

# AZ31B 마그네슘 합금의 온간 마찰 특성 연구

한수식<sup>1#</sup>

## Study of Frictional Behavior of AZ31B Mg Alloy at Elevated Temperature

S.S.Han

(Received January 29, 2018 / Revised March 26, 2018 / Accepted March 28, 2018)

### Abstract

The success of warm forming of Mg alloy sheets is very dependent on its frictional behavior at elevated temperatures. The effects of contact pressure and sliding length on the frictional characteristics of AZ31B Mg alloy sheet were investigated at elevated temperature and at room temperature. The contact pressure range for the friction test was determined through FE analysis of the roof panel which is a candidate for Mg alloy application. According to the experimental results, the frictional behavior of the Mg alloy sheet is equally highly influenced by both sliding length and contact pressure at room temperature. At elevated temperatures, however, the sliding length has a more dominant influence on the frictional characteristics of the Mg alloy sheet than the contact pressure, if the contact pressure is lower than a certain level.

**Key Words:** Galling, Stick-slip, Sticking, Sliding Length, Contact Pressure

### 1. 서 론

최근 자동차 배기 가스 규제 강화와 연비 향상에 대한 요구 증가로 인하여 자동차 차체 경량화에 대한 중요성은 더욱 증가하고 있다. 마그네슘 합금은 상용 금속중 가장 높은 비강도와 우수한 충격 흡수능 등을 나타내고 있어 차체 경량화를 위한 대안 소재로서 주목받고 있다[1]. 마그네슘 합금은 상온에서 매우 낮은 성형성을 나타내고 있으나 250℃ 전후의 온도에서 높은 성형성을 나타낸다. 마그네슘 합금을 판재 성형 차체 부품에 적용하기 위한 성형은 온간에서 이루어지기 때문에 마그네슘 합금 판재의 온도에 따른 기계적 성질과 성형성에 대한 연구가 이루어져 왔다[2~5].

판재의 마찰 특성은 판재 성형 공정의 성패에 큰 영향을 준다. 마찰 특성이 우수할수록 변형이 균일하게 발생하여 국부적인 변형으로 인한 성형 불량

발생이 감소하게 되기 때문이다. 따라서 마그네슘 합금 판재의 차체 부품 적용을 위하여서는 마그네슘 합금 판재의 온간 마찰 특성에 대한 연구도 필요하다. 고온 상태에서의 마그네슘 합금 판재와 금형 사이의 접촉에 의한 마찰은 철강 소재를 사용하는 경우에 비하여 골링(Galling), 파우더링(Powdering)등이 더 잘 발생하고 있으며 이것이 마찰 특성에 영향을 주는 것으로 알려져 있다[6~7].

판재의 마찰 특성에는 다양한 인자들이 영향을 미치고 있다. 금형과의 접촉압력과 미끄럼 거리도 마찰에 영향을 미치는 인자들 중에 포함된다. 마그네슘 합금 판재 마찰 특성에 큰 영향을 주는 골링은 접촉압력과 미끄럼 거리에 영향을 많이 받는다. 따라서 마그네슘 합금 판재의 마찰 특성은 접촉압력과 미끄럼 거리에 의하여 영향을 받는 것을 예측할 수 있다. 판재 성형시 금형과 판재 사이의 접촉압력은 성형 제품에서의 위치에 따라 다르다. 드로우비드나 다이 곡률 부위에서 높은 접촉압력이 나타나고 평탄 부위에서는 일반적으로 접촉압력이 낮게 나타난

1. 금오공과대학교 기계공학과

# 교신저자: Department of Mechanical Engineering, Kumoh National Institute of Technology, E-mail: sshan@kumoh.ac.kr

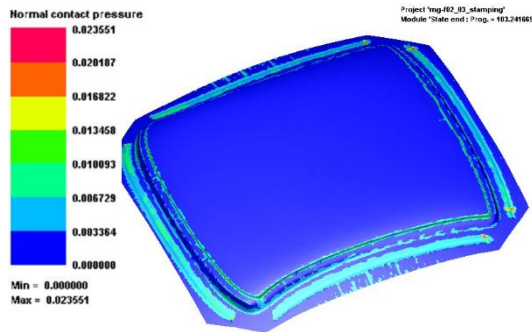
다. 그리고 제품의 성형을 위한 금형의 움직임으로 인하여 소재와 금형면 사이에 미끄럼이 발생하고 성형 중에 발생한 미끄럼 거리 또한 제품에서의 위치에 따라 다르게 나타난다.

