

AZ31B 마그네슘 합금 판재에 대한 드로우벤드 시험과 스프링백 측정

최종길¹, 이명규², 김현영[#]

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

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

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. The demands are increasing for magnesium alloy sheet press forming, but the study on its springback characteristics is insufficient. Strip draw/bend tests were conducted with various conditions - die radius, sheet thickness and controlled tensile force. The springback angles were measured from 'sidewall curl' of deformed shape. The tendency of springback angle was observed from the tests

Key Words : Mg Alloy Sheet (마그네슘 합금 판재), Draw/bend test(드로우벤드 시험), Springback(탄성회복)

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 극복하기 위하여 국내에서는 다양한 연구가 진행되고 있으며, 마그네슘 재료의 상온 및 고온에서의 인장특성 시험, 온간 성형성 시험 및 성형한계도 작성 등 온간 성형을 통한 성형성 증대에 관한 연구가 주로 진행되고 있다[1], [2].

그러나 마그네슘 합금 판재의 스프링백 특성에

관한 연구는 아직 미흡한 실정인데, 스프링백은 판재성형 후 하중 제거 시 탄성회복에 의해 발생하는 제품 형상 및 치수의 변화로 제품의 치수정밀도 및 품질 향상을 위하여 필수적으로 예측·감소되어야 한다.

금속판재의 스프링백 연구를 위해 사용된 다양한 방법이 있으나 실제의 판재 성형 조건 즉, 금형과 소재간의 마찰, 소재에 인장하중 작용, 굽힘 변형 후 연속되는 역굽힘 변형을 잘 반영하고, 인장하중, 마찰, 금형 반지름의 조건 변화에 대한 스프링백의 영향을 주의 깊게 검토할 수 있도록 고안된 드로우벤드(draw/bend) 시험이 있다[3].

본 연구에서는 AZ31B 마그네슘 합금 판재에 대한 드로우벤드 시험을 수행하였다. 0.5t, 1.0t, 2.0t의 각각 두께가 다른 마그네슘 합금 판재에 대하여 금형 반지름과 인장하중을 조절하여 시험을 수행하였고, 두께, 금형 반지름, 인장하중의 스프링백에 대한 영향을 검토하였다.

1. 강원대학교 기계·메카트로닉스공학과

2. 오하이오주립대 재료공학과

교신저자: 강원대학교 기계·메카트로닉스공학부

E-mail : khy@kangwon.ac.kr

2. OSU 드로우벤드 시험[3]

2.1 시험개요

본 연구의 드로우벤드 시험은 오하이오주립대 재료공학과와 드로우벤드 시험기를 사용하였으며, 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, 2.0 mm의 판재를 폭 50 mm, 길이 660 mm의 크기로 전단 가공하였다.

시험 조건은 시험기의 액추에이터(B)를 25.4 mm/sec의 속도로 127 mm 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. 2와 같이 정의되며, 시험 즉시 시편 옆면 궤적을 종이 위에 추적·도시하고, 스캔장비를 이용하여 디지털화하였으며, AutoCAD 소프트웨어를 이용하여 스프링백 각도를 측정하였다. Fig. 2에 표시된 A-B 구간은 굽힘 변형 구간, B-C 구간은 굽힘-역굽힘 변형 구간이며, R' , θ_1 과 r' , θ_2 는 각각 A-B, B-C 구간의 스프링백과 관련된다. 각 구간의 스프링백 각도 및 전체 스프링백 각도는 식(1), (2), (3)으로 나타내어진다.

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

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

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

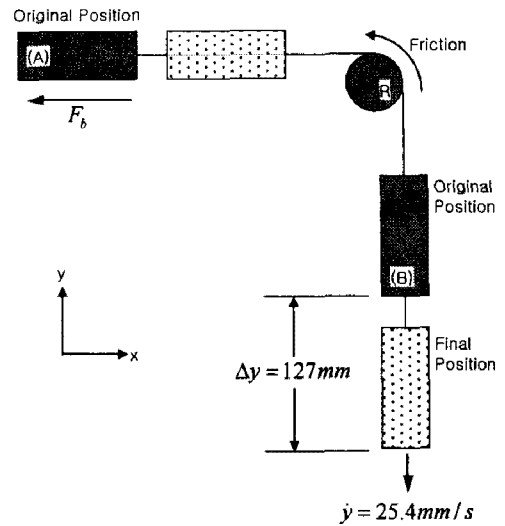


Fig. 1 Geometry of the draw/bend test

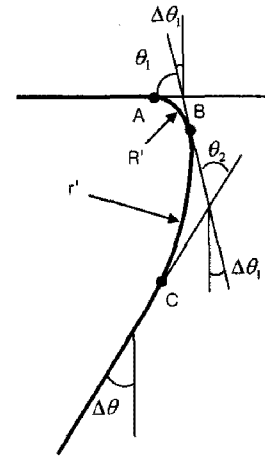


Fig. 2 Deformed shape and springback angle after unloading

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/t가 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 2 mm의 경우 표준구속력 0.55~0.65 사이에서, 1 mm와 0.5 mm의 경우는 각각 0.7~0.8, 0.9~1.0 사이에서 존재할 것으로 예상되며, 롤러 반지름이 작을수록 특정 값 이후 스프링백 감소폭이 크다.

