

AZ31 합금 판재의 변형모드에 따른 성형한계에 관한 연구

정진호¹ · 이영선[#] · 권용남¹ · 이정환¹

A Study of Forming limits of Transformation mode of AZ31 Alloy sheet

J. H. Jung¹, Y. S. Lee[#], Y. N. Kwon¹, J. H. Jung¹

ABSTRACT

Since the sheet metal forming of Mg alloy is perform at elevated temperature, the effect of strain rates related with the forming temperature and forming speed and R-value is very important factor for formability and forming limits and deep drawing. It is investigated that the effect of material properties such as various temperature, forming speed and strain rates on formability and R-value of Mg alloy sheet in round cup deep drawing. Therefore, the investigation for process variables is necessary to improve formability and forming limits and deep drawing. Also, the effects of strain rate and drawability were studied by the experiment. The temperature, forming speed, and strain rates and R-value are investigated. Forming of Mg alloy takes consider into temperature, proper forming speed and strain-rate and R-value the formed parts were good without defects for forming limits and deep drawing

Key Words : Strain rate (변형률속도), LDR (한계드로잉비), R-Value (이방성지수), Cup Drawing(컵 드로잉) FLD(성형한계도)

1. 서론

현재 사용되고 있는 금속 가운데 가장 가볍고 (1.7g/cm²) 전자파 차폐성, 고비강도, 진동 감쇠능과 같은 우수한 특징을 가지고 있는 소재가 마그네슘 합금이다. 핸드폰, 노트북과 같은 경량화를 요구하는 제품에 대해 많은 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 마그네슘 합금은 상온에서 낮은 성형성을 가지고 있어 대부분 온간이나 열간에서의 연구가 진행되고 있다. 판재 성형, 단조와 같은 소성가공 공정은 마그네슘 합금의 낮은 성형성으로 어려움이 있어 주로 많이 성형을 해왔지만 주조공정보다는 형상과 기능면에서 좋은 소성가공 공정을 이용하는 연구가 활발하게 이루어지고 있다.[1-6]

용되고 있고 드로잉 공정은 제조원가가 낮고, 표면 가공의 우수함과 정밀도가 높은 제품을 얻을 수 있는 장점이 있다. 드로잉률은 이방성 지수와 관계가 있다. 이방성 지수가 증가하면 한계 드로잉 비는 증가하게 된다. 이방성 지수는 판재의 압연 방향에 따른 성질이 다르게 나타나는 것으로 판재의 변형특성과 성형성의 한계를 나타내는 중요한 영향이 된다. [7-12]

본 연구에서는 마그네슘 합금의 각각의 온도와 변형률 속도에서의 이방성 지수(R-value)를 측정하고 원통 컵 드로잉 시험을 수행하였다. 드로잉 공정 중 수직 이방성 계수의 중요성을 인식하고 이방성 지수와 드로잉 성형성을 비교 분석하고 성형시 소재의 온도를 측정함과 성형 한계도와와의 관계를 분석하였다.

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소 소성응용그룹
교신저자: 한국기계연구원 부설재료연구소 lys1668@kims.re.kr

2. 시험 및 평가

2.1 이방성 지수 측정시험

판재의 방향별 특성을 파악하기 위하여 이방성 지수 측정 시험을 실시 하였다. Fig. 1 과 같은 1 축 인장 시험 시편을 방향별로 시험을 실시 하였고, 연신율이 20% 이상인 것은 표점 거리 (20mm)를 기준으로 20%(4mm), 연신율이 20% 이하인 것은 10%(2mm)로 인장 시험을 실시하여 두께와 폭의 변화량을 측정하였다. 상온은 $10^{-2}/s$ 의 속도로 시험을 실시하고 이방성 지수 측정을 위한 시험 조건은 아래 표 1 과 같다.

