[논문] 한국소성가공학회지, 제 27 권 제 3 호, 2018
Transactions of Materials Processing, Vol.27, No.3, 2018
https://doi.org/10.5228/KSTP.2018.27.3.139

마그네슘 합금 판재의 온간 V-굽힘에서 소재의 변형 및 보토밍 공정의 효과 분석

김현우[1] · 유제형[1] · 이창환[#]

Study on the Deformation Characteristics of AZ31B Sheets in V-bending and Effect of Bottoming Process

H. W. Kim, J. H. Yu, C. W. Lee

(Received January 8, 2018 / Revised April 16, 2018 / Accepted May 15, 2018)

Abstract

Many studies have been conducted on the process of forming magnesium alloy sheets to reduce the body weights of vehicles. Magnesium has a lower specific gravity than steel and also has a higher specific strength. Mg alloy sheets have low formability and a lot of springback due to their limited ductility and low young's modulus. As the temperature increases, the yield strength of the material decreases. Warm forming increases the formability and minimizes the springback of a material by heating it and the die to reduce the required load at forming. In this study, the temperature of the AZ31B sheet was controlled in order to reduce springback and increase formability. However, as the temperature increased, the deformation characteristics of the material changed and the radius of curvature of the material increased. The load and springback amount required for forming were analyzed according to the temperature and the bottoming force in the bending deformation.

Keywords: Warm Forming, Deformation Characteristics, Springback, Bending Radius, Magnesium Alloy Sheet

1. 서 론

현재 자동차 배기가스에 의한 공해가 사회의 커다란 문제로 거론되면서 연비절감 및 차체 경량화 대상으로 마그네슘 소재의 성형가공 기술에 대한 많은 연구가 수행되고 있다. 마그네슘 소재의 경우 밀도는 1.74 g/cm^3로 철의 비해 1/5 이며 비강도는 다른 금속들의 비해 높은 기계적 특성을 가지고 있다. 하지만 마그네슘 합금 판재는 조밀 육방 격자(HCP) 구조를 가짐으로써 철과 같은 면심 입방 격자(FCC) 구조의 재료와는 상이한 기계적 거동을 나타내며 소성가공 능력이 현저히 떨어지고 많은 스프링백이 발생한다.

이러한 문제를 해결하기 위해 성형 온도를 증가시켜 가공 시 필요한 하중을 감소시키고 스프링백으로 인한 치수 불량을 최소화 하는 온간 성형을 사용한다. 기존 마그네슘 합금 판재의 성형성 및 스프링백 특성의 관한 연구는 다음과 같다.

Wang 등[1]은 마그네슘 합금 소재의 온도에 따른 중립 축과 스프링백 변화 특성에 대해 연구하였으며, Bruni 등[2]은 마그네슘 합금 판재의 온간 에어 벤딩 성형 시 펀치의 반지름이 작을수록 스프링백이 감소함을 확인하였다. Hama 등[3]은 마그네슘 판재의 드로우 벤딩 성형 시 온도가 증가함에 따라 스프링백이 감소 함을 실험으로 확인하였다. Nguyen 등[4]은 마그네슘 합금 판재의 V-굽힘 공정 시 다양

1. 서울과학기술대학교 기계디자인금형공학과
Corresponding Author : Department of Mechanical system and Design Engineering, Seoul National University of Science and Technology

한 온도에서 스프링백 예측을 위한 재료 구성식 등을 연구하였다. 이들의 연구에서 마그네슘 판재는 250℃에서 성형성이 최대가 되고 스프링백이 최소화 됨을 알 수 있다.

본 연구에서는 다양한 굽힘 공정 중 V-굽힘에 대해 분석하였다. V-굽힘 공정은 금형의 상하운동에 의해 소재를 V형으로 굽히는 공정이다. V-굽힘 성형 시 마그네슘 소재의 특성 상 낮은 펀치 반지름으로 굽힘 성형을 할 경우 소재의 곡률반경은 펀치 반지름과 다른 거동을 보인다. 이러한 점을 보안하기 위해 중립 축 주위의 탄성영역에 높은 압축력을 가해 소재의 소성영역을 넓히는 보토밍 공정이 필요하다. 본 연구에서는 V-굽힘 공정에서 온도에 따른 소재의 스프링백 변화 및 보토밍력에 따른 소재의 곡률반경에 대해 분석하였다.

