해 인장강도, 항복강도 및 K-value 가 낮아 졌다.
3. 300°C이상의 온도에서 성형성이 나쁜 것은 동적 재결정 및 회복에 의한 조대한 결정립 성장으로 사료된다.
4. 마그네슘 합금 성형성의 가장 큰 공정변수는 온도임을 알 수 있다.
5. 300°C이상의 고온에서 재료의 연화와 조대한 입자로 인하여 펀치 하중이 급격하게 감소하였다.

후기

본 연구는 KIMM 에서 진행하는 Mg 중기거점 기술개발 사업으로 진행된 결과로써 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

1. Shoichiro Yoshihara, Ken-ichi Manabe, Hisashi Nishimura "Effrct of blank holder force control in deep-drawing process of magnesium alloy sheet", JMPT, 170, pp.579-585, 2005
2. S.H. Zhang, K.Zhang, Y.C.Xu, Z.T. Wang, Y.Xu, "Deep-drawing of magnesium alloy sheets at warm temperatures", JMPT, Vo.185, Issues 1-3, 30 , pp. 147-151, 2007
3. 이용길, 김종호, 이종섭, "마그네슘합금 판재의 온간 디프 드로잉성에 관한 연구", 한국소성가공학회지, pp.117~120, 2003.
4. Yasuhisa Tozawa, 2001, "Deep drawing of magnesium alloy sheets", JILM, Vol. 51, NO. 10, pp.492-497
5. Gerrit Kurz "Heated Hydro-Mechanical Deep Drawing of Magnesium Sheet Metal", Magnesium Technology, pp67-71, 2004
6. W.J.Liu, V.Kao, E.Essadiqi, "Dynamic recrystallization of az31 Magnesium Alloy During Torsion Deformation at Elevated Temperatures", Magnesium Technology, pp73-78, 2004