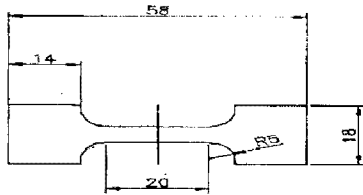


Fig. 1 Dimension of specimens for R-Value test

Table 1 R-Value test condition

Thickness	1 [mm]	
Temp.	R.T, 100, 200, 250, 300, 400	
Strain rate	1, 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} [/s]	
Heating time	15 [min]	
Gage-Length	20 [mm]	
Measure instrument	Thickness	Micrometer
	Width	Microsocpe
Test Machine	UTM	

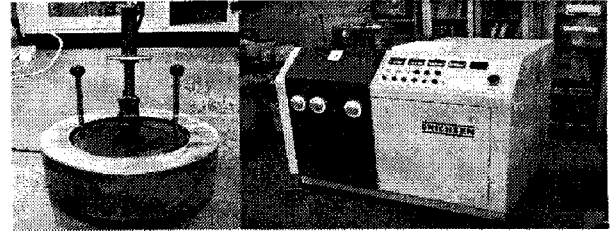
2.2 원통 컵 드로잉 실험

이방성 지수에 따른 드로잉 영향을 분석하기 위해 원통 컵 드로잉 시험을 실시하였다. Fig. 2 의 (a)는 드로잉시험을 위한 금형이고 (b)는 에릭슨 장비를 나타내었다. (b)와 장비를 이용하여 실험을 실시하였고 시험 조건은 표 2 와 같다.

2.3 원통 컵 드로잉 실험시 온도측정

원통 컵 드로잉 시험을 하면서 온도에 대한 영향이 많은 것을 알 수 있었다. 드로잉 시험을 실

시하면서 소재의 온도 측정을 동시에 실시하였다. 시험 직전 금형과 소재의 온도를 측정하고 금형을 에릭슨 시험기에 장착하고 실험을 진행하면서 계속해서 소재의 온도를 측정하였다. 금형이 가열된 부분은 펀치를 제외한 부분과 소재를 시험 온도 조건에 맞춰 가열 후 측정하였다.



(a) (b)

Fig. 2 Round cup drawing test machine.

Table 2 Round cup drawing test condition

Blank size	Ø 117	Punch size	Ø 50
Temp.[°C]	100, 200, 250, 300, 400		
Drawing ratio	2.34		
Punch speed [mm/sec]	0.05, 0.5, 5		
Heating time [min]	15		
Test Machine	ERICHSEN		
Lubricant	Griphite		

3. 이방성 지수 및 드로잉 시험결과

3.1 이방성 지수 측정시험 결과

인장 시험후 두께와 폭 변화량을 측정하여 이방성 지수를 측정한 결과는 다음과 같았다. Fig.3은 변형률 속도에 따른 이방성 지수를 나타내었다. 상온보다 100°C에서 이방성 지수가 증가하고 이후 이방성 지수는 온도가 증가하면서 감소하는 경향을 보이고 있다. 250°C에서 다시 증가하는 경향을 보이고 있다. 상온에서 400°C까지의 이방성 지수는 처음에는 값이 증가하다가 다시 감소하는 경향을 나타내고 있다. 거의 모든 조건에서 압연 방향인 0° 방향 보다 90° 방향에서 이방성 지수가 더 높은 값을 나타내었다. 200°C부터는 변형률 속도가 빨라질수록 이방성 지수 또한 증가하는 것으로 나타났다.

3.2 원통 컵 드로잉 실험 결과

100℃에서부터 400℃까지 각각의 속도로 원통 컵 드로잉 시험을 결과는 다음과 같았다. Fig.4는 300℃에서의 성형 속도에 따른 시험 결과를 보여주고 있다. 컵 드로잉의 성형속도가 증가할수록 컵의 높이 또한 증가하는 것을 알 수 있다. 200℃부터 변형률 속도가 빠를수록 이방성 지수가 증가함으로 드로잉성 또한 좋아져서 성형이 잘되는 것으로 나타난다. 250℃ $10^{-1}/s$ 와 250℃, 300℃와 400℃에서는 $10^0/s$ 에서 완전히 성형되는 것으로 나타났다. 표 5는 원통컵 드로잉의 파단유무와 컵의 성형 높이를 측정하였다. 성형온도가 높고 속도가 빠를수록 컵의 높이는 높은 것을 알 수 있었다. 0.5mm/sec의 조건에서 파단이 날때의 온도는 약 135℃정도 였다.

