

AZ31B 마그네슘 판재의 원형 및 사각형 동시변형 공정에서 블랭크 홀딩력이 두께변화에 미치는 영향

권기태¹ · 강석봉² · 김현호³ · 강충길[#]

The Effect of Blank Holding Force on Thickness Variation in Simultaneous Sheet forming process with Circle and Rectangle Shape of AZ31B Magnesium Sheet

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

(Received August 4, 2009 / Revised September 3, 2009 / Accepted September 8, 2009)

Abstract

The effect of blank holding force on thickness variation in simultaneous sheet forming with rectangular shape and circular has been demonstrated. Because has investigated an effect on formability of magnesium sheet, in this paper, the effect of punch radius on formability have been thinning, various crack phenomena and forming velocity. By simultaneously forming process with circular and rectangular shape, the data of simultaneously forming process with circular and rectangular shape will used to a part development such as notebook computer case, cell phone and bipolar plate of fuel cell.

Key Words : Circular and Rectangle Shape Forming, Thickness Variation, Blank Holding Force Control

1. 서론

마그네슘 합금은 비강도, 비강성, 주조성, 기계 가공성, 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. 또한 노트북, 휴대폰 등의 휴대용 전자기기의 보급이 확대됨에 따라 인체에 유

해한 전자파를 효과적으로 차단하면서 재활용이 가능하고 내구성을 겸비한 새로운 소재에 대한 요구가 증대하면서 기존에 플라스틱으로 제조되던 휴대용 전자기기 케이스가 점차 마그네슘 합금 제품으로 대체되고 있다[1, 2].

현재 전자부품의 마그네슘합금 부품은 고도의 부품 정밀도와 치수 안정성, 그리고 표면특성을 요구하는데, 다이캐스팅 및 반응고/반용융 성형에 의해 제조되는 부품은 표면에 잔존하는 기공 등의 구조결함 때문에 표면처리를 포함하는 후처리 공정에서 부품의 불량률이 높게 되며, 생산성이 감소하는 문제가 있다.

이를 극복하기 위해 최근 일본에서는 휴대용 전자부품을 마그네슘합금 판재를 이용, 성형함으로써 제품을 출시하고 있다. 판재 성형에 의해 부품을 제조할 경우 구조결함이 없고, 우수한 표면

1. 부산대학교 기계공학부 대학원

2. KIMS

3. 부산대학교 기계공학부 대학원

교신저자: 부산대학교 기계공학부, E-mail: cgkang@pusan.ac.kr

조건을 유지할 수 있어 생산성이 높을 뿐 아니라 인건비를 감소시킬 수 있는 등 기업의 경쟁력을 강화시킬 수 있다.

그러나 마그네슘합금이 가지고 있는 난성형성 및 열전달의 특성 때문에 프레스가공 및 프레스포징에 의해 미세제품을 생산하는 기술은 극히 제한적이며, 향후 성형기술 및 제품 개발이 필요한 실정이다[3, 4].

최근에 발표되는 연구 결과들을 살펴보면, 기존의 주조분야뿐만 아니라 판재성형기술에 대한 내용이 크게 증가하고 있다. 특히 E. Doege 등[5]은 여러 종류의 마그네슘 합금(AZ31, AZ61, MN150)의 온간 성형성 연구를 하였다. 온간 원형킵 딥드로잉을 수행하여 변형률 속도에 따른 인장시험을 통한 변형률 속도가 유동 응력에 미치는 영향을 고찰하여 변형률 속도가 빠르면 최대 변형률이 감소한다는 것을 보였다.

Fuh-Kuo Chen 등[6]은 AZ31합금 판재를 사용하여 온도, 펀치 형상이 사각킵 딥드로잉의 성형성에 미치는 영향을 연구하였다. 또한 온간 인장시험을 통하여 200℃에서 연신율이 크게 증가한다는 것을 확인하였고, 펀치의 형상(펀치반경, 펀치코너반경)에 따른 성형성을 연구하였다.

