

고체 윤활제를 사용한 마그네슘 합금 AZ31 판재 온간 디프드로잉의 성형성 평가

김흥규[#] · 김종덕¹

Evaluation of Warm Deep Drawability of Magnesium Alloy AZ31 Sheet Using Solid-Type Lubricants

H. K. Kim, J. D. Kim

(Received June 27, 2006)

Abstract

While the die casting has been mainly used to manufacture the magnesium alloy parts, the press forming is considered as an alternative to the die casting for saving the manufacturing cost and improving the structural strength of the magnesium alloy parts. Because the magnesium alloy has low formability at room temperature, forming at elevated temperatures is a necessary condition to obtain the required material flow for press forming. However, the elevated temperature forming does not always guarantee the sufficient formability under the dry friction condition because the surface damage such as scratch or wear may accelerate the material failure. In the present study, the solid-type lubricants such as PTFE, graphite and MoS₂ were tested for the square cup warm deep drawing using the magnesium alloy AZ31 sheet. The formability improvement by using the lubricant was examined by comparing the maximum deep drawing depth using the PTFE against no lubricant. The formability difference for the different lubricant was also examined based on the maximum deep drawing depth.

Key Words : Press Forming, Magnesium Alloy, Lubricant, PTFE, Graphite, MoS₂, Deep Drawing

1. 서 론

마그네슘 합금은 약 1.8의 비중으로 알루미늄, 티타늄에 비해서도 훨씬 가벼운 소재이면서도 비강도, 전자파 차폐성, 진동 감쇠능, 열전도도 등에서 매우 우수한 특성을 갖고 있다. 이에 최근 에너지 절약 및 공해 저감을 위한 자동차 경량화는 물론이고 전자제품에서 인체에 대한 전자파 차단 을 위해 마그네슘 합금으로 제작된 부품과 제품의 수요가 급증하고 있는 추세이다.

그런데 마그네슘 합금은 마그네슘의 조밀육방

체(HCP) 결정구조로 인해 일반적으로 상온에서의 소성가공성이 좋지 않아 주로 액체 상태에서의 주조 또는 다이캐스팅에 의해서 원하는 형상으로 성형 가공된다. 그러나 이럴 경우 구조용 부품으로 성형되었을 때의 기계적 강도 저하, 표면 처리를 위한 높은 후처리 비용, 초박판 형상의 부품 개발의 어려움 등이 있다. 이런 이유로 최근 들어서 가열된 소재를 소성가공하는 온간 프레스 성형 방식이 큰 주목을 받고 있다[1~7].

이것은 일반적으로 마그네슘 합금이 상온에서와는 달리 가열된 상태에서는 소성가공성이 크게

1. 한국생산기술연구원 정밀금형팀

교신저자 : 한국생산기술연구원 정밀금형팀.

E-mail : krystal@kitech.re.kr

향상되어 프레스 성형이 가능하기 때문이다. 그러나 프레스 성형이 성공하기 위해서는 마그네슘 합금 소재를 적절한 온도로 가열할 뿐만 아니라 기타 공정 조건도 성형성을 극대화할 수 있도록 설정되어야 한다. 왜냐하면 마그네슘 합금의 성형성이 온도 조건뿐만 아니라 변형 속도, 금형과의 마찰로 인한 표면 손상 등의 성형 조건에도 비교적 민감하게 영향을 받는 소재이기 때문이다. 따라서 마그네슘 합금을 사용한 최적의 프레스 성형을 위해서는 온도뿐만 아니라 그와 같은 기타 공정 조건에서도 최적의 조건을 도출하고 이를 적용할 필요가 있다.