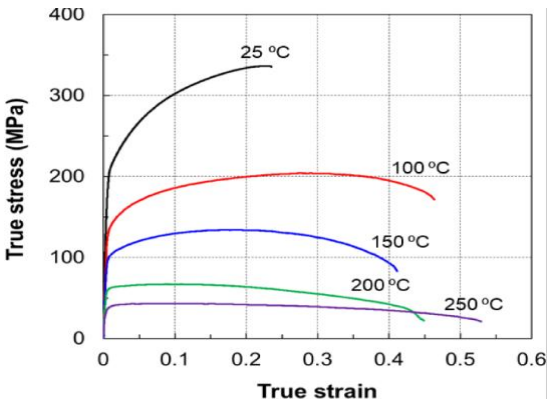

Fig. 1 Flow stress curve of magnesium alloy sheet by temperature [5]

2. 실험방법

2.1 시험 소재

시험 소재로 AZ31B 마그네슘 합금 판재와 온간 및 열간 금형 소재에 많이 적용되고 있는 SKD-61 합금을 사용하였다. AZ31B 합금 시편은 두께 1mm, 길이 200mm, 폭 30mm로 가공하여 사용하였다.

2.2 V굽힘 공정

시험에 사용한 V굽힘 금형은 Fig. 2와 같다. 각각의 금형에 온도 제어 장치를 설치하여 상온, 100°C, 150°C, 200°C, 250°C 에서 성형속도 2mm/s로 성형하였다. 목표실험 온도를 달성하기 위해 디지털온도조절기 및 카트리지 히터를 이용하였다. 금형의 온도를 일정하게 제어하여 준 뒤 소재 중심부 및 다이 접촉부에 K-type thermocouple을 부착 후 소재의 온도를 측정하였다.

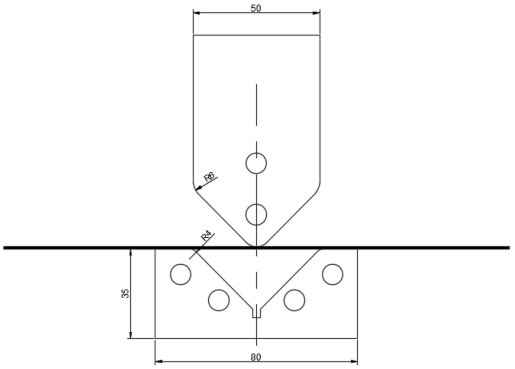

Fig. 2 Schematic drawing of punch, die and sheet

다이 및 펀치의 폭은 50mm이며 다이의 코너반경은 6mm이다. 펀치의 성형 각도는 90°이다. 펀치 반지름 1,2,4,6mm을 사용하여 보토밍 전까지의 스트로크(26mm)까지 성형한 후 각 온도에 따른 소재의 스프링백 변화를 측정하였다. 또한 250°C에서 펀치 반지름 1,2mm을 사용하여 보토밍력(0.2, 1.4, 2.6, 3.8kN)의 따른 소재의 스프링백 변화 및 곡률반경을 측정하였다. 스프링백 변화는 소재의 스프링백 후 각도와 하사점에서의 각도 차로 정의하였다. ($\Delta\theta = \theta_s - \theta_f$)

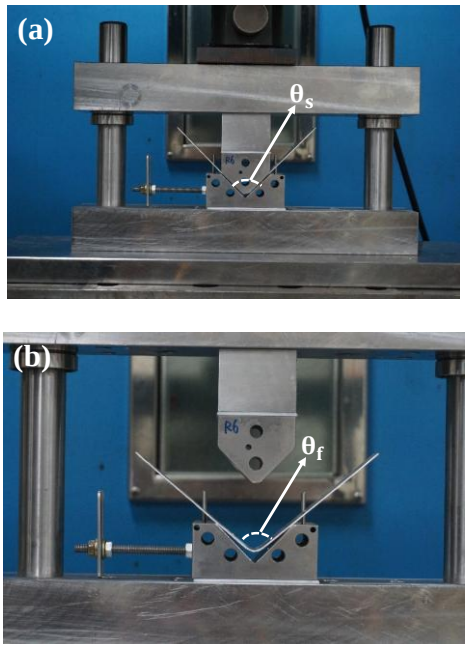

Fig. 3 Degree after (a)forming and (b) springback

3. 마그네슘 합금 판재의 V-굽힘 결과

3.1 온도별 성형성 분석

실험결과 펀치 반지름 값에 따른 마그네슘 소재의 성형성 변화는 Fig. 4과 같다. 상온에서 펀치 반지름 4mm, 6mm를 사용한 경우 상온에서 성형이 가능하였다. 펀치 반지름이 2mm인 경우 150°C 이후 성형이 가능하였으며 펀치 반지름 1mm인 경우 200℃ 이전에서 Fig. 5와 같이 크랙이 발생 하였다 [6].