R/t에 대한 경향을 살펴보면, 판재 두께가 일정

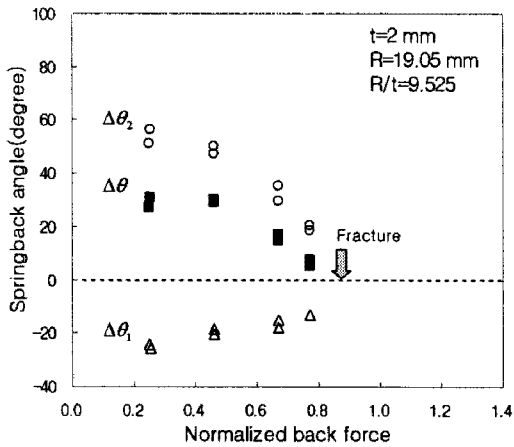


Fig. 3(a) Springback angle(R/t=9.525, t=2 mm)

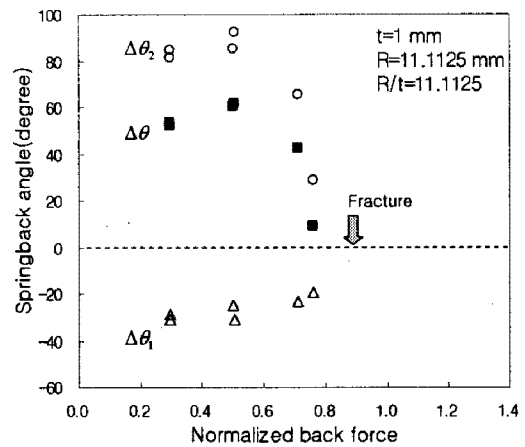


Fig. 4(b) Springback angle(R/t=11.1125, t=1 mm)

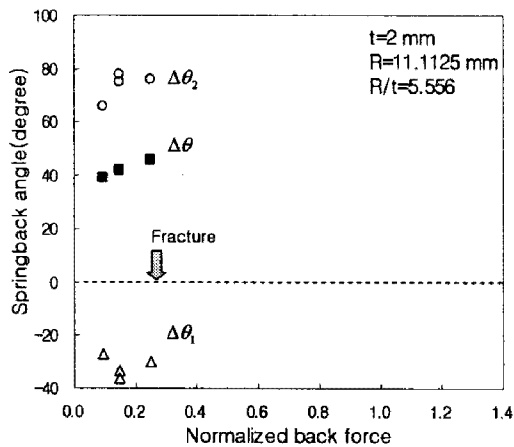


Fig. 3(b) Springback angle(R/t=5.556, t=2 mm)

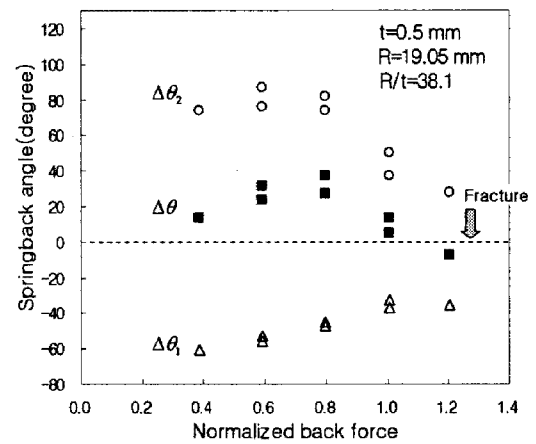


Fig. 5(a) Springback angle(R/t=38.1, t=0.5 mm)

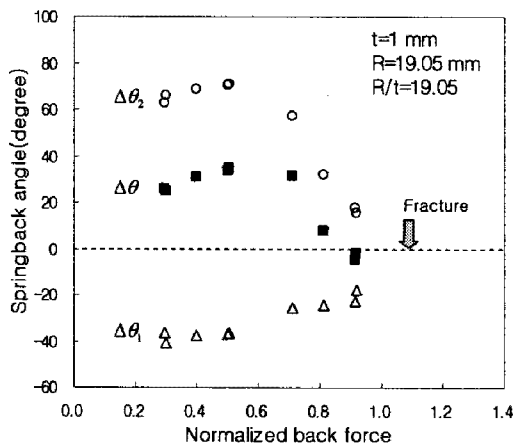


Fig. 4(a) Springback angle(R/t=19.05, t=1 mm)

