

마그네슘 합금 AZ31 판재의 온간 드로잉에서의 다단 성형 공정 적용

김흥규[#], 김기덕¹

Multi-Stage Forming Process Applied to Warm Drawing of Magnesium Alloy AZ31 Sheet

H. K. Kim, G. D. Kim

Abstract

In the present investigation, the multi-stage warm drawing process was applied to the magnesium alloy AZ31 sheet to examine the feasibility of multi-stage forming process as a high formability product making process. For that purpose, a multi-stage drawing die system with heating module was developed, and the AZ31 sheets of different sizes were consecutively drawn by the multi-stage drawing die. The obtained drawn cups of AZ31 showed that the multi-stage drawing provided the better formability than the single stage drawing in terms of drawing depth without cup defects such as wrinkles or fractures. The sheet formability improvement by using the multi-stage drawing die system against the single stage was also analyzed in terms of the finite element analysis of material state variables evolution.

Key Words : Multi-Stage Warm Drawing, Magnesium Alloy, AZ31, Formability

1. 서론

최근 마그네슘 판재 프레스성형 방식이 널리 관심을 받으면서 국내외에서 이에 대한 많은 연구가 진행되었다.[1-12] 일반적으로 마그네슘의 경우 상온에서의 성형성이 매우 나쁘기 때문에 주로 소재 가열 시스템을 갖는 프레스 금형 내에서 온간 성형을 하게 된다. 그러나 이러한 온간 성형에서도 성형성이 충분히 만족스럽지는 않고 이를 해결하기 위해 소재는 물론 성형 공정 차원에서의 많은 연구가 필요한 상황이다. 또, 양산화를 고려할 때 현재로서는 성형 사이클 시간도 너무 길다.

이러한 문제점을 해결할 수 있는 좋은 방법 중의 하나는 바로 연속 공정을 기반으로 하는 다단 성형 공정의 적용이다. 이것은 상온 프레스 성형의

경우 이미 많은 양산 공정에 대해 적용되었다. 물론 다단 성형 방식도 단일 성형 단계에서 어느 수준 이상의 성형성이 확보되어야 된다. 필요 수준의 성형성이 확보되지 않으면 다단 공정을 통한 성형성과 경제성의 향상을 얻기 힘들다. 마그네슘의 경우, 상온 성형성은 상당히 나쁘지만 소재 가열을 통해 필요 수준의 성형성이 확보될 수 있기 때문에 다단 성형의 가능성이 있다. 그러나 현재까지 마그네슘에 대해 다단 금형 성형을 적용한 사례는 없다. 본 논문에서는 온간 다단 금형을 개발하여 마그네슘의 다단 성형 가능성을 시험해 보고자 하였다.

이를 위해 온간 금형으로 구성된 트랜스퍼 방식의 다단 금형을 개발하였다. 가능성을 보기 위해 우선은 3단 성형으로 제한하여 250도에서 다단 성형 시험을 하였다. 성형성 비교를 위해 3단에서 한번에 성형한 결과와 비교하고 성형성 차이에 대해 검토하였다.

1. 한국생산기술연구원 정밀금형팀

교신저자: 한국생산기술연구원 정밀금형팀,

E-mail: krystal@kitech.re.kr

2. 마그네슘 판재의 온간 다단 드로잉

2.1 온간 드로잉금형과 서보프레스 장치

가열 모듈을 갖는 트랜스퍼 타입의 다단 드로잉 금형을 개발하였다. 본 논문에서는 3단에 걸친 다단 성형을 수행하였는데, 각 단에서 설계된 펀치와 다이는 Fig. 1에 보인 것과 같다. 이렇게 개발된 금형 시스템은 Fig. 2에 보인 것과 같은 서보프레스 위에 장착되어 작동되었다.

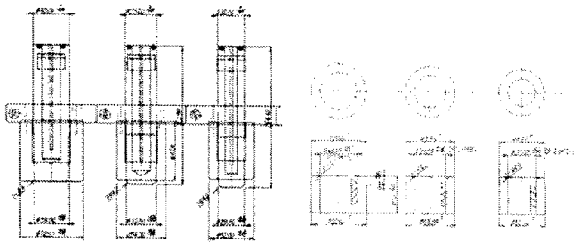


Fig. 1 Punch and die design for multi-stage drawing



Fig. 2 Servo press (Komatsu, 200ton)

2.2 3단 드로잉과 단일 드로잉 성형 시험

드로잉 컵의 치수(지름, 높이)는 다이와 펀치 스트로크에 의해 결정되는데 여기서는 다이 지름 30mm, 펀치 스트로크 15 mm 를 목표로 하였다. 물론 컵의 지름과 달리 컵의 높이는 블랭크의 크기에 의해 바뀔 수 있다. 드로잉 시험에 사용된 시편은 지름 46mm, 두께 0.6mm 의 AZ31 원형 블랭크이다. 각 단에서 성형될 컵의 형상은 Fig. 3에 보인 것과 같이 설계되었다. 이러한 컵의 형상은 Fig. 1에 보인 펀치, 다이 세트의 설계에 따라 정해지게 된다.

