

AZ31B 마그네슘 합금 판재의 OSU 드로우벤드 시험과 스프링백 측정

최종길¹ · 최선철¹ · 이병규² · 김현영[#]

Measurement of Springback of AZ31B Mg Alloy Sheet in OSU Draw/bend Test

J. G. Choi, S. C. Choi, M. G. Lee, H. Y. Kim

(Received May 10, 2007)

Abstract

The springback characteristics of AZ31B magnesium alloy sheet was investigated in OSU draw/bend test. Springback is the elastically-driven change of shape of a part after forming and it should be estimated and controlled to manufacture more precise products in sheet forming. Magnesium alloy sheets have unique mechanical properties such as high in-plane anisotropy/asymmetry of yield stress and hardening response. So, there will be a difference in the prediction of springback with symmetric mechanical properties for magnesium alloy sheets. In this work, the Strip draw/bend tests were conducted with various conditions - die radius, sheet thickness and controlled tensile force and the tendency of springback angle was observed from the tests.

Key Words : Mg Alloy Sheet, Draw/bend Test, Springback

1. 서론

마그네슘 합금은 기존 철강재료와 비교하여, 비강도, 비강성 및 진동흡수성, 전자파 차폐성능 등이 우수하여 최근 자동차 산업뿐만 아니라 전자 산업에서 경량화의 소재로 각광받고 있다. 그러나 마그네슘 합금의 이러한 장점에도 불구하고 낮은 성형성 때문에 기존 다이캐스팅 공법에 비하여 제조비용이 상대적으로 저렴하고 생산성이 우수한 판재 성형은 아직 널리 이용되지 못하고 있다.

마그네슘 합금 판재의 낮은 성형성을 극복하고 판재 성형 공법을 실용화하기 위하여 진행된 국내의 연구로는 마그네슘 합금 판재의 냉·온간 기계적 성질에 관한 연구와 온간 성형법을 이용한

성형성 증대에 관한 실험적·해석적 연구가 주를 이루고 있다[1~2].

마그네슘 합금 판재는 상온에서 육방조밀격자(hexagonal close packed, HCP) 구조를 가지며, 철, 알루미늄과 같은 면심입방격자(face-centered cubic, FCC), 체심입방격자(body-centered cubic, BCC) 구조의 재료와는 상이한 기계적 거동을 나타낸다[3]. 특히 인장과 압축의 성질이 현저히 다른 비대칭성을 나타내므로 굽힘과 인장력이 동시에 연속적으로 작용하는 판재성형의 경우, 성형한계 및 스프링백의 예측이 기존의 대칭 물성을 기초로 하는 예측과는 상이할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 AZ31B 마그네슘 합금 판재에 대하여 OSU 드로우벤드(draw/bend) 시험을

1. 강원대학교 기계메카트로닉스공학과

2. 한국기계연구원 부설 재료연구소

교신저자: 강원대학교 기계·메카트로닉스공학부,

E-mail : khy@kangwon.ac.kr

수행하여, 판재 두께 및 금형 반지름, 인장하중 등 공정변수에 대한 마그네슘 합금 판재의 스프링백 특성을 실험적으로 검증하고자 하였다.

금속판재의 스프링백을 실험적으로 검증하기 위한 방법에는 다양한 방법이 있으나 통상 많이 이용되는 U 채널 타입의 실험법은 금형-소재 간의 마찰, 금형-소재 간의 간격 등과 같은 공정변수에 의한 영향이 상대적으로 많이 고려되어야 하기 때문에 물성 자체의 스프링백 영향을 검증하기에는 문제가 있다. 그러므로 본 연구에서는 구속력을 직접적으로 통제하고 금형-소재간의 마찰 및 간격의 영향을 최소화 할 수 있는 시험법인 OSU 드로우벤드 시험을 이용하였다[4].

2. OSU 드로우벤드 시험[4]

2.1 시험개요

본 연구에 사용된 OSU 드로우벤드 시험기는 Fig. 1에 나타나듯이 서로 90°방향의 직각으로 장착된 두 개의 유압 액추에이터(actuator)와 그 작용선의 교차점에 장착된 롤러(roller)로 구성된다. 수직방향 액추에이터(B)가 균일한 속도로 시편을 일정거리 인장하는 동안 수평방향 액추에이터(A)는 일정한 구속력(restraining force or back force)을 유지하도록 되어 있으며, 이때 롤러의 접촉부위에서 시편은 인장하중과 함께 굽힘과 역굽힘 변형을 연속적으로 하게 된다. 시험 완료 후 시편의 수직방향 액추에이터(B)에 의한 구속이 해제되면 시편은 탄성회복을 하게 되며, 롤러 접촉 이외의 부위는 직선상태로 남게 된다.