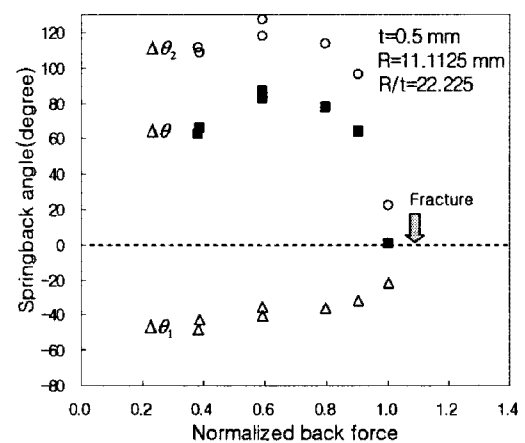


Fig. 5(b) Springback angle(R/t=22.225, t=0.5 mm)

하고 롤러 반지름이 변할 때 R/t 가 증가할수록 즉, 롤러 반지름이 클수록 스프링백이 작게 발생하였다. 반면, 롤러반지름이 일정하고 판재 두께가 변할 경우 롤러 반지름 11.1125 mm에 대해서 R/t 가 감소할수록 즉, 두께가 클수록 스프링백이 작게 발생하였다. 따라서, R/t 의 증감에 의한 스프링백 각도는 두께와 롤러반지름 중 어떤 변수가 고정 되는가에 따라 경향이 상반되었고, 롤러 반지름

19.05 mm에 대해서는 R/t 에 대한 스프링백 각도의 특정한 경향이 확연히 나타나지 않았다.

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.

Table 1 Comparison of material properties

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

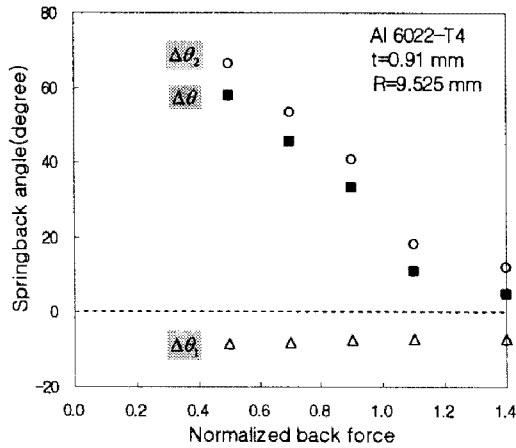


Fig. 6 Springback angles of aluminum 6022-T4[3]

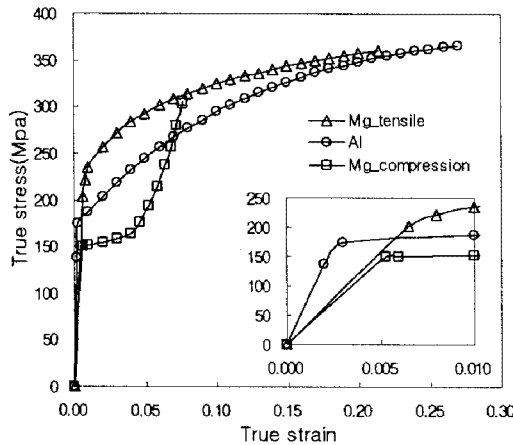


Fig. 7 Comparison of true stress-strain curves of aluminum and magnesium

3.2 토론

Fig. 6에 6022-T4 알루미늄 판재에 대한 드로우벤드 시험 결과를 인용하였다.[3] 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 감소폭 역시 마그네슘이 알루미늄에 비해 더 크게 나타났다.

또한, 알루미늄의 결과에서는 확인되지 않은 스프링백 증가 구간이 발견되었으며, 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[4]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.

후기

This work was supported by the International Joint R&D Program by Ministry of Commerce, Industry and Energy in Korea (10028109), which is greatly appreciated.

참고 문헌

- [1] 정하국, 최석우, 나경환, 2005, 마그네슘합금의 온간가공기술(현황), 한국소성가공학회지, 제14권, 제 8호, pp. 661~667
- [2] 이명환, 김현영, 김형종, 최이천, 김홍빈, 오수익, 2006, 마그네슘 합금 판재의 온간 성형에 대한 수치 모델링, 한국소성가공학회 추계학술대회 논문집, pp. 255~258.
- [3] 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.
- [4] 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.