위와 같은 이유로 본 연구에서는 마그네슘 합금 판재의 온간 프레스 성형을 위한 윤활 조건을 대상으로 최적의 조건을 도출하고자 하였다. 최적의 윤활 조건을 찾기 위해 몇 가지 윤활제를 사용하고 그로 인한 성형성 향상 결과를 무윤활의 경우와 비교하고 검토하였다. 대상 공정으로는 마그네슘 합금 AZ31 판재를 사용한 온간 사각컵 디프드로잉을 선택하였다. 판재가 최고 250°C 까지 가열되므로 유체 윤활제의 경우 온도에 의한 변성 가능성이 예상되므로 대신 3 가지의 고체 윤활제를 선택하고 이를 시험하였다. 본 연구에서는 윤활제의 효과를 고찰하는 것이 목적이므로 편의를 위해 스프레이 도포 방식의 윤활제를 사용하여 성형용 판재 시편에 직접 윤활 처리하였다.

2. AZ31 판재의 온간 디프드로잉

2.1 온간 사각컵 디프드로잉 금형

마그네슘 합금 판재 AZ31의 디프드로잉 성형 시험을 수행하기 위하여 금형 내 소재 가열이 가능한 온간 사각컵 디프드로잉 금형을 설계, 제작하였다. 펀치, 블랭크 홀더, 하부 다이를 표현하는 형상 변수들을 Fig. 1에 개략적인 도면과 같이 나타내었으며, 본 연구에서 설계, 제작된 금형의 구체적인 형상 치수들을 Table 1에 나타내었다. 펀치는 40mm×40mm의 정사각형 단면을 갖고 있고 판재 두께 0.8mm를 고려하여 펀치 벽면과 하부 다이 벽면 사이의 간격은 0.96mm가 되도록 하였다.

펀치, 블랭크 홀더, 하부 다이는 모두 SKD11 을 사용하여 제작하였고, 소재와 접촉하는 펀치면과 하부 다이면에는 최종적으로 연마 작업을 수행

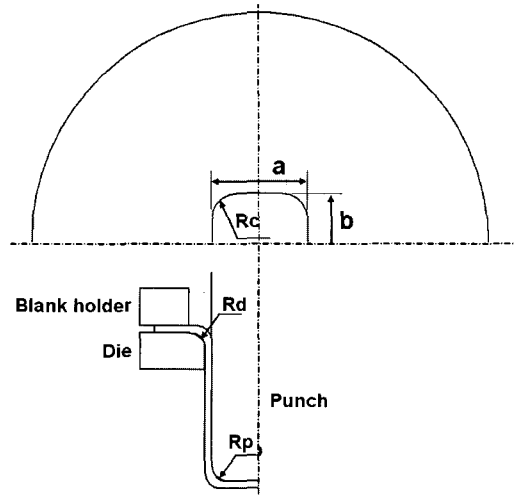


Fig. 1 Geometric parameters of the square cup deep drawing die

Table 1 Spec. of the square cup deep drawing die

Table 1 Spec. of the square cup deep drawing die	
Punch size (a × b)	40 × 40mm
Punch radius (Rp)	6.25mm
Corner radius (Rc)	10.96mm
Die radius (Rd)	6.25mm
Clearance	0.96mm

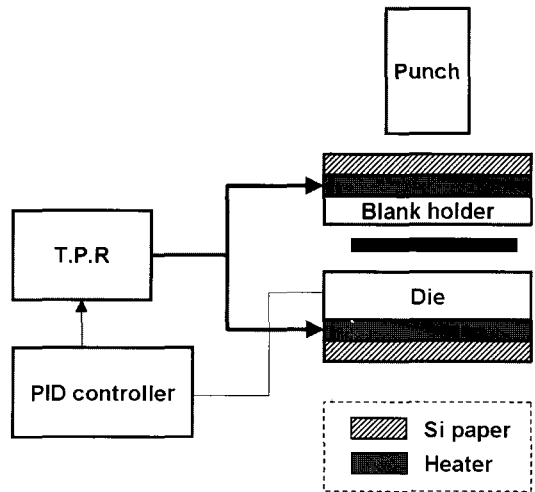


Fig. 2 Schematic diagram of the die heating system

하였다. 금형 내부 온도의 가열을 위하여 블랭크 홀더와 하부 다이 내부에 시즈히터(Sheath Heater) 타입의 열선을 삽입하였다. 가열된 금형으로부터

