

# 마그네슘합금의 온간 딥 드로잉 공정에서의 윤활 특성 연구

박설희<sup>1</sup>, 김상우<sup>#</sup>, 이영선<sup>1</sup>, 김병민<sup>2</sup>, 이정환<sup>1</sup>

## A study on lubrication characteristics in warm deep drawing of magnesium alloy sheet

S. H. Park, S.W. Kim, Y. S. Lee, B. M. Kim, J. H. Lee

### Abstract

Recently, magnesium alloys have been widely used in automotive, aerospace and electronic industries with the advantages such as lightweightness, high specific strength and stiffness. However, magnesium alloy has quite low formability at room temperature due to its hexagonal close-packed crystal structure. Warm deep drawing is one of the forming technologies to improve the formability of magnesium alloy sheet and the lubrication condition is an important process parameter in that. In this study, the drawing tests of AZ31 alloy sheet at elevated temperature for various kinds of lubricant were carried out and the effects of lubrication conditions on drawability were investigated.

**Key Words:** Warm Deep Drawing, Magnesium Alloy, AZ31, Lubrication

### 1. 서론

마그네슘 합금은 자동차 등의 수송기계 부품의 경량화 추세에 따라 수요가 늘어나고 있어 자동차, 항공기 부품 이외에도 휴대폰과 노트북 케이스 등 적용범위가 확대되고 있다. 이러한 마그네슘 합금은 슬립계(slip system)의 제한으로 상온에서의 성형성이 좋지 않아 고온에서의 성형기술에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

마그네슘 합금의 딥 드로잉 가공은 상온에서의 열악한 성형성으로 인해 일반적으로 온간, 열간에서 이루어지며, 성형온도, 성형속도, 블랭크 홀더력, 윤활 조건 등이 드로잉 공정 시 성형성에 영향을 미치는 중요한 요인으로 작용한다. 특히 마그네슘 합금의 부식에 대한 취약성 때문에 윤활제 선정은 매우 중요하다.

본 연구에서는 대표적인 마그네슘 합금 판재인 AZ31 합금판재의 온간 딥 드로잉 공정에 있어서의 윤활특성을 살펴보기 위해 질화보론(Boron Nitride), 이황화몰리브덴(MoS<sub>2</sub>), 흑연계(Graphite) 윤활제의 3 가지 서로 다른 윤활제에 대한 드로잉 실험을 수행하였다.

### 2. 실험장치 및 방법

마그네슘 합금의 온간 딥 드로잉 성형을 위해 ERICSHEN장비를 사용 하였으며, 가열장치를 금형에 삽입하여 금형과 소재가 동일한 온도를 유지하도록 가열하였다. 실험에 사용된 블랭크 사이즈는  $\varnothing 117$ 이고 두께는 0.8mm로 드로잉 최대 깊이는 55mm이다. 100, 200, 250, 300 $^{\circ}$ C 의 온도 조건으로 직경이  $\varnothing 50$ mm인 펀치를 0.2mm/sec와

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소  
2. 부산대학교 정밀기계공학과  
# 교신저자: 한국기계연구원 부설 재료연구소  
E-mail : kimsw@kims.re.kr

0.8mm/sec 속도로 제어하였으며 블랭크 홀딩력 (BHF)은 3KN으로 적용하여 성형하였다. 윤활제는 질화보론(Boron Nitride) 윤활제, 이황화몰리브덴 (MoS2) 윤활제, 흑연계(Graphite) 윤활제의 3종류를 사용하였다. Fig. 1은 온간 딥 드로잉 금형의 개략도를 나타내었다.

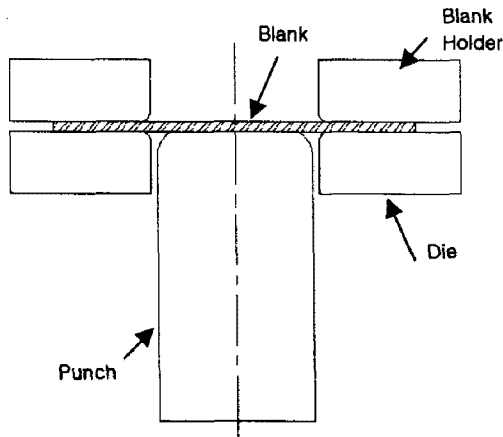


Fig. 1 Schematic diagram of warm deep drawing tools

### 3. 실험 결과 및 고찰

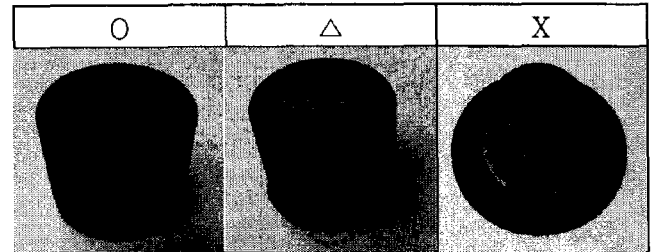
온간 딥 드로잉 성형결과는 Fig.2 에 나타내었다. Fig.2(a)에서 보듯이 딥 드로잉 성형 후 성형상태를 최대 성형 깊이인 55mm 까지 파단 없이 성형된 것과 55mm 까지 성형은 되었으나 소재 끝부분의 성형이 매끄럽지 않았던 것(끝부분 파단), 성형 중 파단 된 것 3가지로 분류하여 정리하였다.