본 연구에서는 마그네슘 합금 판재의 부품 성형 시 일반적으로 사용되는 온간 성형 조건에서 금형과 판재 사이에서 발생하는 접촉압력과 미끄럼 거리 등의 차이가 마그네슘 합금 판재의 마찰 특성에 미치는 영향에 대하여 실험을 통하여 분석하였다.

## 2. 마찰 시험

### 2.1 시험 조건 설정

마그네슘 합금 판재의 온간 마찰 시험을 수행하기 위하여 우선적으로 시험을 위한 접촉압력 범위를 결정하는 것이 필요하다. 시험을 위한 접촉압력의 범위를 결정하기 위하여 마그네슘 합금 판재를 사용하여 자동차 부품을 성형하는 공정을 유한요소법으로 해석하였다. 마그네슘 합금 판재의 적용 대상으로 검토되고 있는 자동차 지붕판(Roof Panel) 부품을 해석의 대상으로 하였다. 해당 부품에 대한 성형 해석을 수행하고 이로부터 접촉압력의 범위를 도출하여 이를 기준으로 마찰 시험을 시행하였다.



**Fig.1** Distribution of contact pressure at the warm forming of roof panel with AZ31B sheet

접촉압력의 범위 결정을 위한 성형 해석 조건은 참고문헌 [1]의 자료를 참고로 하여 성형온도는 250℃로 하고 마찰계수 0.1 을 사용하였다. 사용소재의 두께는 1.0t 이고 소재의 기계적 성질은 참고문헌 [5]의 결과를 사용하였다. 성형 해석된 제품의 접촉압력 분포를 그림 1 에 나타내었다. 최대 접촉압력은 약 24MPa 로 드로우비드 부분에서 나타났으며 그 밖의 다이와 펀치의 곡률부분에서의 접촉압력

10MPa 정도로 높게 나타났다. 이상의 해석결과를 참고하여 AZ31B 마그네슘 합금 소재의 온간 마찰 시험을 진행하였다.

### 2.2 마찰 시험 방법

마찰 특성 평가는 마그네슘 합금 판재의 일반적인 온간 성형 온도인 250℃와 이에 대한 비교를 위하여 상온 조건에서 이루어졌다. 시험에는 마그네슘 합금 판재 AZ31B 1.0t 소재가 사용되었다. 마찰 시험은 그림 2에 나타난 평판형 마찰 시험기를 사용하였다. 상부와 하부 지그에는 히터를 내장하고 온도조절기를 이용하여 원하는 온도로 가열할 수 있도록 하였다. 시험장치의 최대 가압 하중은 5톤이고 최대 인발력은 2톤이다. 시험장비의 가압용량으로 요구 접촉압력을 얻기 위하여 시험편의 크기는 폭 30mm 길이는 300mm 로 결정하였다. 마그네슘 합금 판재는 무윤활 조건으로 성형할 경우 골링 현상이 심하게 발생하는 것으로 알려져 있어 윤활 조건에서 마찰 시험을 행하였다. 마찰 시험에 사용된 윤활유는 마그네슘 합금 판재의 온간 성형용으로 개발된 일본공작유(주)의 MGLUX-1 이다.