의 열 손실을 막고 금형 프레임을 비롯한 다른 부위의 열로 인한 영향을 방지하기 위해 블랭크 홀더 위와 하부 다이 아래 부분에 단열재를 삽입하였다. 이와 같은 전체 금형 가열 시스템은 Fig. 2와 같이 구성되었는데, 하부 다이에 삽입된 열전대를 통해 온도를 측정하고 이 값을 기준으로 PID 제어기와 TPR(Thyristor Power Regulator)를 통해 블랭크 홀더와 하부 다이의 열선에 적절한 전류를 흘려주어 원하는 온도로 금형을 가열하였다.

본 연구에서는 위와 같이 구성된 온간 디프드로잉 금형을 일반적인 만능시험기(U.T.M)에 설치하여 디프드로잉을 수행하였다.

2.2 AZ31 블랭크 및 공정 조건

마그네슘 합금 판재 AZ31로부터 지름 120mm인 원형 블랭크를 시편 가공하였다. 블랭크의 형상 및 크기에 따라 사각컵 성형 공정의 특성과 성형 후의 플랜지 형상 등이 달라질 수 있으나, 본 연구에서는 우선 원형 블랭크만을 대상으로 하였고 설계된 드로잉 깊이까지 성형하는데 적절한 소재의 양을 고려하여 블랭크 지름을 120mm로 결정하였다.

블랭크 홀더에는 유압펌프를 사용하여 블랭크 홀딩 압력(Blank Holding Pressure; BHP)을 가하였는데 본 성형 공정에서는 5.0MPa의 블랭크 홀딩 압력을 사용하였다. 프레스 장비로 사용한 만능시험기의 가압 속도 범위를 고려하여 펀치의 스트로크 속도로 10mm/min을 사용하였다.

2.3 온간 디프드로잉 시험

윤활제 없이 디프드로잉을 수행한 결과 온간 공정의 경우 냉간 공정에 비해 성형성이 향상되었으나 아직 만족할 만한 수준의 성형성을 얻을 수는 없었다. 이에 온간 디프드로잉에 적합한 윤활제를 사용하여 성형성을 더욱 향상시킬 수 있는지를 시험하였다. 이 때 온간 디프드로잉의 온도 조건이 상온에서 거의 300°C까지의 범위인 점을 고려하면, 이 온도 범위에서 제 기능을 발휘할 수 있는 윤활제를 사용해야 했다. 이러한 점을 고려하면 일반적인 유체 윤활유나 그리스 등에 비해 고체 윤활제가 적합할 것으로 판단하였다. 따라서 본 연구에서는 다음의 3 가지 종류의 고체 윤활제를 선택하였다.

- PTFE(폴리테트라플루오르에틸렌) : 260°C에서의 장기 사용에 견디는 내열성과 전기절연성 등의

특성이 있다. 단점은 낮은 기계적 강도, 마찰열로 인한 재료표면의 용융, 마멸량이 비교적 큰 점 등이다. PTFE를 사용하면 0.005~0.02 정도의 마찰 계수를 갖는다고 알려져 있다.

- MoS₂(이황화몰리브덴) : 높은 내압성을 갖고저온에서 400°C 정도의 고온에 이르기까지 낮은 마찰계수를 나타내지만 윤활제 효과를 위해서는 부작성을 개선할 필요가 있다.

- 흑연 : 열팽창률이 극히 작아서 고온에서의 치수 정밀도가 우수하고, 대부분의 금속에 비하여 열전도율이 크다. 이렇게 열팽창률이 작고 열전도율이 커서 급격한 온도변화에 견디는 내열충격성이 우수하다. 이 밖에 높은 전기 전도성과 온도와 강도와의 비례성 등의 특성을 갖는다.