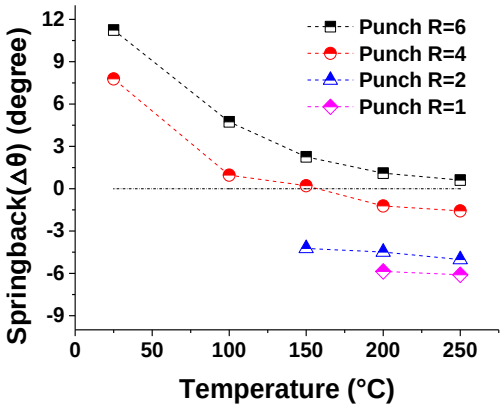

Fig. 4 Springback change with temperature

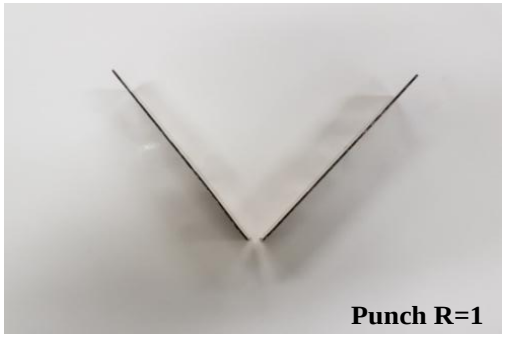

Fig. 5 Fracture shape of material at Punch R=1 at R.T

3.2 온도별 스프링백 변화

Fig. 6는 온도에 따른 스프링백 변화를 나타낸 실험 결과이다. 펀치 반지름 6mm로 성형 시 상온에서의 Δθ은 11.24°이며 250°C에서는 0.61°로 측정되었다. 이는 상온에 비해 250°C에서 스프링백이 약 95%가 감소 함을 알 수 있다[7,8].

3.3 펀치 반지름별 스프링백 변화

Fig. 7은 펀치의 반지름에 따른 스프링백 변화를 나타낸 실험 결과이다. 성형온도의 증가 및 R/t 값이 감소함에 따라 소재의 스프링백 변화는 감소하였다. 펀치 반지름이 4mm보다 작은 경우, 온도가 증가함에 따라 소재의 성형 후 각도 변화가 펀치의 성형각도 보다 낮은 스프링고 현상이 발생하였다. 이는 온도에 따른 마그네슘 소재의 변형 특성 및 공정상의 특성으로 인한 것이다.

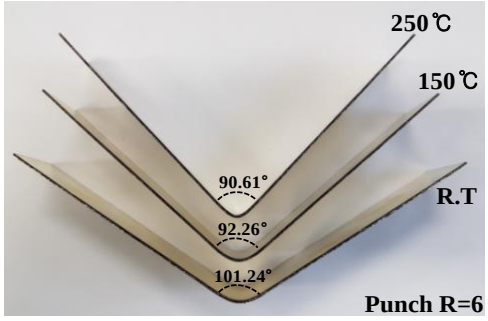

Fig. 6 Springback change of material at R.T, 150°C, 250°Cat punch R=6mm

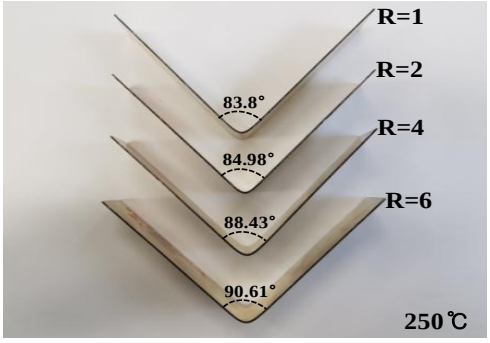

Fig. 7 Springback change of material at punch R=1,2,4,6mm at 250°C

3.4 온도에 따른 굽힘 변형 모드

온도에 따른 소재의 변형 특성을 Fig. 8에 나타내었다. 동일한 펀치 스트로크에서 펀치 반지름 4mm에 대해 온도에 따른 변형 특성을 분석하였다.