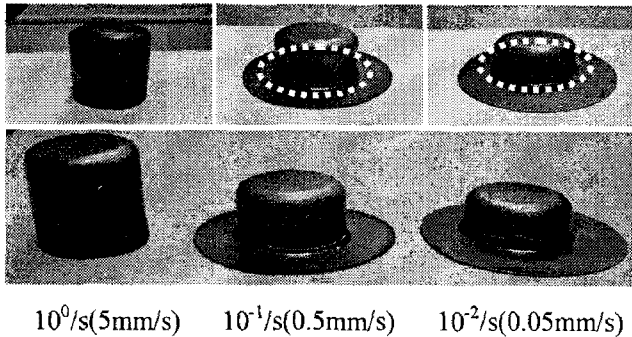


Fig. 4 Appearance of cup drawn at each strain rate (300℃)

3.3 원통컵 드로잉 온도 측정

드로잉 시험을 하면서 시간에 따른 소재의 온도를 측정하였다. 드로잉 성형을 시작하기 전부터 시험을 진행하는 중에도 계속 온도를 측정하였다. 측정한 결과 금형과 소재 가열을 시작후 에릭슨 시험기에 금형을 장착하고 펀치가 소재에 닿는 순간(30초) 급속히 온도가 하강하였고 그 후 일정한 온도를 유지하면서 실험이 진행되었다. 소재의 온도가 떨어지는 차이는 약 100℃ 정도의 차이가 났고 거의 모든 온도에서 온도 하락의 경향 또한 비슷한 것으로 나타났다. Fig.5은 각각의 온도에 대해 측정한 결과를 나타내고 있다. 그래프에서 원은 소재와 펀치가 서로 닿는 순간을 표시하였다.

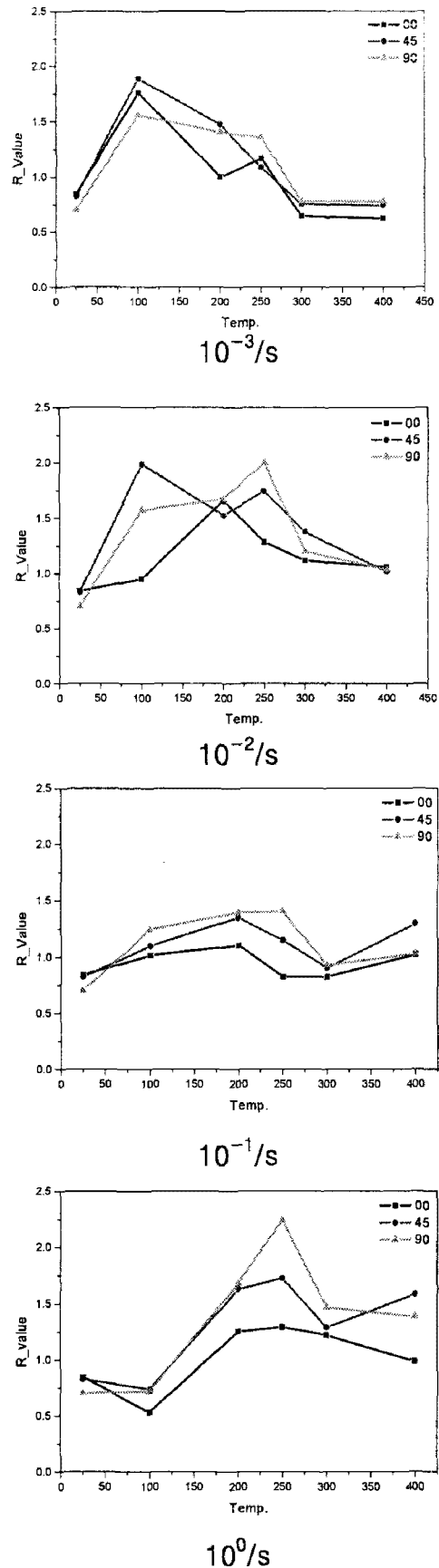


Fig. 3 Result of R-value test at various condition

Table 5 Height of cup drawn at each process condition experiment

Temp. [°C]	[mm]		
	0.01/s [0.05mm/s]	0.1/s [0.5mm/s]	1/s [5mm/s]
100	3.90 (X)	3.61 (X)	5.69 (X)
200	16.17 (X)	6.55 (X)	8.68 (X)
250	20.73 (X)	60.35 (O)	60.52 (O)
300	27.41 (X)	35.88 (X)	60.04 (O)
400	26.73 (X)	39.13 (X)	60.31 (O)