Yoshihara 등[7]은 원형킵 딥드로잉 공정 동안 블랭크 홀딩력을 제어하여 마그네슘 AZ31B 합금 판재의 성형성을 향상시킬 수 있다는 것을 보였으며, 300℃온도에서 블랭크 홀딩력을 제어하여 한계드로율비를 2.09에서 2.14까지 개선시켰다. 그러나 기존의 연구는 마그네슘 소재의 딥드로잉 공정에서 원형 또는 사각형의 단형형상에 관한 성형성 평가가 대부분이며, 이형이 많은 복잡한 형태의 성형성에 관한 연구결과는 제한적이다.

Kwon[8] 등은 제1공정에서 직사각형 펀치를 이용하여 성형한 제품을 제2공정에서 원형과 직사각형을 동시에 성형하는 공법을 연구하였다. 그러나 제2공정에서 사각형과 원형형상을 동시에 성형하는 공정을 연구하지 못하였다.

따라서 본 연구에서는 AZ31B 합금을 이용하여 원형과 사각형상을 가진 이형의 형상을 동시에 성형할 때 두께변화 예측 및 문제점을 파악함으로써 향후 복잡한 형상의 부품성형시 금형설계에 응용하도록 하였다. 또한 펀치의 반경은 성형성에 크게 영향을 미치기 때문에 사각 형상과 원형 형상을 동시에 성형할 때 펀치반경이 성형성에 미치는 영향을 검토하였다.

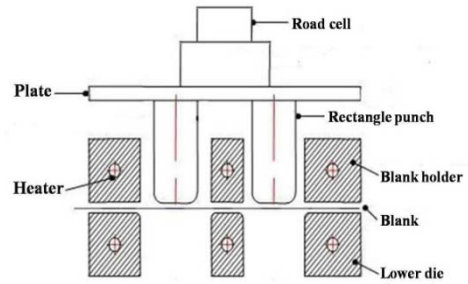


Fig. 1 Schematic diagram of deep drawing

Table 2 Conditions of deep drawing experiment

Punch shoulder radius, r_p (mm)	1, 2	
Punch diameter, D_p (mm)	Circle	Rectangle
Die diameter, D_d (mm)	24	19.7×23.7 (width × height)
Die shoulder radius, r_d (mm)	25.2	21.0×25.0 (width × height)
Thickness, (mm)	2	
Velocity, V_p (mm/min)	0.4	
Temperature, (℃)	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)	

2. 실험방법 및 내용

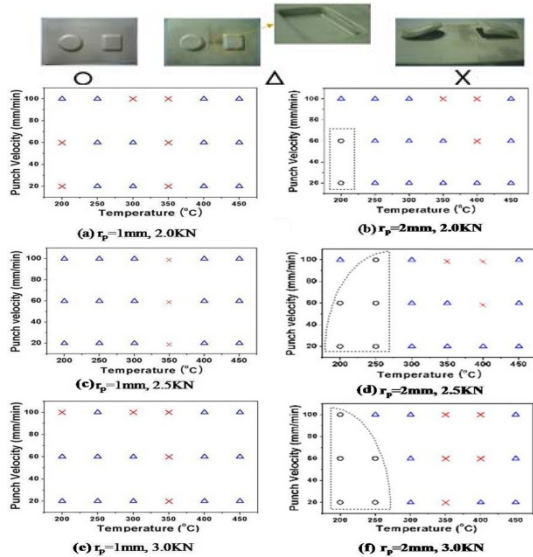
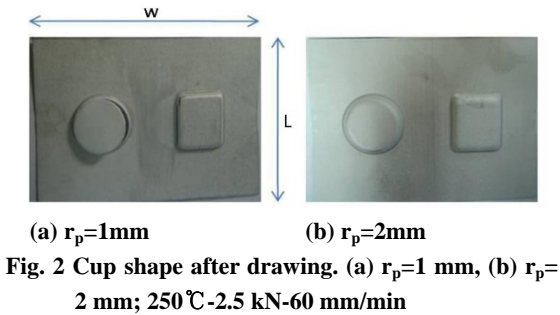
2.1 성형 조건에 따른 성형성 평가

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

Fig. 1 은 원형 및 사각형 두 형상을 동시에 성형하는 실험의 개략도를 나타낸 것이다.