고온 마찰 시험에서는 시험편을 예열하였다. 상온의 시험편을 가열된 마찰 시험 지그에 바로 장착할 경우 시험편의 온도가 시험온도에 도달할 때까지 많은 시간이 소요되기 때문에 시험편은 사전에 가열장치를 이용하여 270℃로 예열하였다. 이것은 시험기로의 시험편 이송시 발생하는 냉각을 고려하였기 때문이다. 예열된 시험편을 마찰 시험 지그에 장착하고 시험편 표면에 윤활유를 붓으로 도포한 후 시험편 표면 온도가 250℃에 도달한 것이 접촉식 온도계로 측정하여 확인되면 마찰 시험을 시행하였다. 전체 미끄럼 거리는 175mm로 하였다. 시험은 동일 조건에서 3차례 시행하였으며 이들 값의 평균값을 취하여 시험결과들을 분석하였다. 표 1에는 마찰 시험 조건들을 나타내었다.

**Table 1** Test condition of friction test

Parameter	Test Condition
Temperature	Room temp., 250℃
Contact Pressure(MPa)	1.5, 3, 4.5, 6, 12, 18, 25
Sliding Length(mm)	175
Sliding Speed(mm/sec)	25
Lubricant	MGLUX-1

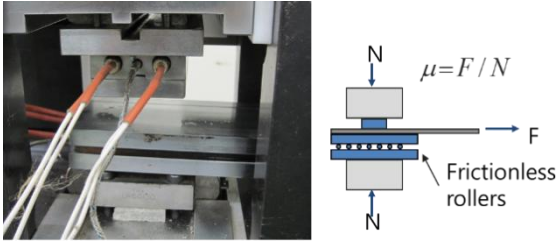


Fig.2 Flat type friction tester with heating element

### 3. 마찰 시험 결과 분석

마그네슘 합금 판재의 마찰 시험의 경우 윤활제를 사용하였음에도 불구하고 모든 시험 조건에서 파우더링과 골링 현상의 발생이 관찰되었다. 그림 3에 상온 마찰 시험 후 마찰 시험 지그의 표면을 나타내었다. 파우더링 현상에 의하여 시험 후 마찰 시험 지그의 표면에 마그네슘 합금 분말들이 잔류하였으며 이는 천으로도 쉽게 제거되었다. 그러나 상온 시험의 경우 접촉압력 25MPa에서, 온간 시험의 경우는 접촉압력 3MPa부터 마그네슘 합금 분말이 시험용 지그 표면에 응착되어 천으로 닦는 것만으로는 제거되지 않고 마그네슘의 일부분이 지그 표면에 잔류하였다.

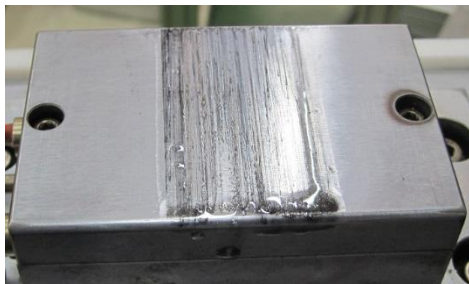


Fig.3 Powdering on test die during friction test (Room temperature, Contact pressure: 6 MPa)

마찰 시험 지그 표면에 응착된 마그네슘 합금 분말은 매 시험 전 #2000 사포로 제거하였다. 마찰 시험으로 시편의 표면은 골링에 의하여 손상되었다. 그림 4에 보여준 것과 매우 낮은 접촉압력에서도 골링이 발생하는 것이 관찰되었다. 미끄럼 거리가 증가할수록 골링의 발생량은 증가하였으며 새로운 골링의 시작 위치는 불규칙적이었다. 이러한 이유 때문에 동일한 시험 조건에서도 시험 간의 미끄럼 거리에 따른 마찰 계수의 산포가 크게 나타났다. 그림 5에는 상온 시험 조건에서 접촉압력이 3 MPa인 경우에 대하여 미끄럼 거리에 따른 마찰 계수의

변화를 나타내었다. 시험회차 간의 마찰 계수 차이가 큰 것을 알 수 있다.