2.2 시험방법 및 스프링백 측정

시험에 사용된 시편은 압연 가공 후 열처리가 되지 않은 상태인 AZ31B-F 마그네슘 합금 판재이며, 두께 0.5, 1.0, 2.0mm의 판재를 폭 50mm, 길이 660mm의 크기로 전단 가공하였다.

시험 조건은 시험기의 액추에이터(B)를 25.4mm/sec의 속도로 127mm 이동하였으며, 시편의 각 두께에 대해 롤러 크기(11.1125mm, 19.05mm), 구속력을 변경하며 시험을 수행하였다. 이때, 구속력은 각 두께의 항복하중에 대한 작용하중의 비를 계산한 표준구속력(Normalized back force)으로 조절하였다. 마찰조건은 윤활된 롤러를 회전하도록 하여 최소화하였다.

스프링백 각도는 Fig. 2 와 같이 정의되며, 시험

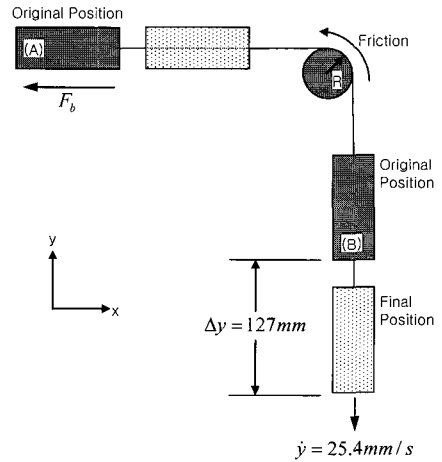


Fig. 1 Geometry of the draw/bend test

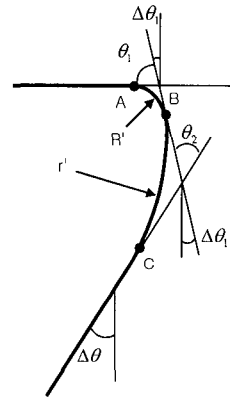


Fig. 2 Deformed shape and springback angle after unloading

즉시 시편 옆면 궤적을 종이 위에 추적·도시하고, 스캔장비를 이용하여 디지털화하였으며, AutoCAD 소프트웨어를 이용하여 스프링백 각도를 측정하였다. Fig. 2 에 표시된 A-B 구간은 굽힘변형 구간, B-C 구간은 굽힘-역굽힘변형 구간이며, R' , θ_1 과 r' , θ_2 는 각각 A-B, B-C 구간의 스프링백과 관련된다. 각 구간의 스프링백 각도 및 전체스프링백 각도는 식(1), (2), (3)으로 나타내어 진다.

$$\Delta\theta_1 = \theta_1 - \theta_1^{loaded} = \theta_1 - \pi/2 \quad (1)$$

$$\Delta\theta_2 = \theta_2 - \theta_2^{loaded} = \theta_2 - 0^\circ \quad (2)$$

$$\Delta\theta = \Delta\theta_1 + \Delta\theta_2 \quad (3)$$

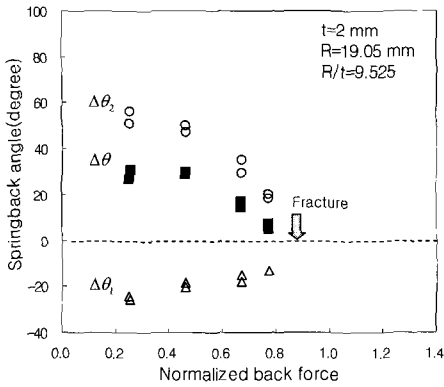


Fig. 3(a) Springback angle($R/t=9.525$, $t=2\text{mm}$)

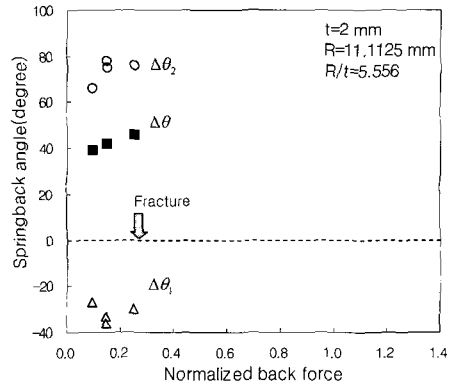


Fig. 3(b) Springback angle($R/t=5.556$, $t=2\text{mm}$)

