한국소성가공학회 2005년도 춘계학술대회 논문집 pp. 407~410

다이캐스팅 공정의 대체를 위한 마그네슘판재의 온간, 열간 딥드로잉 성형성 평가

추동균[1]· 오세웅[1]· 이준희[2]· 강충길[#]

The Drawbility Estimation in Warm and Hot Sheet Forming Process of Magnesium for Substitution of Die-casting Process

D. K. Choo, S. W. Oh, J. H. Lee, C.G. Kang

Abstract

The drawability of AZ31B magnesium sheet is estimated according to the variable temperatures (200, 250, 300, 350 and 400 ℃), forming speed (20, 50, 100 mm/min), thickness (0.8, 1.4 t), blank holding force (1.0, 1.4, 1.7kN). The deep drawing process (DDP) of circular cup is used in forming experiments. The results of deep drawing experiences show that the drawability is well at the range from 250 to 300 ℃, 50 mm/min forming speed and 1.4kN blank holding force. The 0.8t magnesium sheets were deformed better than 1.4t. BHF was controlled in order to improve drawability and protect the change of cup thickness. When BHF was controlled, tearing and thickness change were decreased and LDR was improved from 2.1 to 3.0.

Key Words : Drawability, AZ31B Magnesium Sheet, Deep Drawing Process, Limit Drawing Ratio, Controlled BHF

1. 서 론

전 세계적으로 자동차 및 항공기 등 운송 수단의 경량화, 재활용, 연비 향상 및 환경적인 측면에서 차세대 친환경 경량소재를 이용한 부품 성형 공정에 관한 연구가 관심의 대상이 되고 있다. 특히 마그네슘 합금은 알루미늄 합금과 연강을 대체할 차세대 소재로써 각광을 받고 있다[1]. 마그네슘의 비강도는 알루미늄 합금의 2/3, 강의 1/4에 불과할 뿐만 아니라 전자파 차폐능, 재활용 측면에서 산업적으로 많은 수요가 발생 하고 있기 때문이다. 특히 마그네슘은 소성가공이 어려우나 최근 박판 생산이 일반화 되면서부터 차세대 환경 친화형 비철 소재를 이용한 성형 신기술로 마그네슘 판재 성형에 대한 연구의 필요성이 증대되고 있다[2]. 현재 마그네슘 성형은 세계적으로 다이캐스팅이 주류이나 향후 마그네슘 판재(AZ31) 생산이 일반화 되면서 환경문제, 제품의 성형 가능성, 품질 및 환경 친화적 측면에서 우수한 마그네슘 박판 성형 기술에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. Yoshihara 의 펀치 국부 냉각 방식[3], Tagawa 의 펀치 반경의 영향[4], Koga 의 금형의 코팅 방법[5] 에 대한 연구등 현재 진행되고 있는 연구들이 주로 펀치 및 금형에 대한 연구인 것에 비해 딥드로잉의 중요한 성형인자 중의 하나인 BHF 에 관련한 연구는 부족한 실정이다. 그러므로, BHF 에 관련하여 마그네슘 판재의 딥드로잉 성형성 증대에 대한 연구를 수행하였다.

1. 부산대학교 정밀기계공학과
2. 동아대학교 신소재공학과
#. 부산대학교 기계공학부, E-mail: cgkang@pusan.ac.kr

2. 실험 방법

2.1 성형 조건에 따른 딥드로잉 성형성 평가

본 실험에서 사용된 마그네슘 판재 AZ31B 는 일본 Sankyo Aluminum Industry 에서 제작한 두께 1.4t 판재로서 조성 성분은 Table 1 과 같고 인장실험을 통해 구한 LDR 은 Table 2 와 같다[6].

Table 1 Chemical composition (wt%) of magnesium alloy sheet (AZ31B)

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

Table 2 Limit drawing ratio according to the temperature

T(°C)	LDR	T(°C)	LDR
R.T	2.24	300	2.158
200	2.22	350	2.199
250	2.16	400	2.166

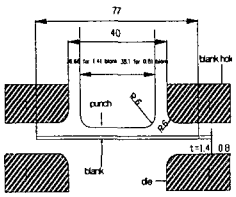


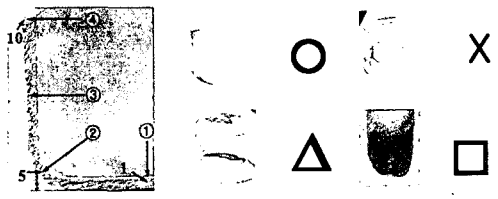
Fig. 1 Schematic of die structure for deep drawing experiments.