실험에 사용된 소재는 0.4mm, 1.0mm 두께의 마그네슘 AZ31B 판재를 사용하였다. 금형에 카트리지 히터를 삽입하여 금형 온도를 제어하였으며, 상온상태의 판재를 하부금형에 장착하여 소재를 가열하였다. 금형의 상·하·측면에 단열재를 부착하여 금형의 온도저하를 예방하였다. 원형 및 사각형상이 동시에 성형 가능 하도록 금형이 설계되어 있으며, 성형 깊이는 5mm로 제한하였다. 실험 공정 변수는 Table 2에 나타내었다.

펀치와 다이 사이의 공차는 소재 두께의 20%이며, 고온에서 소재의 연화로 인해 소착이 발생하였으며 Boron-Nitrate(BN) Spray로 윤활하였다.



소재 온도는 200, 250, 300, 350, 400, 450 $^\circ\text{C}$, 속도는 20, 60, 100 mm/min으로 실험하였으며 펀치 어깨 반경은 성형 깊이의 직선부를 고려하여 $r_p=1, 2\text{ mm}$ 로 각각 설계하였다.

Fig. 2의 성형결과에서 보여주는 바와 같이 $r_p=1\text{mm}$ 인 경우는 곡면부에 파단이 발생하여 $r_p=2\text{mm}$ 로 수정하여 실험을 수행하고 그 결과를 $r_p=1\text{mm}$ 의 결과와 비교하였다.

Fig. 3은 드로잉 깊이를 3mm로 성형하였을 때, 펀치 어깨반경, 블랭크 홀딩력, 온도 및 속도에 따른 실험결과이다.

Fig. 3 (a), (c), (e)에서 보여주는 바와 같이 $r_p=1\text{mm}$ 일 때는 곡면부에서 과도한 응력집중에 의해 온도 및 속도에 관계없이 파단이 발생하였다.

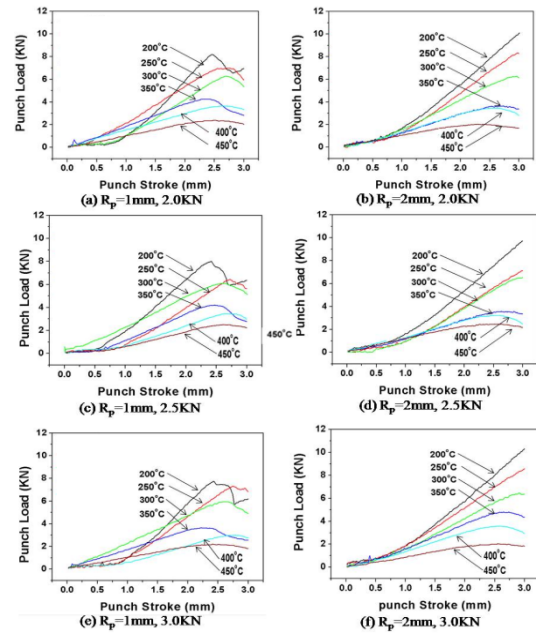


Fig. 3 (b), (d), (f)에서 $r_p=2\text{mm}$ 일 때는 온도 200~250 $^\circ\text{C}$, 성형속도 20~60mm/min에서 성형이 가능하였다. $r_p=2\text{mm}$ 인 경우 250 $^\circ\text{C}$ 이내에서도 성형이 가능함을 알 수 있었다.