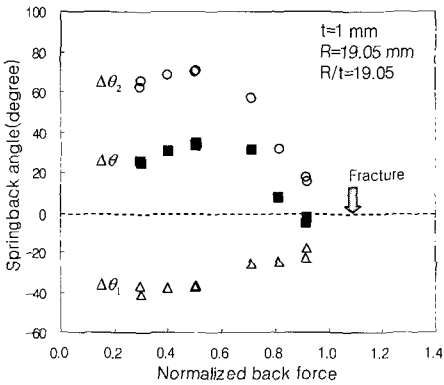


Fig. 4(a) Springback angle($R/t=19.05$, $t=1\text{mm}$)

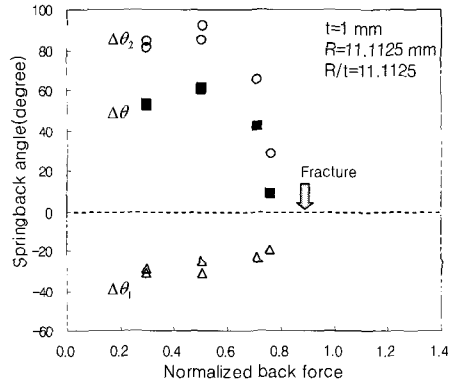


Fig. 4(b) Springback angle($R/t=11.1125$, $t=1\text{mm}$)

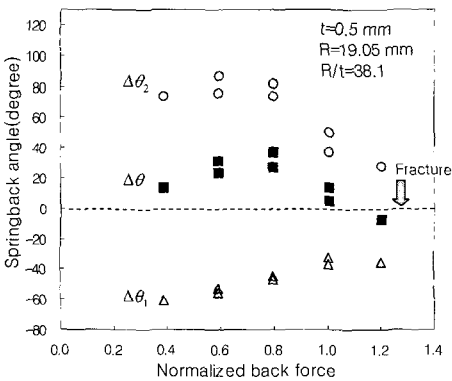


Fig. 5(a) Springback angle($R/t=38.1$, $t=0.5\text{mm}$)

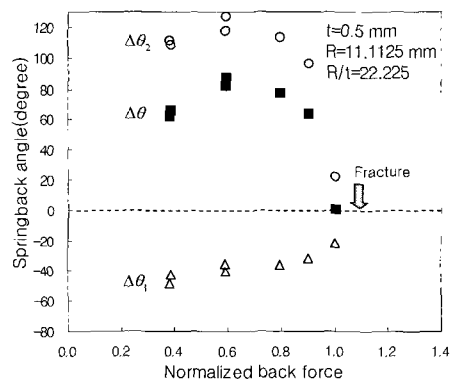


Fig. 5(b) Springback angle($R/t=22.225$, $t=0.5\text{mm}$)

3. 시험결과 및 토론

3.1 시험결과

각 판재 두께 별 시험 후 스프링백 측정결과를 표준구속력에 대하여 Fig. 3~5에 나타내었다. 모든 두께(t) 및 롤러 반지름(R)에 대해서 R/t 가 일정할

때 표준구속력이 증가할수록 전체스프링백 각도 $\Delta\theta$ 가 증가 또는 일정하게 유지되다가 감소하며, 특정 값 이후로는 스프링백이 현저히 감소되는 경향을 나타내고 있다. 특정 값은 판재 두께 2mm의 경우 표준구속력 0.55~0.65 사이에서, 1mm와 0.5mm의 경우는 각각 0.7~0.8, 0.9~1.0 사이에서 존

제한 것으로 예상되며, 롤러 반지름이 작을수록 특정 값 이후 스프링백 감소폭이 크다.

R/t에 대한 경향을 살펴보면, 판재 두께가 일정하고 롤러 반지름이 변할 때 R/t가 증가할수록 즉, 롤러 반지름이 클수록 스프링백이 작게 발생하였다. 반면, 롤러 반지름이 일정하고 판재 두께가 변할 경우 롤러 반지름 11.1125mm에 대해서 R/t가 감소할수록 즉, 두께가 클수록 스프링백이 작게 발생하였다. 따라서, R/t의 증감에 의한 스프링백 각도는 두께와 롤러 반지름 중 어떤 변수가 고정되는가에 따라 경향이 상반되었고, 롤러 반지름 19.05mm에 대해서는 R/t에 대한 스프링백 각도의 특정한 경향이 확연히 나타나지 않았다.