Table 2 에서 구한 LDR과 folding-criteria를 적용하여 딥드로잉 성형 후 컵의 높이 h를 30mm 로 정하고 블랭크 크기를 77mm 로 하였다[7].

실험에 사용된 장비는 Fig. 1 와 같다. Fig. 1 에서와 같이 블랭크의 두께가 바뀜에 따라 펀치의 직경을 0.8t 블랭크 일 때 38.1 mm 1.4t 블랭크 일 때 36.66 mm 가 되게 변화시켜 공차가 20%를 유지할 수 있게 실험 하였다. 딥드로잉 실험은 다음과 같은 네 가지 조건 별로 시험을 수행하여 성형성을 평가 하였다.

① 온도 (200, 250, 300, 350, 400 ℃)
② 펀치 속도 (20, 50, 100 mm/min)
③ 블랭크 두께 (0.8, 1.4 t)
④ 블랭크 홀딩력 (1.0, 1.4, 1.7 kN)

Fig. 2는 딥드로잉 성형 후 컵의 두께변화측정 (1~10) 과 미세조직을 관찰한 부분 (①~④) 의 위치를 표시하고 성형의 형상에 따라 도형으로 간단하게 나타낸 그림이다.

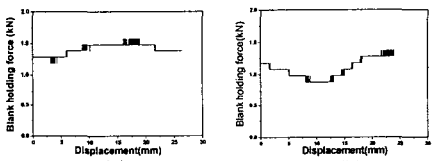


(a) (b)

Fig. 2 (a) Cutting section of the cup after DDP, (b) Results of DDP

2.2 BHF 조절을 통한 성형성 개선

딥드로잉 실험에 사용된 장비는 정격하중 50 ton 인 프레스이다. 펀치의 변위에 따라 블랭크 홀더에 걸리는 전압의 크기를 mm 단위로 적용할 수 있게하여 BHF 의 크기를 조절할 수 있도록 제작한 프레스를 사용하였다.



(a) (b)

Fig. 3 Comparison of (a) constant BHF and (b) controlled BHF

Fig. 3과 같이 일정한 BHF 에서 컵 두께를 측정해 가장 두께가 얇아 졌던 부분 에서의 두께변화를 막고 파단을 방지하기 위해 BHF를 가장 낮게 설정하여 실험을 하였다[8].

3. 결과 및 고찰

3.1 성형조건에 따른 딥드로잉 성형성 평가

딥드로잉 실험 시 사용되는 용어는 Table 3과 같이 정리하였다.

200, 250, 300, 350, 400 ℃에서 딥드로잉 실험을 실시 하였고, 그에 따른 Punch stroke-load 그래프와 제품의 형상은 Fig. 4 (a)와 fig. 6과 같고 미세조직은 Fig. 5과 같다. 온도 별로 고찰해 보면 250, 300, 350 ℃ 구간에서 비교적 양호한 컵의 형상이 나타났고, 그 이하의 온도인 200 ℃에서는 약간의

파단을 관찰할 수 있었고, 400 ℃에서는 컵의 형태는 양호 하였으나, 1이하의 값을 가지는 Fig. 5의 미세조직을 보면, 온도가 상승할 수록 같은 지점에서의 결정립의 크기는 커짐을 관찰할 수 있고, 소재의 변형이 크게 일어나는 ③, ④지점에서 동적 재결정이 활발하게 발생하는 것을 관찰할 수 있다. 실험 조건은 t_b=0.8 t, d_b=77 mm, V_d=50 mm/min으로 수행하였다.

Table 3 Notations

Thickness of blank	T_b	Punch load	P_l
Deformation speed	V_d	Blank size	d_b
Temperature	T_d	Punch stroke	S_p

