

# 금형 표면 처리가 AZ31B 마그네슘 합금의 온간 마찰 특성에 미치는 영향에 관한 연구

한수식<sup>1</sup> #

## Influence of Tool Coating on Frictional Behavior of AZ31B Mg Alloy at Elevated Temperature

S. S. Han

(Received January 19, 2021 / Revised January 28, 2021 / Accepted January 29, 2021)

### Abstract

The success of warm forming of Mg alloy sheet is greatly influenced by friction at elevated temperature, depending on the surface treatment of the tool. The tool coating affected the frictional characteristics of AZ31B Mg alloy sheet at elevated and room temperatures. The frictional behavior of the Mg alloy sheet at room temperature was not significantly affected by surface treatment conditions of the tool, but was significantly affected at elevated temperature. When the contact pressure is high, a few surface-treated tools exhibit a higher coefficient of friction than those without surface treatment. It is important to select the surface treatment conditions of the tool in order to ensure appropriate friction during warm forming of Mg alloy sheet.

**Keywords:** Sliding Length, Contact Pressure, Non-coated, CrN Coating, TD Heat Treatment, TiN Coating

### 1. 서 론

마그네슘 합금은 상용 금속 중 가장 높은 비강도와 우수한 충격 흡수능 등을 나타내고 있어 차체 경량화를 위한 소재로서의 여러 가지 장점을 갖고 있다. 마그네슘 합금은 상온에서 성형성이 매우 낮기 때문에 상온 프레스 가공에는 부적합하다. 그러나 가열된 상태에서는 비교적 우수한 성형성을 나타내기 때문에 마그네슘 합금의 프레스 성형은 250℃ 전후의 온간에서 이루어진다.

판재의 프레스 성형 공정에 영향을 미치는 주요 인자로는 소재 자체의 기계적 성질과 금형과 소재의 접촉면의 성질인 마찰 특성이 있다. 마찰 특성

이 우수할수록 변형이 균일하게 발생하여 국부적인 변형으로 인한 성형 불량 발생이 감소하게 되기 때문에 판재의 프레스 성형 공정에 있어서 마찰 특성은 매우 중요한 인자이다.

마그네슘 판재의 온간 성형의 경우, 고온에 의한 윤활제의 윤활 특성 열화와 금형에 비하여 상대적으로 연한 마그네슘 판재에 의하여 발생하는 파우더링(Powdering), 응착(Sticking)과 골링(Galling)등에 의하여 마찰 특성이 좋지 않아 성형성과 생산성이 낮아지는 문제를 갖고 있다[1].

마찰 특성은 계면 성질이기 때문에 금형과 소재의 표면 거칠기, 윤활제, 금형 또는 판재의 표면 상태에 의하여 영향을 받는다. 금형 표면의 경도, 내마모성, 내식성 및 내소착성 등을 개선하기 위한 목적으로 다양한 종류의 표면 처리 방법이 개발되어 금형 표면 처리에 적용되고 있다[2].

1. 금오공과대학교 기계공학과, 교수  
# Corresponding Author : Department of Mechanical Engineering,  
Kumoh National Institute of Technology  
E-mail: sshan@kumoh.ac.kr,  
ORCID : 0000-0001-5234-5594

이러한 금형 표면 처리를 이용하여 마그네슘 합금의 온간 성형시 마찰 특성을 개선하기 위하여 금형 표면 처리와 마그네슘 판재의 마찰 특성에 대한 관계를 분석하기 위한 연구들이 진행되었다[3-4]. 판재 성형시 접촉부의 위치에 따라 다양한 접촉 압력을 나타내며 그 크기의 차이 또한 매우 크다[5]. 접촉 압력은 응착 현상에 큰 영향을 주기 때문에 마그네슘 합금과 같이 금형과의 응착이 심하게 나타나는 소재의 경우 마찰 특성에 대한 접촉 압력의 영향도 함께 분석하여야 한다.