Fig. 4는 드로잉 깊이를 3mm로 성형하였을 때, 펀치 스트로크에 따른 가공력 선도를 나타낸 것이다. Fig. 4(b), (d), (f)에서 알 수 있듯이 소재의 열적 연화 현상으로 인해 온도가 상승 할수록 가공력은 감소하며, 재결정 온도 이상의 온도에서 재결정 및 결정 성장에 의한 소재의 연화로 300 $^\circ\text{C}$ 이후 가공력이 급격히 줄어들었다. Fig. 4 (a), (c), (e)을 통하여 성형깊이가 3mm 이하에서는 파단이 일어나 하중이 감소하는 경향을 확인 할 수 있다.

Fig. 5는 블랭크 홀딩력 2.0kN, 속도 20mm/min 조건에서 3mm성형한 제품의 두께 변화를 온도의 변화에 따라서 나타낸 것이다.

Fig. 5 (a), (b)에서는 원형 형상의 중심축을 기준으로 왼쪽과 오른쪽의 두께 변화를 나타내었다. 온도가 상승할수록 원형 형상의 왼쪽과 오른쪽 곡면부에서 두께가 얇아지는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 오른쪽 부위에서 소재의 구속으로 유입이 원활치 않아 바깥쪽 보다 펀치어깨 지점의 두께 변화가 더 심하였다. Fig. 5 (c), (d)는 사각

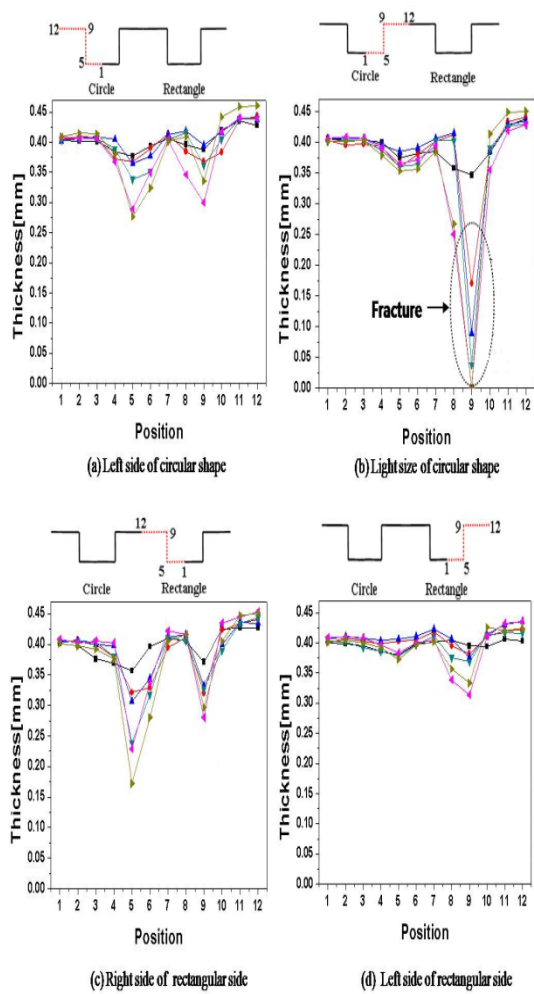


Fig. 5 Change of the thickness of deep drawing samples at various positions for variation of temperature (2kN-20mm/min)

형 형상의 중심축을 기준으로 왼쪽과 오른쪽의 두께 변화를 나타낸다. 사각형 형상의 두께 변화는 원형보다 크지 않다. 또한 펀치 어깨 지점 보다 다이 어깨 지점에서 두께가 변화가 증가하였으며, 온도가 상승할수록 소재 두께가 더 얇아 지는 경향을 나타낸다. 또한 블랭크 홀딩력에 의한 소재의 구속으로 인하여 소성흐름이 원활치 않아 두께가 급격히 얇아 지며, 또한 파단이 발생하였다.