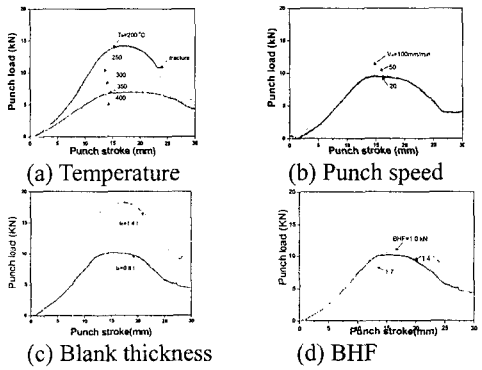


Fig. 4 Punch stroke-load graphs

펀치 속도에 따른 stroke-load 선도 Fig. 4-(b)에서 보이는 300 ℃ 이외의 온도 구간에서는 20, 100 mm/min 영역에서 파단이 일어나는 것을 뒤의 Fig. 7에서 볼 수 있었는데 이는 너무 낮은 속도에서는 가공경화지수가 낮아서 파단이 일어나고, 너무 높은 속도에서는 미세조직을 관찰한 결과처럼 결정립계의 파단으로 인해 성형이 되지 않음을 알 수 있기 때문에 적절한 성형 속도가 필요한 것을 알 수 있다. 실험조건은T_d=300 ℃, t_b=0.8 t, d_b=77 mm 이었다.

공차를 20%로 동일하게 두고 실험을 한 각기 다른 두께를 가지는 블랭크에 대해 실험을 해 보았을 때의 stroke-load 선도와 제품의 형상이 Fig. 4 (c)와 Fig. 7에 나타나 있다. 동일한 조건에서 실험에서 확인할 수 있다. Fig. 6의 제품 형상을 보면, T_b=0.8t 소재에는 미세한 주름이 보이는데 이는 얇은 소재일수록 높은 BHF를 필요로 한다는 것을 알 수 있다. Fig. 7에서 보면 두꺼운 소재일수록 펀치의 라운드 부에 미세한 균열이 생기는 것을 볼 수 있는데, 이는 같은 정도의 변형을 받을 때 두꺼운 소재가 많은 변형을 받기 때문에 생기는 현상이다. 이를 통해 얇은 소재는 BHF를 두꺼운 소재는 변형량에 유의해서 가공을 해야 한다는 사실을 알 수 있다. T_d=250 ℃, d_b=77mm, V_d=20 mm/min 조건에서 실험 하였다.

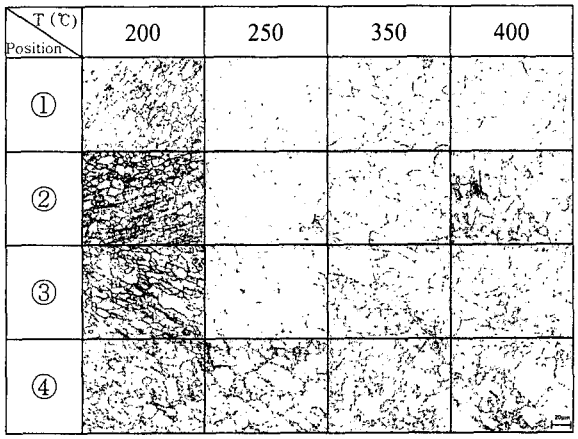


Fig. 5 Change of microstructure according to the temperature

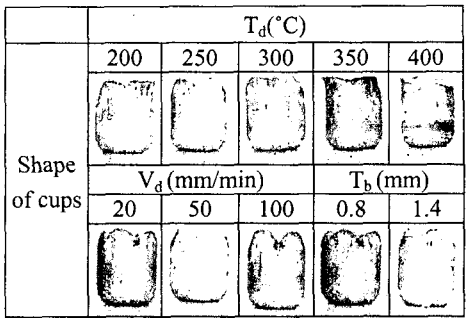


Fig. 6 Shape of cups after the deep drawing in each condition

이상의 데이터를 바탕으로 Fig. 7에 실험 조건별 맵을 도표로 작성해 보았다. 앞에서 결론 내린 바와 같이, 온도, 속도, 블랭크 치수별 결과를 재확인할 수 있다. Fig. 4 (b)는 성형된 형태별로 구분지어 약식으로 표시한 것이다. Fig. 5에서 관찰한 바와 마찬가지로 영역 ③ 부분부터 동적 재결정이 활성화 되는 것을 관찰할 수 있다. 동적 재결정으로 인하여 소재의 연화가 가속화 되며, 이것이 컵의 벽면에서 소재의 두께변화를 일으키고 결국 찢어짐을 일으키는 주 원인이 된다는 것을 알 수 있다. 200 ℃에서는 재결정이 일어나지 않아 성

형이 되지 않는다.