본 연구에서는 상업용 표면 처리 기술이 적용된 마찰 시험용 금형들을 이용하여 온간에서의 마그네슘 합금의 마찰 특성에 대한 실험을 실시하여 이들 표면 처리 기술이 마그네슘 합금의 마찰 특성에 미치는 영향을 분석하였다.

## 2. 마찰 시험

마그네슘 합금 판재 AZ31B 1.0t 를 마찰 시험용 소재로 사용하였다. 마찰 시험용 시편은 45mm x 450mm 의 스트립 형상으로 준비하였다. 마찰 시험용 금형의 치수와 형상은 Fig.1 에 나타난 것과 같다. 시험용 금형과 시편이 접촉되는 면적을 넓게 하여 실 성형에서의 접촉 조건을 잘 모사할 수 있도록 시험용 금형의 형상을 결정하였다. 마찰 시험이 250°C의 온간에서 이루어지기 때문에 열간 가공용 합금 공구강 STD-61 을 사용하여 시험용 금형을 제작하였다. 시험용 금형의 표면 상태는 연마 후 표면 처리를 하지 않은 것과 연마 후 TiCN, TiN, AlTiN, TD 열처리 및 CrN 처리한 것 등 총 6 종류로 준비하여 비교하였다. Fig.2 에는 마찰 시험에 사용된 시험용 금형들을 나타내었다. 마찰 시험용 금형의 표면 거칠기를 측정된 결과, TiCN 처리 금형이 Ra 0.043µm 으로 가장 낮은 값을 나타내었고 TD 열처리 금형이 Ra 0.072µm 으로 가장 높게 나타났으나 그 차이가 매우 작기 때문에 마찰 시험 결과에 금형 표면 거칠기가 미치는 영향은 크지 않을 것으로 판단된다. 마찰 시험에는 Fig.3 에 나타난 평판형 마찰 시험기를 사용하였다. 평판형 마찰 시험기는 가열용 히터가 장착된 플레이트 위에 시편을 고정하고, 마찬가지로 가열용 히터가 장착된 상부 다이로 유압실린더를 이용하여 설정한 하중 값으로 시편을 누른 상태에서 다른 유압실린더로 플레이트를 당기