드로잉 최대 깊이로 성형을 하였을 때, 펀치속도가 0.2mm/sec 인 경우 이황화몰리브덴 윤활제와 흑연계 윤활제는 200℃이상에서 드로잉 최대 깊이까지 모두 성형이 양호하게 되었으며, 질화보론 윤활제를 사용한 경우 250℃이상에서는 성형 최대 깊이까지 성형이 이루어 졌지만 끝부분이 매끄럽지 못하게 성형되었는데 이는 소재의 끝부분이 펀치에 고착되어 국부적인 인장으로 인해 성형한계가 감소한 것으로 보인다.

펀치속도가 0.8mm/sec 조건일 때는 질화보론 윤활제와 이황화몰리브덴 윤활제의 경우 250℃이상에서 파단 없이 성형이 되었으며 흑연계 윤활제는 200℃이상에서 드로잉 최대 깊이까지 모두 양호하게 성형 되었다.

따라서, 속도에 상관없이 실험온도 구간 내에서

온도가 상승함에 따라 인장강도는 낮아지고 연성이 좋아짐으로써 드로잉 성형성 또한 증가하는 것으로 나타났으며, 특히 250℃이상에서는 3 가지 윤활제 모두 우수한 윤활특성을 보이는 것으로 나타났다.



Lubricant	100℃	200℃	250℃	300℃
Boron Nitrate	X	X	△	△
MoS2	X	0	0	0
Graphite	X	0	0	0

(a) Punch speed V=0.2mm/sec

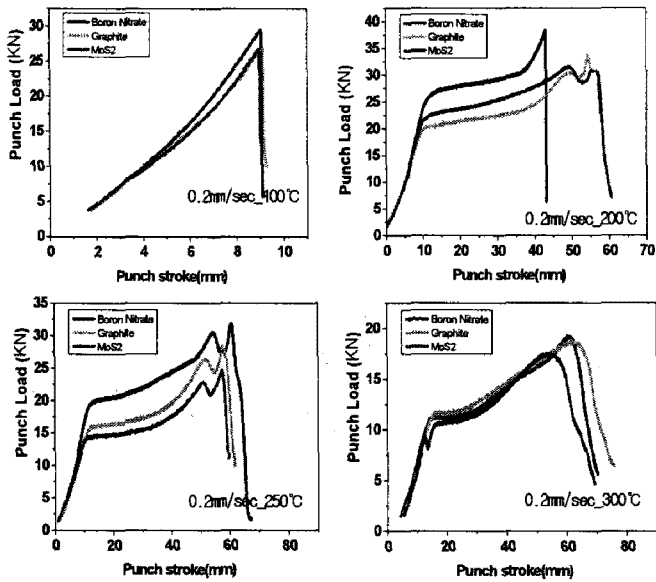
Lubricant	100℃	200℃	250℃	300℃
Boron Nitrate	X	X	0	0
MoS2	X	X	0	0
Graphite	X	0	0	0

(b) Punch speed V=0.8mm/sec

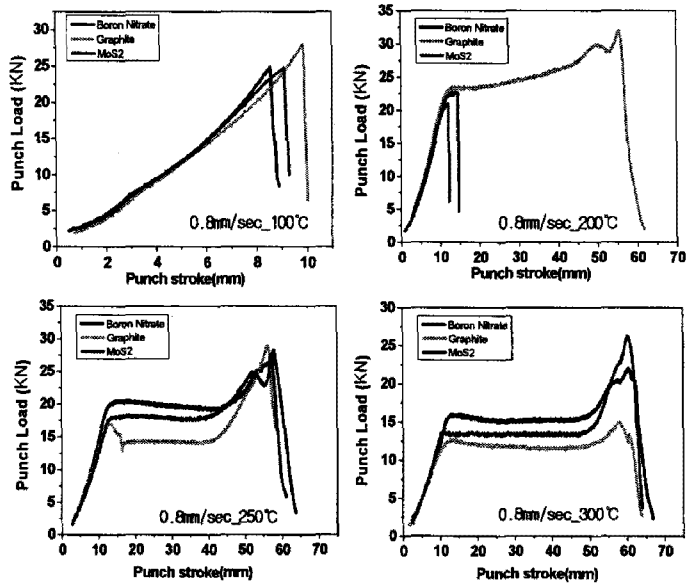
Fig. 2 Results of warm deep drawing tests at various lubrication conditions and temperatures

Fig. 3 은 딥 드로잉 성형에서 윤활제에 따른 온도별 펀치 하중을 나타낸 그래프이다. Fig. 3 (a)에서 볼 수 있듯이 펀치속도가 0.2mm/sec 일 때 100℃와 200℃에서는 흑연계 윤활제, 250℃와 300℃에서는 이황화몰리브덴 윤활제가 가장 하중이 낮았으나 100℃와 300℃에서의 하중차이는 거의 없음을 볼 수 있다. 모든 온도에서 가장 하중이 높아 상대적으로 윤활특성이 좋지 않은 질화보론 윤활제는 250℃의 고온영역에서 윤활특성이 증가함을 확인 할 수 있다.