Table 1 Comparison of material properties

	Elastic Modulus	Yield Stress
6022-T4	69GPa	172MPa
AZ31B-F	45GPa	203MPa

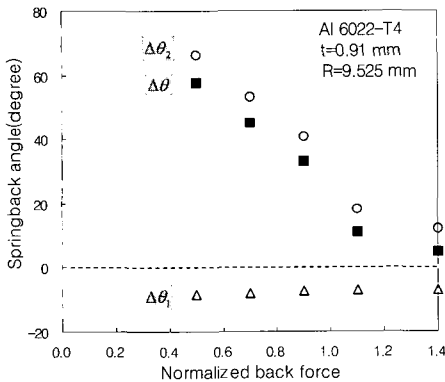


Fig. 6 Springback angles of aluminum 6022-T4[4]

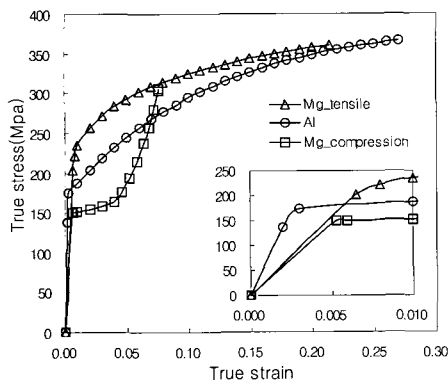


Fig. 7 Comparison of true stress-strain curves of aluminum and magnesium

전체스프링백 각도에 대한 $\Delta\theta_1$ 과 $\Delta\theta_2$ 의 관계는 표준구속력의 증가에 따라 $\Delta\theta_2$ 는 전체스프링백 각도의 경향과 유사한 반면, $\Delta\theta_1$ 은 전체스프링백 각도의 증가 구간에서 선형적으로 감소하여 전체스프링백 각도의 증가 구간 기울기에 영향을 미치고 있다.

3.2 토론

Fig. 6에 6022-T4 알루미늄 판재에 대한 드로우벤드 시험 결과를 인용하였다[4]. 표준구속력의 증가에 따라 전체스프링백 각도가 감소하는 경향과 일정한 두께에서 R/t가 증가할수록 스프링백이 작게 발생하는 경향은 알루미늄과 마그네슘 모두 동일하지만, 스프링백이 급격히 감소하는 구간이 마그네슘의 경우 더 뚜렷하며, 그 감소 폭 역시 마그네슘이 알루미늄에 비해 더 크게 나타났다. 또한, 알루미늄의 결과에서는 확인되지 않은 스프링백 증가 구간이 발견되었다. 알루미늄의 경우 $\Delta\theta_1$ 이 일정한 반면 마그네슘의 경우는 표준구속력이 커짐에 따라 감소하는 경향을 나타내고 있으며, $\Delta\theta_1$ 의 전체스프링백 각도에 대한 영향 역시 마그네슘이 크다.

알루미늄의 결과와의 이러한 차이는 Table 1과 Fig. 7에 나타나듯이 재료의 탄성계수, 항복응력 및 마그네슘 재료에서 특이하게 관찰되는 인장-압축의 비대칭 거동[3]에 의한 것으로 판단되며, 유한요소해석(FEM)을 이용한 검증이 필요하다.

4. 결론

AZ31B-F 마그네슘 합금 판재에 대한 드로우벤드 시험을 수행하였으며, 시험 후 발생하는 스프링백을 측정·검토하였다.

(1) 인장하중이 증가함에 따라 전체스프링백 각도는 증가 또는 일정하게 유지되다가 감소하였으며, 특정 값 이후로는 스프링백이 현저히 감소되는 경향을 나타냈다. 또한, 동일 판재 두께에 대해 R/t가 증가할수록 스프링백은 감소하였다.

(2) 스프링백 증가 구간 및 $\Delta\theta_1$ 의 경향, 스프링백의 급격한 감소폭은 알루미늄의 경우와 차이가 있으며, 이는 탄성계수, 항복응력, 마그네슘의 비대칭 거동의 영향인 것으로 추론되며, 유한요소해석을 이용한 검증이 필요하다.

후 기

본 연구는 산업자원부 국제공동기술개발 사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 정하국, 최석우, 나경환, 2005, 마그네슘합금의 온간가공기술(현황), 한국소성가공학회지, 제14권, 제8호, pp. 661~667
- [2] 이명한, 김현영, 김형종, 최이천, 김홍빈, 오수익, 2006, 마그네슘 합금 판재의 온간 성형에 대한 수치 모델링, 한국소성가공학회 추계학술대회 논문집, pp. 255~258.
- [3] X. Y. Lou, M. Li, R. K. Boger, S. R. Agnew, R. H. Wagoner, 2007, Hardening evolution of AZ31B Mg sheet, International Journal of Plasticity, Vol. 23, pp. 44~86.
- [4] W. D. Carden, L. M. Geng, D. K. Matlock, R. H. Wagoner, 2002, Measurement of springback, International Journal of Mechanical Science, Vol. 44, pp. 79~101.