Fig.4 Galling at specimen during friction test(Room temperature, Contact pressure: 1.5Mpa)

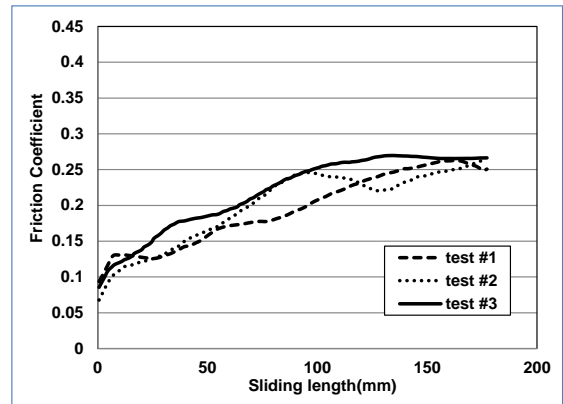


Fig.5 Variation of friction coefficient with respect to sliding length (Room temperature, Contact pressure: 3 MPa)

상온 시험 조건에서 각각의 접촉압력에 대하여 미끄럼 거리에 따른 마찰계수의 변화를 그림 6에 나타내었다. 마찰 계수는 미끄럼 거리가 증가할수록 점차 증가하였으며 이러한 증가 속도는 접촉압력에 따라 각각 다르게 나타났다. 이러한 미끄럼 거리에 따른 마찰계수 값의 변화는 미끄럼 거리가 증가함에 따라 증가하여 0.25와 0.35 사이 값으로 수렴하는 것으로 나타났다. 미끄럼 거리의 증가에 따라 마찰 계수가 증가하여 특정 값으로 수렴해 가는 속도는 접촉압력이 클수록 빠른 것으로 나타났다. 특히 접촉압력이 12MPa 이상인 경우에는 빠르게 특정 값으로 수렴하였다. 마찰시험시 미끄럼 거리가 증가할수록 골링 발생 부위가 차지하는 비율이 점차 증가하는 것이 관찰되는데 마찰 계수도 미끄럼 거리에 따라 점차 증가한다. 접촉 압력이 12MPa인 경우를 살펴보면 약 80mm의 미끄럼 거리부터 그림 7에 나타난 것처럼 시편쪽 전부에 걸쳐서 골링이 발생하는 것이 관찰되는데 마찰계수도 약 80mm의 미끄럼 거리에서 특정 값에 수렴하는 것을 확인할 수 있다. 이처럼 골링의 발생과 이것이 접촉면에서

차지하는 비율이 마그네슘 합금 판재의 상온 마찰 특성에 큰 영향을 주는 것을 알 수 있다.

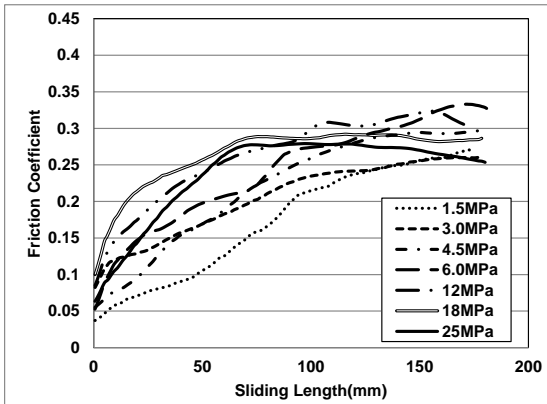


Fig.6 Variation of friction coefficient with respect to sliding length for each contact pressure (Room temperature)

는 것이 관찰 되었다. 이러한 결과는 마찰계수가 상온에 비해 빨리 특정 값으로 수렴하는 이유를 설명해 준다.

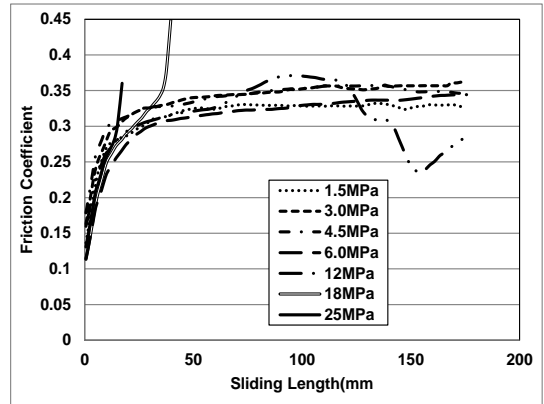


Fig.8 Variation of friction coefficient with respect to sliding length for each contact pressure (250 °C)