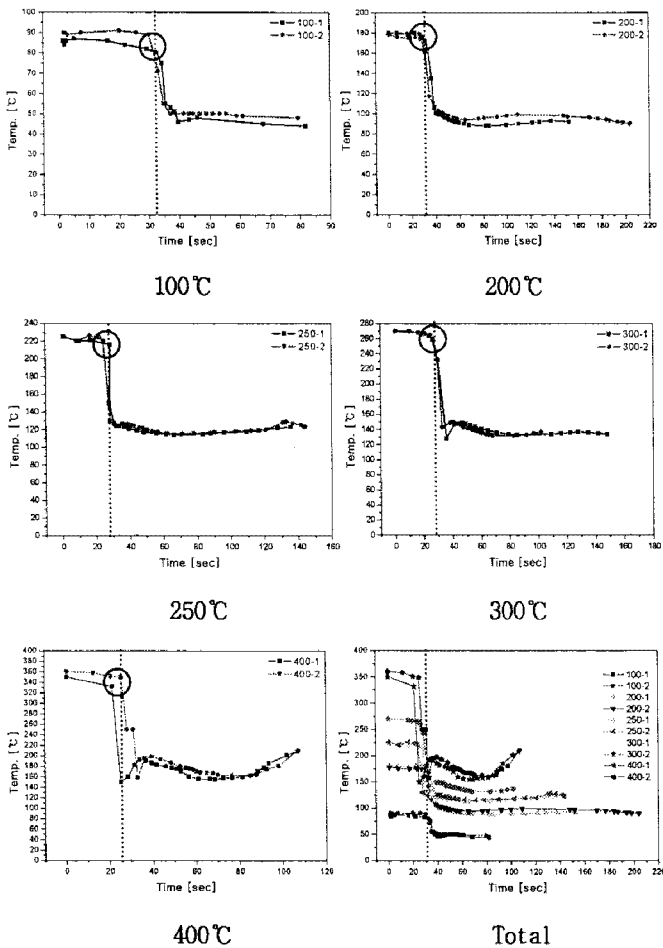


Fig.5 Temperature changes of blank during forming stages (from furnace to final forming speed : 0.5mm/sec)

3.4 성형 한계 선도

변형률 속도 1/s, $10^{-1}/s$, $10^{-2}/s$ 과 성형 온도

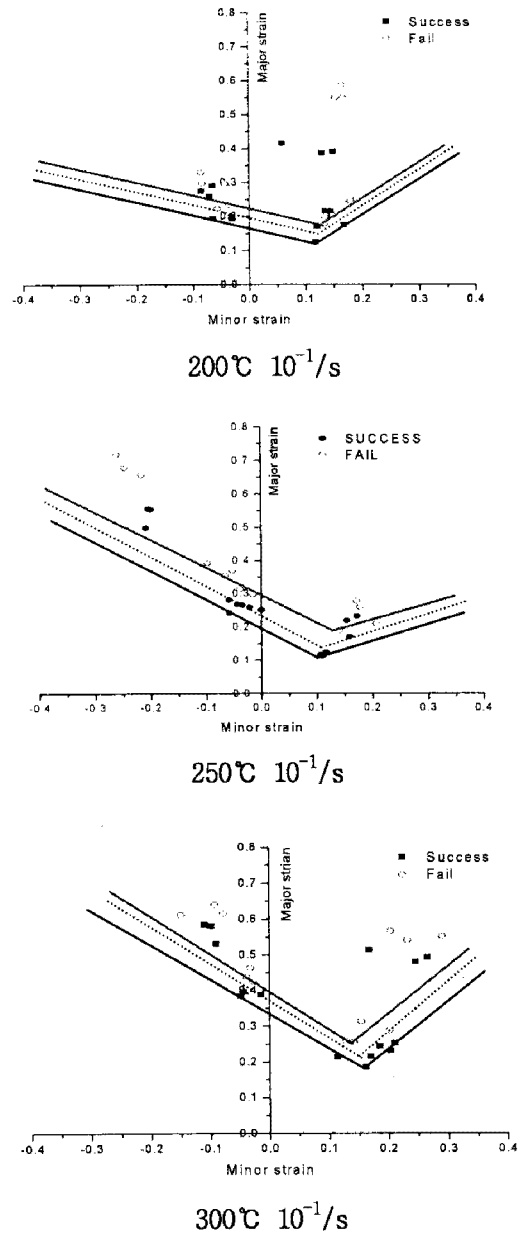


Fig.6 FLD (Forming Limit Diagram) at each strain rate and Temperature

200°C, 250°C, 300°C의 조건으로 성형 한계도 시험을 실시하였고 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. Fig.6 은 성형 온도 200°C, 250°C, 300°C, 변형률 속도 $10^{-1}/s$ 에서의 성형 한계도를 각각 나타내었다. 성형 한계도는 파단이 일어난 부분과 일어나지 않은 부분을 기준으로 한계도 곡선을 작성하였다. 성형 한계도에서 성형성은 온도가 높을수록 주변형률과 부변형률의 값이 큰 것으로 나타나고 있어 성형성이 좋은 것으로

나타나고 있다.