상온에서는 fig. 8(a)와 같이 펀치와 소재가 소재의 굽힘 변형이 발생하는 중심부에서만 접촉하게 된다. 그러나 250°C에서는 소재의 중심부와 더불어 Fig. 8(b)와 같이 펀치의 양 끝에서 접촉이 발생한다. 변형 초기에는 상온에서와 같이 중심부에서만 접촉이 발생하지만, 변형이 진행함에 따라 접촉영역이 변한다. 동일한 공정 조건에서 펀치의 양 끝으로 소재가 접촉 한 것은 소재의 각도가 더 작다는 것을 의미

한다. 이에 따라, 온도가 증가하면서 소재의 스프링백 각도가 음수 값을 갖게 되고, 원하는 성형 각도보다 더 굽혀지게 된다.

이러한 소재 특성의 변화는 소재의 온도가 증가함에 따라 유동응력 곡선이 낮아지게 되며 낮아진 항복강도로 인해 소재의 작용하는 소성변형 구간이 상온보다 넓은 구간에서 발생하기 때문이다[9,10].

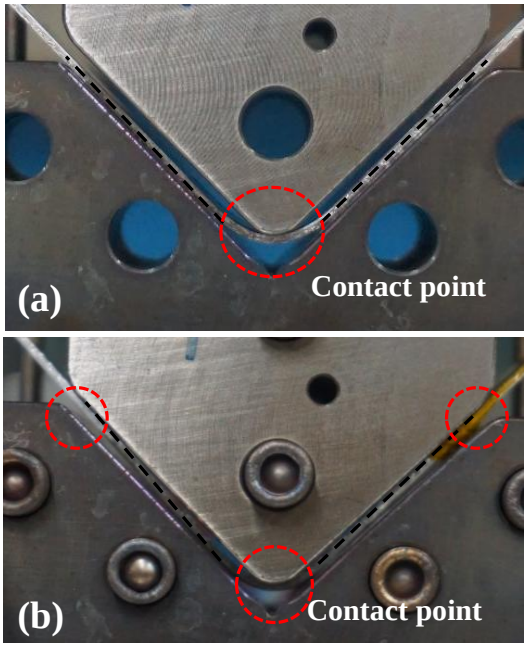

Fig. 8 Bending deformation Characteristic at punch R=4mm (a) R.T (b) 250°C

마그네슘 합금 판재의 성형성을 향상시키기 위해서는 온도를 향상시켜 소재의 항복응력을 낮추고 연성을 높이는 온간 성형이 필수적이다. 하지만 온도가 상승함에 따라 소재의 변형 특성은 상온과는 다른 거동을 띄게 되며 이러한 현상은 펀치의 형상과는 다른 불량의 원인이 된다. 따라서 온도가 상승함에 따라 소재의 거동 특성이 변할 경우 추가적인 소성변형을 가해주어 소재의 곡률반경을 펀치 반지름과 일치시켜주는 보토밍 공정이 필요하게 된다.

4. 보토밍에 따른 V-굽힘 결과

4.1 보토밍력에 따른 굽힘 변형 특성

250°C 온간 성형에서 보토밍력에 의한 소재의 변형특성을 확인하기 위한 실험결과로 펀치 반지름에 따른 하중-변위 선도를 Fig. 9에 나타내었다.

초기 펀치와 소재가 점 접촉을 이루며 성형이 진행 된 이후 펀치 R=1의 경우 스트로크 23mm, R=2의 경우 22mm에서 하중이 증가하기 시작한다. 이때, 펀치와 소재는 펀치 양 끝 및 펀치 중심의 3 점에서 접촉이 발생한다. 이후 스트로크가 증가함에 따라 펀치와 소재가 접촉하는 영역이 넓어 지며, 성형하중이 급격히 증가하였다. 상대적으로 높은 펀치 반지름 R=2mm에서 성형 시 소재와 펀치의 3점 접촉 변형이 2mm 오래 지속되었다. 펀치 하중이 급격하게 증가함에 따라, 굽힘 변형이 발생한 소재 중심부에 압축하중이 크게 가해지며, 이 때 소재 굽힘 반경이 펀치 반지름을 따라 변형한다.