Fig. 6은 블랭크 홀딩력 2.0kN, 속도 20mm/min 조건에서 3mm성형한 제품의 미세조직변화를 나타내었다. 미세조직은 아세트산(acetic acid) 10mL, 피크릭산(picric acid) 6g, 증류수(H₂O) 10mL, 에탄올

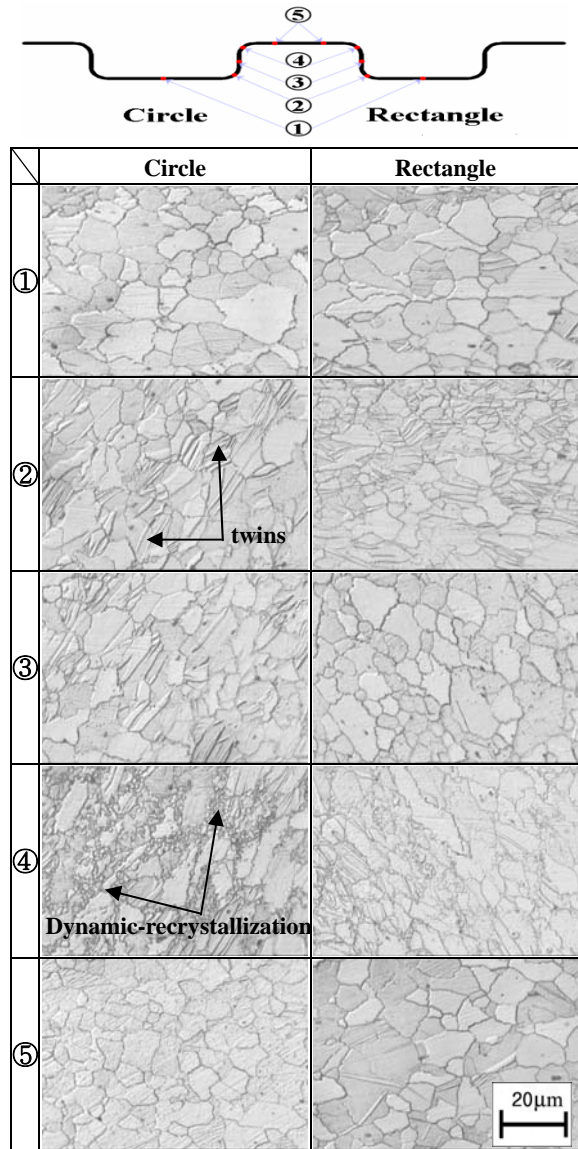


Fig. 6 Microstructures of circle and rectangle cup at various positions, BHF=2.5kN, V_p=20mm/min, T=250 °C

(ethanol) 95% 70mL를 혼합한 에칭액에 5~10초 에칭하여 에탄올에 세척한 후 500배로 관찰하였다[9].

Fig. 6의 ①, ⑤번 지점에서는 결정입자들이 조대하며, 입계에 새로운 결정입자들이 발생함을 알 수 있다. 그리고 Fig. 6의 ③번 지점에서는 소재의 인장 방향으로 결정입자가 변형되어 있음을 알 수 있다. 특히 소성변형이 심하게 발생하여 파단이 발생한 ②, ④번 지점에서는 특히 기계적 쌍정