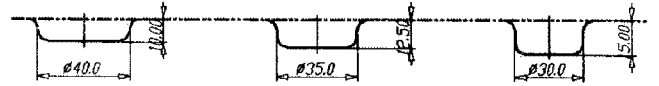


Fig. 3 Cup shape design for three stage drawing

실험에서 블랭크는 1, 2, 3 단에 걸쳐 연속적으로 드로잉 성형된다. 이때 블랭크 홀딩력 가압을 위한 블랭크 홀더는 편의상 1 단에서만 장착되어 적용되었다.

다단 성형과 단일 성형의 비교를 위해 같은 규격의 블랭크를 사용하여 1, 2 단을 거치지 않고 3 단에서 바로 드로잉 성형하였다. 이때는 블랭크 홀더를 3 단에 장착하여 블랭크 홀딩을 하였다.

다단 성형의 경우 각 단에서 성형된 컵의 모양을 단일 성형의 경우와 비교하여 Fig. 4, 5에 나타내었다. 그림을 보면, 3 단에서 바로 성형한 컵의 모양인 Fig.4(d)에서는 컵 벽면상에 주름과 찢어짐 등의 성형 불량에 관찰되는 반면, 1 단, 2 단, 3 단을 단계적으로 거친 다단 성형의 최종 컵 모양인 Fig.4(c)는 훨씬 양호한 벽면 상태를 보임을 알 수 있다.

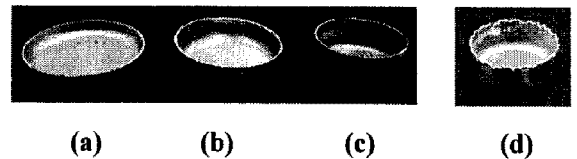


Fig. 4 Drawn cup shapes at (a) 1st stage, (b) 2nd stage, (c) 3rd stage for three stage drawing, and (d) single stage drawing at 3rd stage.

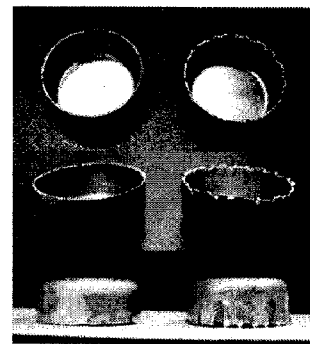


Fig. 5 Comparison of drawn cup shapes, (left) after three stage drawing, (right) after single stage drawing at 3rd stage

3. 다단 드로잉에서의 성형성 평가

3.1 다단 드로잉의 유한요소해석

일반적으로 다단 성형 공정에서의 물성 및 성형성 변화에 대해 정확히 분석하는 것은 상당히 어려운 것으로 알려져 있다. 따라서 본 논문에서는 다단 성형에서 얻는 성형성의 변화를 유한요소해석을 통해 일반적인 관점에서 살펴보고자 한다. 이를 위해 블랭크 상의 4 개의 점에 대해 유한요소해석을 통한 상태변수 point tracking 을 하였는데 이들 4 개 점의 위치는 Fig. 6 에 보인 것과 같다.

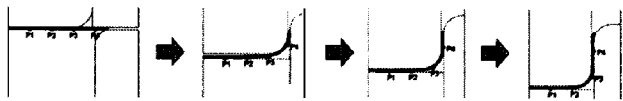


Fig. 6 Four points on blank for point tracking of state variable

3.2 FLD 관점에서의 성형성 고찰

상태변수는 재료의 성형성을 평가하기에 적합한 변수를 택하는 것이 좋은데, 현재까지 판재의 다단 성형 공정에 적합한 최적의 변수에 대해서 명확히 알려져 있지 않다. 그런 이유로 본 논문에서 major-변형률과 minor-변형률을 변화를 추적하기로 했는데, 이것은 현재까지 판재에 대해 가장 널리 이용되는 FLD(성형한계도) 관점에서의 평가를 하기 위해서이다. 3 단에 걸친 다단 성형 공정에서의 변형률(major-, minor-) 변화를 추적하였으며 이를 3 단에서 바로 성형한 경우의 변형률 변화와 비교하여 Fig. 7 에 표시하였다.

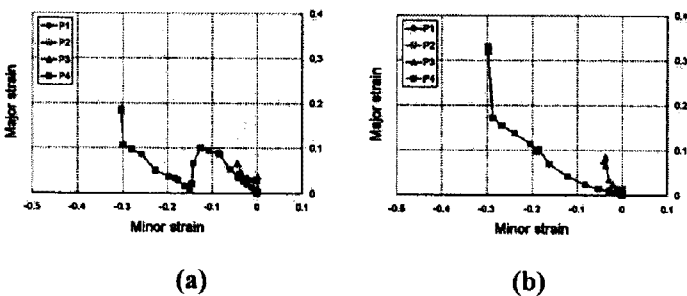


Fig. 7 Comparison of major- and minor-strain evolution, (a) three stage drawing, and (b) single stage drawing at 3rd stage