이러한 3 가지의 고체 윤활제를 사용하여 마그네슘 합금 AZ31 판재 블랭크의 상하면에 스프레이를 사용하여 윤활제를 도포하였다. 3 가지 모두 분말 스프레이 형태로 되어 있는 것을 사용하여 블랭크의 상하면에 골고루 도포함으로써 표면에 윤활 막이 형성되게 하였다. 그 후 윤활을 하지 않았을 때와 동일한 방식으로 온간 디프드로잉 시험을 수행하였다.

3. 윤활제를 사용한 온간 디프드로잉

3.1 윤활제 사용에 따른 성형성

상온, 100, 150, 200, 250°C의 온도에서 온간 디프드로잉 성형 시험을 수행하였고 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 최대 드로잉 깊이는 드로잉되는 사각컵에 파단이 발생하는 순간까지의 드로잉 깊이를 의미한다. 온도별 결과를 보면 상온에서부터 온도가 증가할수록 파단 되기까지의 컵 성형 깊이는 증가하였으나 250°C가 되면 오히려 감소함을 볼 수 있었다. 이는 기존의 연구 결과[7]에 나타난 경향과 유사하다.

한편 윤활제를 사용하지 않았을 때보다 윤활제를 사용했을 때 성형성이 향상되는 것을 관찰할 수 있었다. 정량적인 비교를 위해 PTFE를 사용했을 때의 온도별 최대 디프드로잉 깊이를 무윤활일 때와 비교하여 Fig. 3에 나타내었다. 그림을 보면 디프드로잉 성형성이 가장 좋은 온도 200°C 부근에서 윤활에 의한 성형성의 향상 효과도 가장 두드러지게 나타났는데, 대략 3배 정도로 최대 드로잉 깊이가 증가했다. 역으로 생각하면 이는 소재 자체의 성형성이 나쁜 온도 조건에서는 윤

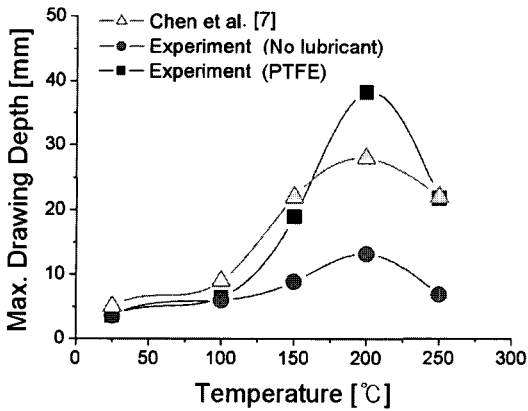


Fig. 3 Maximum drawing depths at elevated temperatures compared with the work by Chen et al.[7] (No lubricant vs. PTFE)

활제를 사용하더라도 그로 인한 성형성 향상의 효과가 미미함을 나타낸다. 즉, 윤활제가 성형성에 미치는 영향은 소재의 가열 온도 조건보다는 부차적임을 나타낸다.

3.2 윤활제 종류에 따른 성형성 차이

위에서 살펴본 바와 같이 PTFE 윤활제를 사용했을 때 무윤활에 비해 디프드로잉 성형성이 크게 향상됨을 볼 수 있었다. 그런데 앞에서 언급한 3가지의 윤활제를 모두 시험해 본 결과 사용한 윤활제에 따라 성형성에 차이가 발생함을 볼 수 있었다.

150, 200, 250°C 의 3가지 소재 가열 온도 조건에 대해 PTFE, 흑연, MoS₂의 각각을 윤활제로 사용한 디프드로잉 시험을 수행하고 그 때의 최대 드로잉 깊이를 Fig. 4에 나타내었다. 결과를 보면, 소재의 온도가 200°C 일 때는 3가지 윤활제의 경우 모두 금형에 의해 설정된 최대 드로잉 깊이 40mm 까지 소재의 파단 없이 성공적으로 드로잉 성형되었다. 반면, 소재의 온도가 150, 250°C 에서는 비록 무윤활의 경우보다는 최대 드로잉 깊이가 향상되었지만 3가지 윤활제 모두 40mm 까지 드로잉 성형되기 전에 소재 파단이 발생하였다.