펀치속도가 0.8mm/sec 일 때는 100℃와 200℃에서는 3 가지 윤활제의 하중차이가 거의 나타나지 않았고, 250℃와 300℃에서는 3 종류의 윤활제 모두 최대 깊이까지 성형이 이루어졌으며 질화보론, 이황화몰리브덴, 흑연계 윤활제 순으로 하중이 낮게 나타남으로써 흑연계 윤활제가 가장 우수한 윤활특성을 보이는 것으로 나타났다.



(a) Punch speed  $V=0.2\text{mm/sec}$



(b) Punch speed  $V=0.8\text{mm/sec}$

Fig. 3 Punch loads at various temperatures and lubrication conditions

Fig. 4는 딥 드로잉에 의해 성형된 컵을 단면으로 절단하여 두께변화를 측정해 본 결과이다. 펀치속도가 0.2mm/sec 일 때 250°C의 온도에서의 3가지 윤활제에 따른 성형품을 측정해 본 결과 흑연계 윤활제를 사용한 경우의 소재가 두께 변화가 가장 적은 것으로 나타났고, 질화보론 윤활제를 사용한 경우의 두께 변화가 상대적으로 가장 큰 것으로 나타났다.

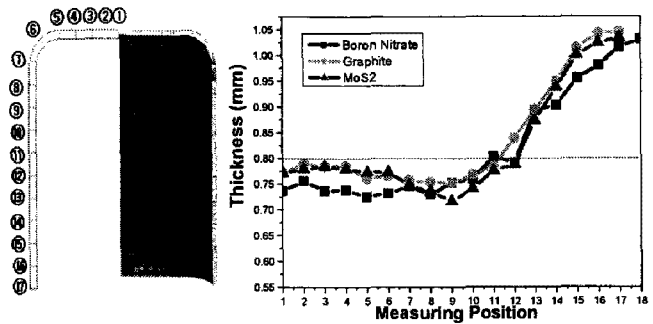


Fig. 4 Thickness distributions drawn cup for various production lubricants

#### 4. 결론

본 연구에서는 마그네슘 합금의 온간 딥 드로잉 공정 시 윤활제 종류에 따른 윤활특성이 성형성에 미치는 영향을 알아보기 위해 다양한 온도 및 윤활조건에서의 실험을 수행함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

##### (1) 파단여부를 통한 윤활특성 평가

온간 딥 드로잉 성형 결과 0.2mm/sec의 펀치속도에서는 이황화몰리브덴과 흑연계 윤활제가 200°C 이상에서 드로잉 최대 깊이까지 모두 성형이 되어 윤활특성이 우수한 것으로 나타났으며 질화보론 윤활제의 경우 250°C 이상에서 윤활특성이 향상되는 것으로 나타났다.

0.8mm/sec의 펀치속도에서는 질화보론 윤활제와 이황화몰리브덴 윤활제의 경우 250°C 이상에서 파단 없이 성형이 되었으며 흑연계 윤활제는 200°C 이상에서 드로잉 최대 깊이까지 성형되어 흑연계 윤활제의 윤활특성이 우수한 것으로 나타났다.

##### (2) 성형하중 분석을 통한 윤활특성 평가

판재 속도가 0.2mm/sec인 경우, 200°C 이상에서 이황화몰리브덴 및 흑연계 윤활제가 비교적 성형하중이 낮게 나타남으로써 윤활특성이 우수한 것으로 판단되며, 질화보론 윤활제의 경우 300°C 이상 고온에서 다른 윤활제와 유사한 특성을 가지는 것으로 나타났다.

펀치속도가 0.8mm/sec인 경우, 파단이 되

지 않은 250℃, 300℃에서 흑연계 > 이황화물 리브덴> 질화보론 순으로 성형하중이 크게 나타남으로써 흑연계의 윤활특성이 가장 우수한 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서 제시된 3가지 윤활제 중 흑연계가 실험속도 및 온도구간 내에서 윤활 특성이 가장 우수한 것으로 판단된다.

### (3) 두께분포특성

단면을 절단하여 두께변화를 측정 한 결과 흑연계 윤활제를 사용한 소재의 두께가 가장 균일한 것으로 나타났다.

## 참 고 문 헌

- [1] Qun-Feng Chang, Da-Yong Li, Ying-Hong Peng, Xiao-Qin Zeng, 2007, Experimental and numerical study of warm deep drawing of AZ31 magnesium alloy sheet, Int. J. Mach. Manu., Vol. 47, pp.436~443
- [2] 정하국, 최석우, 나경환, 2005, 마그네슘합금의 온간 가공기술, 한국소성가공학회지, 제 14권, 제 8호.
- [3] 추동균, 이준희, 강충길, 2005, 틀 표면처리 및 온도가 AZ31 마그네슘 판재의 드로잉성에 미치는 영향, 한국소성가공학회 추계학술대회 논문집, pp .118~121.