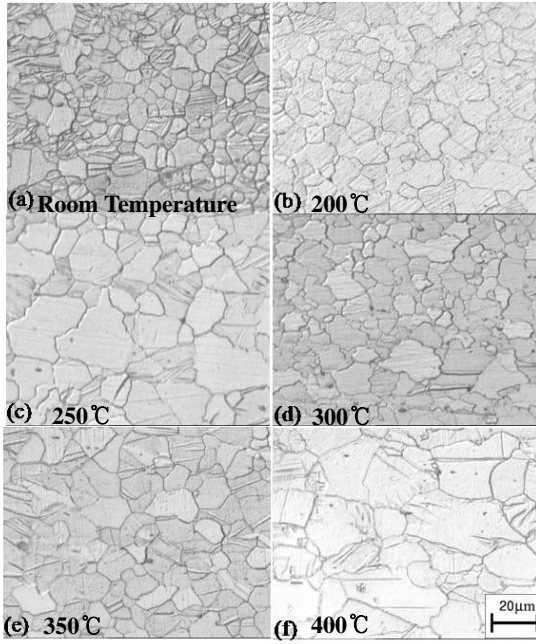


Fig. 7 Microstructure phenomenon according to temperature at position 5

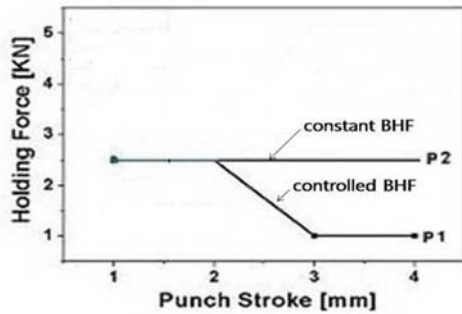


Fig. 8 Paths of controlled blank holding force

이 많이 관찰되었다. 이러한 쌍정의 발생은 재료의 연성을 저하시켜, ②, ④부분에서 파단이 발생한다[10~11]. 또한 원형컵의 ④번 지점에서는 특히 동적 재결정이 활발하게 발생하고, 이러한 동적 재결정이 쌍정의 발생을 방해하는 것을 알 수 있다. 따라서 쌍정의 발생은 감소하고 재결정은 활발하게 발생하여 연성이 증가함을 알 수 있다[12].

Fig. 7은 원형 형상의 ⑤번 지점에 대하여 온도에 따른 미세조직변화를 나타내었다. 온도가 상승할수록 재결정의 생성 및 성장으로 인해 입자의 크기가 증가하면서 강도를 저하시킨다.

Fig. 3(d)에서 보여주는 바와 같이 블랭크 홀딩

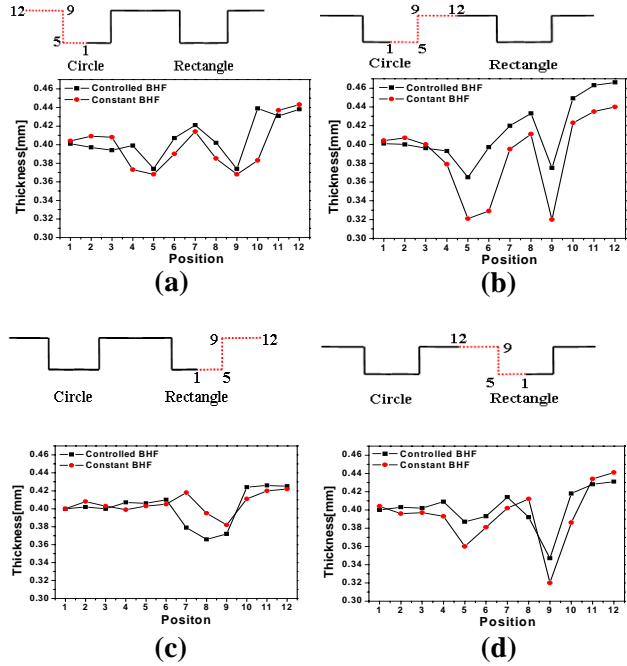


Fig. 9 Comparisons of thickness between constant blank holding force and controlled blank holding force(250 °C-2.5kN-20mm/min) in deep drawing with initial thickness 0.4mm

력이 일정한 경우 속도에 관계없이 3mm 까지 성형이 가능 하였으나 Fig. 8 에서 보여주는 바와 같이 블랭크 홀딩력 패턴(Path.1)으로 블랭크 홀딩력을 조절하여 4mm 까지 실험을 하였다.

Fig. 8 에서 보여주는 바와 같이 펀치 스트로크의 2mm 부분부터 3mm 까지 블랭크 홀딩력이 감소하고, 이후 일정하게 홀딩력을 가한 패턴에 대하여는 4mm 까지 성형이 가능하였다.

위의 원인은 성형 가능한 2mm 까지는 일정한 블랭크 홀딩력을 가하고, 주름이 발생하지 않는 Punch stroke 부터는 블랭크 홀딩력은 점차적으로 감소하여 소재의 유입이 원활하게 되도록 하였기 때문이다.