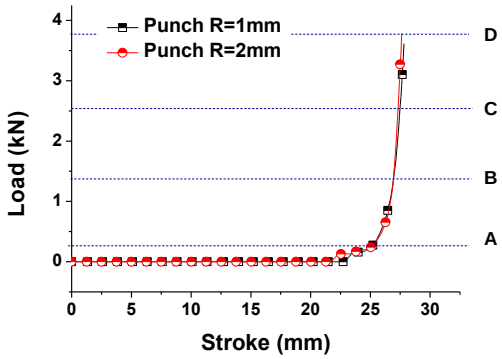

Fig. 9 Load-Displacement diagram at Punch R=1,2mm in V-bending process at 250°C

4.2 보토밍력에 따른 형상 변화

보토밍력에 따른 소재의 곡률 반경 및 소재의 스프링백 특성을 분석하였다. 보토밍력은 4가지 경우(0.2kN, 1.4kN, 2.6kN, 3.8kN) 에 대하여 실험을 진행하였고, 각각의 경우를 A, B, C, D로 명명하였다.

보토밍력에 따른 소재 중심부에서 곡률 반경 변화는 Fig. 10(a)와 같다. 펀치 반지름 R=1mm인 경우, 보토밍력이 증가함에 따라 소재의 곡률 반경이 0.2kN에서 4.34mm이고, 3.8kN에서는 1.04mm로 크게 감소하였다. 펀치 반지름 R=2mm인 경우 소재의 곡률 반경이 0.2kN에서 3.53mm이고, 3.8kN에서는 2.17mm로 감소하였다.

보토밍력에 따른 소재의 스프링백 각도 변화는 Fig. 10(b)와 같다. 펀치 반지름 R=1mm인 경우, 0.2kN에서 소재의 Δθ는 -3.51°이고, 3.8kN에서 Δθ는 0.17°이다. 펀치 반지름 R=2mm인 경우, 0.2kN

에서 소재의 Δθ는 -4°이고, 3.8kN에서 Δθ는 0.11° 이다.

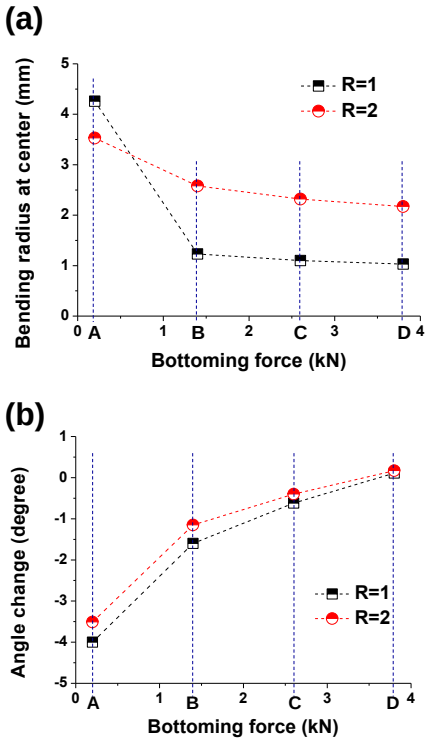

Fig. 10 Change of (a) the bending radius of the material and (b) the angle change with the punch R=1,2mm depending on the bottoming force in V-bending process

Fig. 11은 펀치 반지름 R=1mm에서 보토밍 하중이 0.2kN, 3.8kN 인 경우의 성형 결과이다. 두 경우 모두 보토밍력이 증가함에 따라 소재의 곡률변화 및 성형 이후 각도는 펀치 반지름 값으로 수렴하였다.