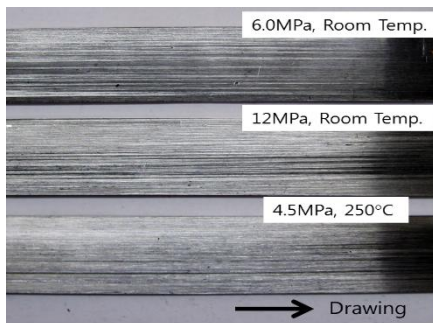


Fig.7 Galling on specimen after friction test

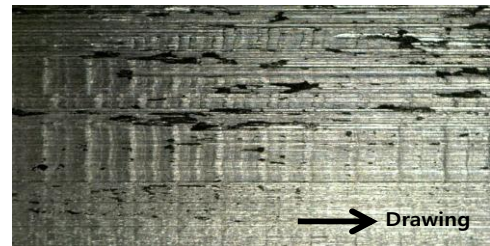


Fig.9 Surface of specimen due to stick-slip during friction test (250 °C, Contact pressure: 12MPa)

마그네슘 합금 판재에 대하여 250°C 온간에서 마찰 시험한 결과를 그림 8에 나타내었다. 이 경우도 상온 마찰 시험의 경우와 유사하게 미끄럼 거리의 증가에 따라 마찰 계수는 점차 증가하고 0.35 정도의 값으로 수렴하는 것으로 나타나 상온 시험의 경우에 비하여 높은 값을 나타내었다. 접촉압력에 따른 마찰 계수의 변화는 상온 마찰 시험의 경우보다는 훨씬 작게 나타났다. 그리고 마찰 계수가 미끄럼 거리의 증가에 따라 특정 값으로 수렴하는 속도는 모든 접촉압력 조건에서 매우 빠르게 나타나 약 30mm의 미끄럼 거리 이후부터는 0.3 과 0.35 사이 값을 나타내었다. 온간 마찰시험시 골링의 발생 정도는 상온 마찰 시험에 비하여 훨씬 심하였으며 그림 7 에 나타난 것과 같이 접촉압력이 비교적 낮은 4.5MPa부터 시편 폭 전부에 대하여 골링이 발생하

접촉압력이 12MPa인 경우에는 미끄럼 후반부에서 마찰계수가 심하게 변동하는 것을 알 수 있다. 접촉압력 12MPa에서는 미끄럼 후반부에 시편과 시험 지그면 사이의 응착에 의하여 스틱슬립(Stick-Slip) 현상이 심하게 발생하였다. 그림 9에서 스틱슬립 현상이 마찰시편의 표면에 남긴 흔적을 확인할 수 있다. 이러한 스틱슬립 현상에 의해 마찰계수의 변동이 심하게 나타났다. 접촉압력 18MPa부터는 시험 중 시편과 시험 지그면 사이의 응착에 의한 고착 현상이 발생하여 마찰계수가 급격히 증가하였다. 이때 발생한 고착에 의한 저항이 마찰 시험 장비의 최대 인발력을 초과하여 더 이상 시험이 진행되지 않았다. 이러한 시편과 시험 지그면 사이의 고착현상은 접촉압력 18MPa 인 경우에는 미끄럼 거리 39mm, 접촉압력 25MPa에서는 미끄럼 거리 17mm에서 발생하였다.

이상의 마찰 시험 결과를 분석하면 마그네슘 합금의 온간 마찰 특성은 미끄럼 거리에 큰 영향을 받는 것을 알 수 있다. 만약 금형과 소재 사이의 고착을 발생시킬 정도로 높지 않은 경우에는 접촉압력이 마그네슘 합금의 온간 마찰 특성에 미치는 영향의 정도는 상온 마찰 특성에서 보다는 작으므로 나타났다. 마그네슘 판재의 온간 성형 공정 설계시 접촉압력을 너무 높지 않게 관리하는 것이 필요하며 온간 성형 공정 해석시 미끄럼 거리에 의한 마찰 계수의 변화를 고려하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

마그네슘 합금 판재에 대하여 여러 가지 접촉 압력 조건에서 마찰 특성을 평가하는 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 마그네슘 판재의 상온 마찰 특성에는 접촉압력과 미끄럼 거리가 중요한 영향인자로서의 역할을 하였으나 온간 마찰 특성에는 특정 접촉압력 이하에서는 미끄럼 거리가 중요한 영향인자로서의 역할을 하는 것을 알 수 있다.