상은 이상 온도 범위에서의 AZ31 판재 FLD 선도에 대한 기존 연구 결과를 참고하면[11,12] 그 정량적인 값의 범위는 비록 다르지만 선도의 형태는 잘 알려진 소재의 상온에서의 FLD 와 유사함을 알 수 있다. 따라서 이러한 사실을 토대로 Fig. 7 를 다시 살펴보면 다단 성형 공정이 단일 성형 공정에 비해 최종적인 성형성 측면에서는 좀 더 안전하다고 예상할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 마그네슘의 온간 다단 성형의 가능성을 살펴보고자 하였다. 이를 위해 가열 모듈을 갖는 트랜스퍼 방식의 다단 드로잉 금형 시스템을 개발하고, AZ31의 판재 블랭크를 사용하여 실제 3단에 걸친 다단 드로잉 시험을 하였다. 성형성의 차이를 살펴보기 위하여 1, 2단을 거치지 않고 3단에서 바로 드로잉한 결과와 비교하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 다단 성형에 의해 AZ31 합금 판재의 드로잉 성형 한계가 증가하였다. 실험 결과에 근거해 추정하면, 3 단에서 바로 드로잉할 경우 LDR 이 약 1.2 이하였는데 비해 1,2,3 단을 거쳐 다단 드로잉하면 LDR 이 약 1.5 이상으로 예상된다. 즉, LDR 관점에서 보면 약 30% 가까이 성형성이 향상될 것으로 예상된다.

(2) 블랭크 위의 4 개 점의 Major-, minor-변형률 변화를 비교하고 FLD 관점에서 살펴본 결과, 현재까지 알려져 있는 마그네슘 판재의 FLD 의 모양을 고려하면 다단 성형이 단일 성형에 비해 성형성 측면에서 유리할 수 있음을 알 수 있었다. 물론 구체적인 성형성 한계 및 설계 가이드라인은 마그네슘 판재에 대한 온간 조건에서의 FLD 데이터가 얻어져야 가능할 것이다.

(3) 현재까지 시험 결과에서는 플랜지 주름이 완벽히 제거되지 않았는데 향후에는 이를 보완한 시험과 분석이 필요하다.

후 기

본 연구는 2010 생산기반혁신기술개발사업의 경량판재 프레스성형부품화 기술개발 과제의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다

참 고 문 헌

- [1] 박진기, 김영석, T. Kuwabara, 유봉선, 2005, AZ31 마그네슘 합금 판재의 소성변형특성, 한국소성가공학회지, 제 14 권, 제 6 호, pp. 520~526.
- [2] 추동균, 강충길, 이준희, 2005, 툴 표면처리 및 온도가 AZ31 마그네슘 판재의 드로잉에 미치는 영향, 한국소성가공학회 2005 년도 추계학술대회 논문집, pp. 118~121.
- [3] 김홍규, 이위로, 홍석관, 김종덕, 한병기, 2006, 마그네슘 합금 AZ31 판재의 온간 사각컵 디프드로잉 공정의 유한요소 해석, 한국소성가공학회지, 제 15 권, 제 3 호, pp.232-240.
- [4] 김홍규, 김종덕, 2006, 고체 윤활제를 사용한 마그네슘 합금 AZ31 판재 온간 디프드로잉의 성형성 평가, 한국소성가공학회지, 제15권, 제6호, pp.453-458.
- [5] 김홍규, 김기덕, 2007, AZ31 판재의 온간 사각컵 디프드로잉에서 금형 설계에 대한 성형성 민감도의 평가, 한국소성가공학회지, 제16권, 제2호, pp.120-125.
- [6] 이명환, 김현영, 김형중, 김홍규, 오수익, 2007, 마그네슘 합금 판재의 온간 딥드로잉 공정의 성형해석, 한국소성가공학회지, 제16권, 제5호, pp.401-405.
- [7] E. Doege, K. Droder, 2001, Sheet metal forming of magnesium wrought alloys-formability and process technology, J. Mat. Proc. Tech., Vol. 115, pp. 14~19.
- [8] H. Takuda, T. Yoshii, N. Hatta, 1999, Finite-element analysis of the formability of a magnesium-based alloy AZ31 sheet, J. Mat. Proc. Tech., Vol. 89-90, pp. 135~140.
- [9] N. Ogawa, M. Shiomi, and K. Osakada, 2002, Forming limit of magnesium alloy at elevated temperatures for precision forging, Int. J. Mach. Tool. Manufac., Vol. 42, pp. 607~614.
- [10] D. L. Yin, K. F. Zhang, G. F. Wang, and W. B. Han, 2005, Warm deformation behavior of hot-rolled AZ31 Mg alloy, Mat. Sci. Eng. A, Vol. 392, pp. 320~325.
- [11] F.K. Chen, T.B. Huang, 2003, Formability of stamping magnesium-alloy AZ31 sheets, J. Mat. Proc. Tech., Vol.142, pp.643-647.
- [12] F. K. Chen, T. B. Huang, C. K. Chang, 2003, Deep drawing of square cups with magnesium alloy AZ31 sheets, Int. J. Mach. Tool. Manufac., Vol. 43, pp. 1553~1559.