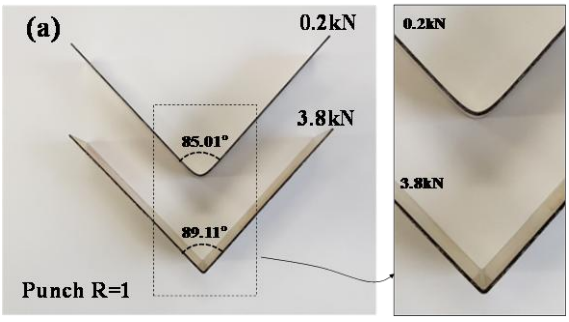

Fig. 11 Change of material according to bottoming force (a) springback and (b) radius of curvature at Punch R=1mm

보토밍 공정을 통해 소재의 추가적인 소성변형을 발생시켜, 펀치 반지름과 일치하는 소재의 곡률반경으로 성형 가능함을 확인하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 마그네슘 판재 및 금형을 가열 시켜 굽힘 공정에서 온도에 따른 스프링백 변화와 보토밍력에 따른 소재의 곡률반경 변화를 분석한 결과 다음과 같다.

(1) 성형 온도가 증가함에 따라 스프링백이 감소하였지만 특정 펀치 반지름 이하에서는 소재의 굽힘 변형변화 및 공정특성으로 인해 스프링고 현상이 발생함을 확인하였다.

(2) 성형온도를 높일 경우 소재의 곡률반경이 펀치 스트로크에 따라 커지게 된다. 이를 보안하기 위한 방법으로 소재에 보토밍력을 추가적으로 가하여 최종 소재의 곡률반경과 펀치 반지름이 같아지게 할 수 있다. 따라서 마그네슘 판재 성형 시 온도 제어를 통해 스프링백 현상을 최소화 하고 추가적인 가압력에 따른 최종 소재의 곡률반경이 펀치 형상에 수렴함을 확인하였다.

후 기

이 연구는 서울과학기술대학교 신임교수 연구정착비의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

[1] L. Wang, G. Huang, H. Zang, Y. Wang, L. Yin, 2013, Evolution of springback and neutral layer of AZ31B magnesium alloy V-bending under warm forming conditions, J. Mater. Process. Technol., Vol. 213, No. 6, pp. 844~850.

[2] C. Bruni, A. Forcelles, F. Gabrielli, M. simoncini, 2006, Air bending of AZ31 magnesium alloy in warm and hot forming conditions, J. Mater. Process. Technol., Vol 177, No.1-3, pp. 373~376.

[3] T. Hama, Y. Kariyazaki, K. Ochi, H. Fujimoto, H.Takuda, 2010, Springback Characteristics of Magnesium Alloy Sheet AZ31B in Draw-Bending, J. Jpn. Soc. Technol. Plast. Vol. 51, No. 4, pp. 685~693.

[4] D.T Nguyen, S.H. Yang, D.W. Jung, T.L Banh, Y. S Kim, 2012, A study on material modeling to predict spring-back in V-bending of AZ31 magnesium alloy sheet at various temperatures, Int. J. Adv. Manuf. Technol., Vol 62, No 5-8, pp.551-562.

[5] N.T. Nguyen, O.S. Seo, C.A. Lee, M.G Lee, J.H Kim, H.Y. Kim, 2014, Mechanical Behavior of AZ31B Mg Alloy Sheets under Monotonic and Cyclic Loadings at Room and Moderately Elevated Temperature, Mater., Vol 7, No 2, pp 1271~1295.

[6] D.G. Jung, H.K. Kim, 2010, A study on magnesium alloy sheet springback caused by warm press forming process, fall meeting of KSPE, pp.871~872

[7] E.H. Lee, J.W. Yoon, D.Y. Yang, 2017, Study on springback from thermal-mechanical boundary condition imposed to V-bending and L-bending processes coupled with infrared rays local heating, Int. J. Mater. Form., DOI:10.1007/s12289-017-1375-2, pp.1~17.

[8] E.H. Lee, J.S. Hwang, C.W. Lee, D.Y. Yang, 2014, The Effect of Temperature on Springback of AZ31, Ti-GR2 during V-bending with Focused Heating using Near-infrared Radiation, Trans. Mater. Process., Vol. 23, No. 8, pp. 469~474.

[9] Y.Q. Cheng, H. Zhang, Z.H. Chen, K.F. Xian, 2008, Flow stress equation of AZ31 magnesium alloy sheet during warm tensile deformation, J. Mater. Process. Technol., Vol. 208, No. 1-3, pp. 29~34.

[10] C.A. Lee, M.G. Lee, O.S. Seo, N.T. Nguyen, J.H. Kim, H.Y. Kim, 2015, Cyclic behavior of AZ31B Mg: Experiments and non-isothermal forming simulations, Int. J. Plast., Vol. 75, pp. 39~62.