이 때 시험 측정에 의하면 같은 윤활제를 사용했을 때 최대 드로잉 깊이에는 약간의 편차가 나타나기도 했다. 이것은 이들 윤활제를 스프레이를 사용하여 도포하였을 때 수작업으로 인해 윤활막의 부착 상태에 편차가 발생했기 때문으로 추정된다. 한편 Fig. 4에 보여진 시험 결과를 보면

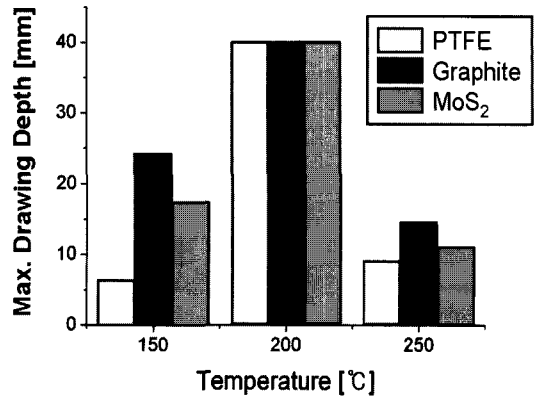


Fig. 4 Maximum drawing depth difference for different lubricant at elevated temperatures

윤활제 종류에 따라 최대 드로잉 깊이의 차이가 나타났는데, 평균적으로 보면 최대 드로잉 깊이는 흑연, MoS₂, PTFE의 순서로 나타났다. 이러한 결과는 마그네슘 판재의 온간 디프드로잉의 성형성 향상을 위해 어떤 윤활제가 가장 적합한지를 보여준다. 이러한 차이가 나타나는 원인은 각각의 윤활제 특성과 밀접한 관계가 있을 텐데, PTFE의 경우는 250°C까지의 온간 조건에서는 고분자 소재의 특성상 제 기능을 충분히 발휘하는데 문제가 있었고 금형과 판재의 마찰로 인해 윤활막이 성형 중에 상당히 많이 마멸, 박리되었기 때문으로 보인다. 이 같은 박리 현상은 흑연과 MoS₂을 사용한 경우에도 여전히 나타났지만 흑연이나 MoS₂은 구성 성분의 특성상 상대적으로 온간 조건에서도 원래의 제 기능을 발휘할 수 있었던 것으로 보인다. 특히 MoS₂는 400°C 정도에 이르기까지 제 기능을 발휘한다고 알려져 있는데 비해 흑연은 훨씬 고온에 이르기까지 제 기능을 발휘할 수 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 흑연과 MoS₂도 마그네슘 판재와의 부착성에 한계가 있었고 성형 중 박리 현상이 나타났다. PTFE, 흑연, MoS₂를 윤활제로 사용한 온도 별 온간 디프드로잉 성형 후의 시편 형상들을 Fig. 5에 나타내었다. 성형 후 시편의 표면 상태로 부터 초기의 윤활막이 상당히 손상되어 있음을 볼 수 있었다. 결국 윤활제 성분 자체가 고온 조건을 견딜 수 있을 뿐만 아니라 성형 도중에 판재 표면에 얼마나 잘 부착되어 윤활막을 유지할 수 있는지가 실제 윤활 기능을 발휘하는데 중요함을 추정할 수 있었다.

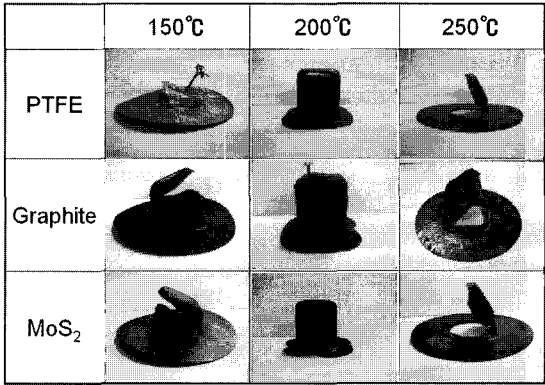


Fig. 5 Pictures of the AZ31 specimens after the deep drawing using PTFE, graphite and MoS₂ for lubrication at 150, 200 and 250°C