2) 미끄럼 거리가 증가할수록 마찰 계수는 증가하여 특정 값으로 수렴하였다. 마찰계수 증가속도는 시험온도와 접촉압력에 따라 다르게 나타났다.

3) 마그네슘 합금 판재와 금형 사이의 미끄럼 운동은 골링 현상을 발생시키고 이것이 마찰 특성에 영향을 주는 것으로 판단된다. 상온에 비하여 온간에서 골링 현상이 더 잘 발생하였으며 이것은 마찰 계수의 특정 값으로의 빠른 수렴에 영향을 주는 것으로 판단된다.

4) 온간 성형에서는 접촉압력이 너무 높으면 시편과 금형면 사이에 응착에 의한 스틱슬립, 고착 현상이 발생하는 것이 관찰되어 마그네슘 합금 판재의 성형 공정 설계시 접촉압력의 크기에 대한 고려가 필요한 것으로 판단된다.

5) 마그네슘 합금 판재의 온간 성형 해석에서 소재의 마찰 계수를 반영할 때 온간 마찰 시험 결과에서 나타난 미끄럼 거리에 대한 마찰 특성의 변화를 고려하는 연구가 필요하다.

6) 시험전 매번 금형 표면의 골링을 제거하였으나 실제 성형 공정에서는 일정 수준 이상의 골링이 발생하여야 금형 탈거 및 표면 청소를 수행하기 때문

에 골링에 의해 누적 표면 손상을 입은 금형을 사용할 경우의 마찰 계수 변화에 대한 추가적인 연구도 필요하다.

#### 후 기

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문입니다.

#### REFERENCES

- [1] D. H. Park, Y. H. Tak, S. H. Um, J. J. Yun, C. W. Lee, 2013, Car Body Forming Technology using Magnesium Alloy Sheet, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf., pp.239~240.
- [2] G. H. Lee, T. W. Yoon, C. Y. Kang, 2014, A Study on the Mechanical Properties and Formability of Mg AZ31B Sheet, Trans. Mater. Process., 23(8), pp.495-500.
- [3] S. H. Kim, K. D. Park, J. H. Jang, K. T. Kim, H. W. Lee, G. A. Lee, K. P. Kim, Y. S. Lee, 2008, Experimental and Analytical Researches on Mechanical Properties Related to Formability of AZ31B Alloy Sheet, Trans. Mater. Process., 17(7), pp.466~472.
- [4] H. Y. Kim, S. C. Choi, H. S. Lee, H. J. Kim, K. T. Lee, 2007, Experiments for Forming Limit Diagram and Springback Characteristics of AZ31B Magnesium Alloy Sheet at Elevated Temperature, Trans. Mater. Process., 16(5), pp.364~369.
- [5] Y. S. Lee, Y. N. Kwon, S. H. Kang, S. W. Kim, J. H. Lee, 2008, Forming Limit of AZ31 Alloy Sheet and Strain Rate on Warm Sheet Metal Forming, J. Mater. Process. Technol., Vol. 201, No. 1, pp. 431~435.
- [6] H. W. Kwon, N. Yoon, J. C. Kim, Y.-J. Jeong, Y.-S. Kim, 2011, Tribological Characteristics during Sheet Forming of the AZ31B Mg alloy, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf., 10, pp.88~91.
- [7] H. Gwon, M. G. Kim, H. L. Hur, Y.-S. Kim, 2014, Correlation between galling and friction coefficient measured during sheet forming of Mg alloy using a steel die, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf., 10, pp.174~177.