4. 결 론

Mg 합금 판재의 이방성 지수와 이방성 지수에 따른 원통컵 드로잉 시험을 실시한 결과는 다음과 같다.

(1) Mg 합금의 인장시험에서는 변형률 속도가 느릴수록 연신율이 높게 나타나지만 이방성 지수는 변형률 속도가 빠를수록 200℃부터 증대됨을 알 수 있었다.

(2) 이방성 지수의 방향별 특성은 압연방향(0°) 보다 압연방향의 수직방향(90°)에서 더 높은 값을 나타내었으며, 원통 컵 드로잉 시험에서도 동일한 특성을 보여 90°에서보다는 0° 방향에서 파단이 발생하는 것을 알 수 있었다.

(3) 이방성 지수 값이 높을수록 드로잉률이 향상되는 일반적 특성과 동일하게 300℃와 400℃에서 높은 이방성 지수로 인해 드로잉률이 향상됨을 알 수 있었다.

향후 드로잉 공정을 통한 성형 한계도 작성과 드로잉 실험을 비교 분석하여 성형 한계도를 체계화를 위한 연구가 진행될 것이며 유한 요소 해석시 이용한 가능한 수준의 성형한계도 설정을 최종 목표로 연구가 진행될 예정이다.

후 기

본 연구는 한국기계연구원 부설 재료연구소의 기본 연구사업인 “고비강도 소재 Fusion 성형기술개발”의 연구 결과로서 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] Fuh-Kuo Chen, Tyng-Bin Huang, Chih-KunChang, 2003, “Deep drawing of square cups with magnesium alloy AZ31 sheet.” International

Journal of Machine Tools & Manufacture Vol. 43, pp. 1553~1559

- [2] 김민철, 이영선, 권용남, 이정환, 2004, “AZ31 합금의 온간 디프 드로잉에 관한 연구” 한국소성가공학회지, 춘계학술대회 pp.47~52
- [3] 김민철, 이영선, 권용남, 이정환, 2005, “AZ31 합금의 성형에서의 열전달을 고려한 해석” 한국소성가공학회지, 춘계학술대회 pp. 73~77
- [4] K. Iwanaga, H. Tashiro, H. Okamoto, K. Shimizu, 2004, “Improvement of formability from room temperature to warm temperature in AZ-31 magnesium alloy.” Journal of Materials Processing Technology
- [5] 김민철, 이영선, 권용남, 이정환, 2005, “AZ31 합금의 온간 사각컵 디프 드로잉공정에서의 성형성에 관한 연구” 한국소성가공학회지, 추계학술대회 pp. 235~238
- [6] 정진호, 김민철, 이영선, 권용남, 이정환, 2007, “Mg 합금 온간 판재 성형시 성형한계에 미치는 변형률 속도의 영향” 한국소성가공학회지, 춘계학술대회 pp. 279~280
- [7] “소성역학” 김영석 시그마프레스 pp.370~383
- [8] 이용길, 김종호, 이종섭 2003, “마그네슘 합금판재의 온간 디프 드로잉성에 관한 연구.” 한국소성가공학회지, 추계학술대회 pp. 117~120
- [9] V.V. Karzhavin, 1987, “Problem of Fracture of Axisymmetric articles During Multiple -step Deep Drawing”, Allerton press, Inc, pp.96~101
- [10] 나경환, 최석우, 최태훈, 정완진, 김종호, 배형수, 2000, “다단 디프드로잉 공정의 설계지원 시스템 개발” 한국소성가공학회지, 제 9 권 제 6 호, pp. 117~120
- [11] 김두환 1998, “원통형 디프 드로잉 용기의 벽 두께의 감소 최소화에 관한 실험적 연구.” 한국소성가공학회지, 제 7 권, 제 4 호 pp. 393~399
- [12] 정완진, 김종호, 류제구 2003, “원형컵 디프 드로잉의 성형해석에 의한 공정설계” 한국소성가공학회지, 제 12 권 제 7 호 pp. 647~653