Fig. 9에서 알 수 있듯이 원형(Fig.9 (a)~(d)의 위치 1~4)과 사각형(Fig.9 (a)~(d)의 위치 1~4)의 바깥쪽에서의 두께변화는 크게 차이가 나지 않았으나, 각 형상 중심축의 안쪽 부위(Fig.9 (a)~(d)의 위치 5~8)에서는 블랭크 홀딩력을 제어하지 않았을 때 보다 제어하였을 때가 두께 변화 폭이 감소되었음을 알 수 있다. 위의 원인은 블랭크 홀딩력을 제어하였을 때는 소재의 유입이 원활하게 이루어 지기 때문이다.

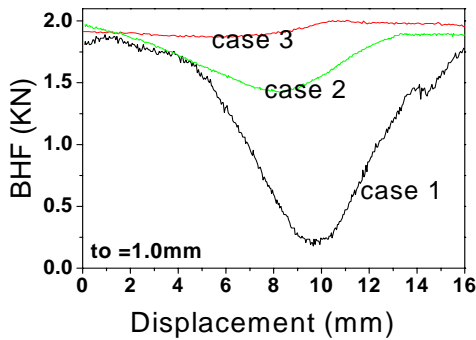


Fig.10 Relationship between punch displacement and blank hold force to improve of thickness variation during deep drawing

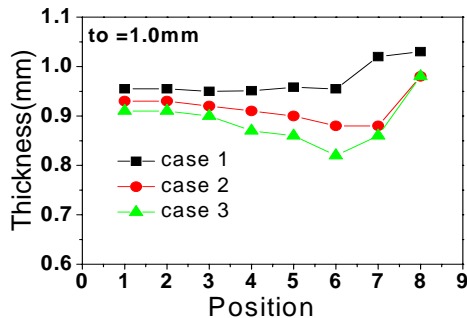


Fig.11 Thickness change of the cup according to the blank hold force

2.2 고찰

Fig. 9에서 보여주는 바와 같이 블랭크 홀딩력을 일정하게 한 경우 관재의 두께변화는 크게 나타남을 알 수 있다. 따라서 성형 중 두께 변화를 제어 하기 위하여 Blank holding force을 펀치 위치에 맞춰서 변화시키면서 실험을 수행하였다. 소재 온도를 200, 250, 300, 350, 400℃로 하였으며, 원형 딥드로잉 실험에서 얻은 결과를 토대로 하여 가장 성형성이 우수했던 50mm/min 를 성형속도로 설정하였다. 사각형 딥드로잉에서도 블랭크 홀딩력이 LDR에 영향을 미치는지 재확인 하기 위하여 Fig. 10과 같이 세가지 블랭크 홀딩력을 적용하여 실험을 진행하였다.

Case 1과 case 2의 경우는 하중제어의 기술기에 따른 변화를 보기 위하여 하중이 감소하는 양을 조절한 것이며, case 3은 블랭크 홀딩력의 변화를 주지 않고 정적 하중을 적용한 것이다.

Fig.11은 Fig.10에서 보여주는 Blank holding force의 변화에 따른 소재의 두께 변화를 측정하였다.

실험 조건은 관재온도 250℃, 1.0mm 두께의 블랭크를 사용하여 15mm 깊이까지 성형을 하였다. 두께의 최대 변화율을 측정해 본 결과 case 1일 경우 6.9%, case 2 일 때 10.2% 그리고 case 3 일 경우 16.3%의 두께 변화가 일어나는 것을 알 수 있었다. 이를 통해 deep drawing 공정 중 블랭크 홀딩력의 제어가 사각형 컵의 드로잉에서도 영향을 미치며 그 변화폭이 클수록 두께 변화율이 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.