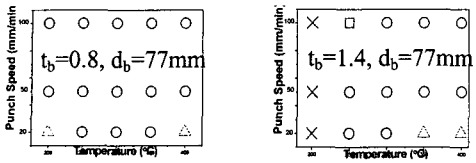


Fig. 7 Effect of forming speed and temperature on shape of cup after the DDP

3.2 BHF 조절을 통한 성형성 개선

실험을 통해 드로잉 후 컵의 두께를 측정해 본 결과가 Fig. 8에 나타나 있다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 컵의 라운드부분인 5 영역이 지나는 부분부터 컵의 두께가 급격하게 얇아져서 6, 7 지점에 왔을 때가 가장 얇아지는 것을 확인할 수 있었다. 이 점에 주목하여 BHF를 5, 6, 7 지점에서 가장 낮은 값을 Fig. 3 (b)와 같은 크기를 가지게 하도록 하여 실험한 결과와 일정하중의 BHF를 적용하여 실험한 결과의 비교가 Fig. 9에 나타나있다.

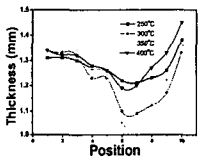


Fig. 8 Change of the cup thickness after the deep drawing test under the various temperature

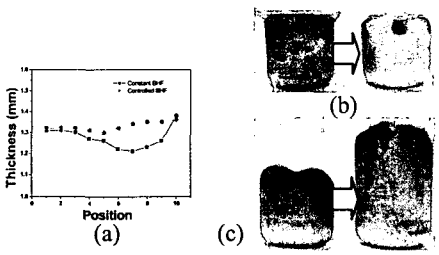


Fig. 9 Comparison between constant BHF and controlled BHF: (a)Change of the thickness; (b)Test condition; 350 ℃, 20 mm/min, (c) Test condition; 250 ℃, 50 mm/min.

Fig. 9 (a)에서 보여지는 바와 같이 두께 변화가 10% 이상 감소된 것을 볼 수 있다. (b)는 일정한 BHF에서 350 ℃, 20 mm/min으로 성형하였을 때 컵의 옆 부분에 파단이 일어났던 것이 BHF를 조절하여 성형이 잘 된 것을 나타내며, (c)는 인장실험으로 구한 LDR로 성형이 되었던 컵이 컵 높이 55mm, LDR 3.0으로 성형이 된 것을 나타낸 그림이다.

4. 결 론

본 연구에서는 인장실험을 통해 얻은 물성치를 바탕으로 조건별 딥드로잉 성형성을 평가하고 BHF를 조절하여 성형성 향상에 관한 연구를 하였다. 결과는 아래와 같다.

(1) 온도가 상승하면 이방성 계수와 LDR이 낮아져 가공성은 낮아지고 귀생김 현상은 줄어든다. 350 ℃이상이 되면 이방성 계수가 1 이하로 되면서 귀생김 현상이 더 심해진다.

(2) 속도에 따른 가공경화지수와 변형률 민감도에 인해 온도마다 적합한 가공속도가 다르다.

(3) 일정한 BHF를 적용하여 실험을 하였을 때에 비해 BHF를 제어하여 적용하였을 때 컵의 두께 변화가 10%이상 감소 하였다.

(4) BHF를 제어하여 성형에 실패하였던 조건에서 성형에 성공할 수 있었고, LDR 3.0인 원형컵을 성형할 수 있게 되었다.

후 기

본 연구는 동아대학교 신소형재 가공 청정공정 개발 연구센터의 지원에 의해 행해졌으며, 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

[1] 원성연, 오상균, 2004, 2004 년도 한국소성가공학회 춘계학술대회논문집, pp. 53~56.

[2] E. Doege, K. Dröder, 2001, Sheet Metal Forming of Magnesium Wrought Alloys-Formability and Process

[3] S. Yoshihara., H. Nishimura, 2003, J. Mater. Proc. Tech., vol. 142, pp.609~613.

[4] S. Tagawa., N. Koga., 2003, Journal of Japan Institute of Light Metal., vol. 53, pp. 152-156.

[5] N. Koga., 2001, Journal of Japan Institute of Light Metal., vol. 51, pp. 441-445.

[6] 추동균, 김우영, 이준희, 강충길, 2004, 한국소성가공학회 추계학술대회논문집, pp. 256-259.

[7] 김낙수, 2002, 소성 가공과 해석, pp.35-36.

[8] L. Shulkin., R. Posterado., A. Mustafa., L. Gary., 2000, J. Mater. Proc. Tech., vol. 98, pp.7-16.