4. 결 론

마그네슘 합금의 온간 프레스 성형에서의 성형성 향상을 위해 온간 공정에 적합한 윤활제를 시험 평가하고자 하였다. 이를 위해 PTFE, 흑연, MoS₂ 의 3 가지 고체 윤활제를 대상으로 마그네슘 합금 AZ31 판재에 대한 온간 사각컵 디프드로잉 시험을 수행하였다. 시험 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 무윤활의 경우와 비교하여 윤활제를 사용했을 때 성형성이 향상되었다. 예를 들어, PTFE 를 사용하고 마그네슘 판재를 200°C 로 가열했을 때 무윤활 조건에 비해 최대 드로잉 깊이가 3 배 정도 증가하였다. 그러나 마그네슘 판재의 성형성이 좋은 온도 조건에서는 그 영향이 컸지만 판재의 성형성이 나쁜 온도 조건에서는 윤활에 의한 성형성 향상 효과도 미미하였다.

(2) 윤활제에 따라 성형성에도 약간의 차이가 발생하였다. 고분자 소재로 구성된 PTFE는 온간 조건에서 기능이 저하되고 마찰로 인해 쉽게 마멸, 박리되는 특성으로 인해 성형성 향상 효과가 상대적으로 가장 저조했던 것으로 보인다. 가장 좋은 성형성 향상을 보인 흑연의 경우에는 고온에서의 윤활성이 좋은 기본 특성의 영향으로 보인다. 그러나 PTFE, 흑연, MoS₂ 모두 성형 도중에 판재 표면으로부터 어느 정도 박리되어 충분한 윤활막을 유지하지는 못했다.

위와 같은 결론을 바탕으로 볼 때 향후 다음과

같은 부분의 연구가 필요하다.

- 판재 표면상의 윤활제 도포는 물론 성형 후 윤활제 제거 방식의 개발이 필요하다. 도포와 제거가 용이해야 프레스 성형 공정의 양산화가 가능하다. 이와 동시에 성형 도중 금형과의 마찰 조건에서도 윤활막 유지가 가능해야 한다. 본 연구에서는 편의상 스프레이 방식의 수작업으로 윤활막을 생성시켰기 때문에 판재와의 윤활제 부착성이 충분하지 않았다.

- 본 연구에서는 마그네슘 판재 표면에 윤활막을 도포하였지만, 판재 대신 금형에 대한 윤활 방식의 검토가 필요하다.

- 이 밖에 다른 고체 윤활제 또는 온간에서 사용 가능한 유체 윤활제에 대해서도 시험 평가가 필요하다.

후 기

본 연구는 2010 생산기반혁신기술개발사업의 경량판재 프레스성형부품화 기반기술개발 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, 틀 표면처리 및 온도가 AZ31 마그네슘 판재의 드로잉에 미치는 영향, 한국소성가공학회 2005년도 추계학술대회 논문집, pp. 118~121.
- [3] 신현우, 유형조, 여동훈, 신경열, 고윤석, 최상운, 이성원, 2005, 마그네슘 합금 판재를 이용한 차량용 후드의 설계 및 해석, 한국소성가공학회 2005년도 추계학술대회 논문집, pp. 220~226.
- [4] 이병호, N.S.Reddy, 이종수, 2005, 인공 신경망을 이용한 AZ31 Mg 합금의 고온 변형 거동 연구, 한국소성가공학회 2005년도 추계학술대회 논문집, pp. 231~234.
- [5] 김민철, 이영선, 권용남, 김상우, 이정환, 2005, AZ31 합금의 온간 사각 컵 디프 드로잉 공정에서의 성형성에 관한 연구, 한국소성가공학회 2005년도 추계학술대회 논문집, pp. 235~238.
- [6] 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.
[7] 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.