3. 결론

AZ31B 합금을 이용하여 원형 현상과 사각형 현상을 동시에 성형하는 deep drawing공정에서 펀치 반경과 Blank holding force가 관재변형 특성에 미치는 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 온도가 증가할수록 소재의 열적 연화로 인하여 가공하중은 감소하며, 특히 350℃이상의 온도에서는 재결정입자의 성장으로 조대한 미세조직 때문에 소재가 연화되어 가공하중은 급격히 감소하였다.
- (2) 성형품의 중심축을 기준으로 하여 플랜지 부분 보다는 사각형과 원형펀치의 어깨부에서 두께 변화가 많이 발생하였으며, 온도가 증가할수록 다이 및 펀치어깨부와 접촉하는 성형품에서의 두께 변화폭은 증가 하였다.
- (3) 블랭크 홀딩력을 제어하였을 때는 일정한 블랭크 홀딩력으로 성형하였을 때 보다 두께 변화가 감소 하였으며, 성형성 깊이도 증가 하였다.
- (4) 작업환경이 고온에서는 성형속도의 의존성이 크기 때문에 적정 성형속도가 요구되며, 소재 온도가 200~250℃, 성형속도 20, 60mm/min 일때 성형성이 우수 하였다.

후 기

본 연구는 중기거점 사업인 KIMS의 위탁과제 수행과 전략기술 인력사업(Moving metal 프레스가공)의 지원으로 수행 되었습니다.

참 고 문 헌

[1] Robert S. Busk, 2007, Magnesium and Its Alloys, John Wiley and Sons, New York, 8 Nov 2007 (Published Online), pp. 259~265.

- [2] B. L. Mordike, K. U. Kainer, 1998, Magnesium Alloys and their Applications, Werkstoff- Information saesellschaft mbH, Germany, pp. 3~28.
- [3] Fadi K, Abu-Farha, Marwan K, Khraisheh, 2007, Mechanical Characteristics of Superplastic Deformation of AZ31 Magnesium Alloy, J. Mater Eng. performance, Vol.16 issue 2, pp. 192~199.
- [4] M. Easton, A. Beer, M. Barnett, C. Davies, G. Dunlop, Y. Durandet, S. Blacket, T. Hilditch, P. Beggs, 2008, Magnesium Alloy Applications in Automotive Structures, J. Met., Vol. 60, No. 11, pp. 57~62.
- [5] E. Doege, K. Droder, 2001, Sheet metal forming of magnesium wrought alloys-formability and process technology, J. Mater. Process. Technol., Vol. 115, pp. 14~19.
- [6] Fuh-Kuo Chen, Tyng-Bin Huang, Chin-Kun Chang, 2003, Deep drawing of square cups with magnesium alloy AZ31 sheets, Int. J. Machine Tools Manuf., Vol. 43, pp. 1553~1559.
- [7] S. Yoshihara, Ken-ichi Manabe, Hisashi Nishimura, 2005, Effect of blank holder force control in deep-drawing process of magnesium alloy sheet, J. Mater. Process. Technol., Vol. 170, pp. 579~585.
- [8] K. T. Kwon, S. B. Kang, C. G. Kang, 2008, Experimental Study on the Formability of Simultaneous Deep Drawing of Circular and Rectangular Cups with AZ31 Magnesium Alloy, Trans. Mater. Process., Vol.17, No.8, pp. 586~593.
- [9] Michale M. Avedesian, Hugh Baker, 1999, Magnesium and Magnesium Alloys, ASM Int., pp. 26~36.
- [10] J. R. Morris, K. M. Ho, K. Y. Chen, G. Rengarajan, M. H. Yoo, 2000, Large scale atomistic study of core structures and energetics of $\langle c+a \rangle$ {11-22} dislocations in hcp metals, Modelling. Simul. Mater. Sci. Eng., 8, pp. 25~35.
- [11] Manuel Marya, Louis G. Hector, Ravi verma, Wei Tong, 2006, Microstructure effects of Az31 magnesium alloy on its tensile deformation and failure behaviors, Mater. Sci. Eng. A, A418, pp. 341~356.
- [12] M. A. MEYERS, O. Vohringer, V. A. Lubarda, 2001, Acta. Mater., 49, pp. 4025~4039.