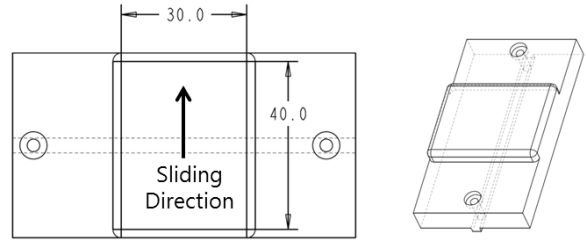


Fig. 1 Geometry of tool for friction test and sliding direction

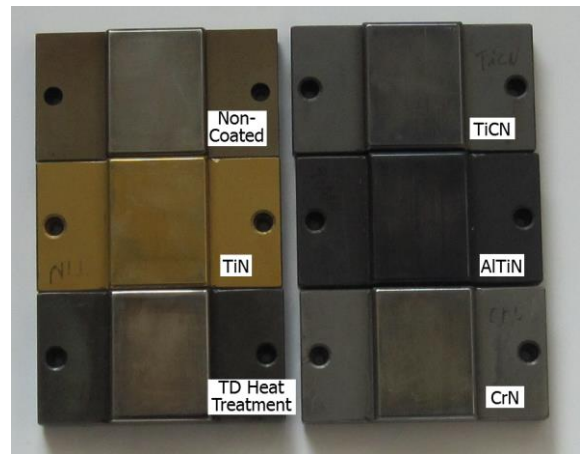


Fig. 2 Tools for friction test with various surface treatment

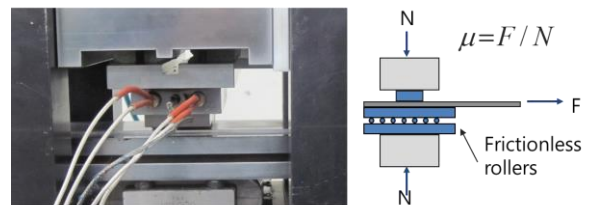


Fig. 3 Flat type friction tester with heating element

면서 각각의 유압실린더에 장착된 로드셀로 하중을 측정하는 방식으로 작동된다. 마찰 계수는 쿨롱 마찰 법칙을 적용하여 측정한다. 마찰 시험은 윤활 조건에서 이루어 졌으며 윤활유는 마그네슘 합금 판재의 온간 성형용으로 개발된 일본공작유(주)의 MGLUX-1 를 사용하였다. 마찰 시험은 상온 조건과 250°C의 온간 조건에서 각각 실시하였다. 온간 마찰 시험에서는 시편을 예열하였다. 예열 온도는 가열로에서 시험기로 이송하는 과정에서 발생하는 냉각을

고려하여 270℃로 하였으며 시편을 플레이트에 고정 후 표면에 윤활유를 도포하고 접촉식 온도계로 측정하여 시편 표면 온도가 250℃에 도달한 것이 확인되면 마찰 시험을 실시하였다. 전체 미끄럼 거리는 190mm로 하였다. 표 1에는 마찰 시험 조건들을 나타내었다. 접촉 압력은 참고문헌 [5]의 내용을 참고하여 3 가지 조건으로 선정하였다. 마찰 시험은 동일 조건에서 3 차례 시행하였으며 이들 값의 평균값을 취하여 시험결과들을 분석하였다.

Table 1 Test condition of friction test

Parameter	Test Condition
Surface Coating of Tool	Non-Coated, TiCN, CrN, TiN, TD heat treatment, AlTiN
Temperature	Room temp., 250℃
Contact Pressure(MPa)	7, 14, 21
Sliding Length(mm)	190
Sliding Speed(mm/sec)	25
Lubricant	MGLUX-1

### 3. 마찰 시험 결과 분석

마그네슘 합금 관재의 마찰 시험의 경우 윤활제를 사용하였음에도 불구하고 금형의 표면 처리 조건이나 시험 온도에 상관없이 모든 시험 조건에서 골링 현상 발생이 관찰되었다. 상온 마찰 시험의 경우에는 주로 파우더링 발생에 의한 골링 현상이 관찰되었으며 온간 마찰 시험의 경우 주로 응착에 의한 골링 현상이 관찰되었다. Fig.4 에는 250℃ 온간 조건에서 접촉 압력 7 MPa 으로 시험한 후의 시편과 시험용 금형을 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 금형의 표면 처리 조건과는 상관없이 시험 초기부터 시편 표면에 골링 현상에 의한 표면 손상이 나타난 것을 확인할 수 있다. 마찰 시험용 금형의 표면에 응착된 마그네슘 합금은 마찰 시험 시작 전에 #2000 사포를 이용하여 제거하였다. 마찰 시험 후 시편 표면의 상태를 관찰하여보면 동일 시험조건에 대하여서도 골링에 의하여 손상된 형태나 정도에 차이가 있음을 알 수 있었다. 그리고 미끄럼 거리가 증가할수록 골링에 의한 시편 표면의 손상 정도는 점점 더 심해졌다. Fig.5 과 Fig.6 에는 250℃ 온간 조건에서 접촉 압력 14 MPa 로 마찰 시험한 결과를 표면 처리를 하지 않은 금형의 경우와 TiN 표면

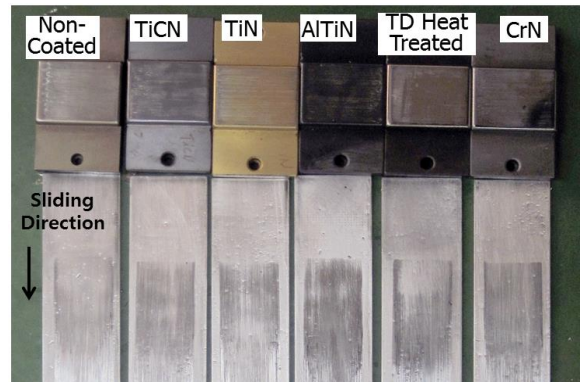


Fig. 4 Photo of tool surface and specimens after friction test (250℃, Contact pressure: 7 MPa)

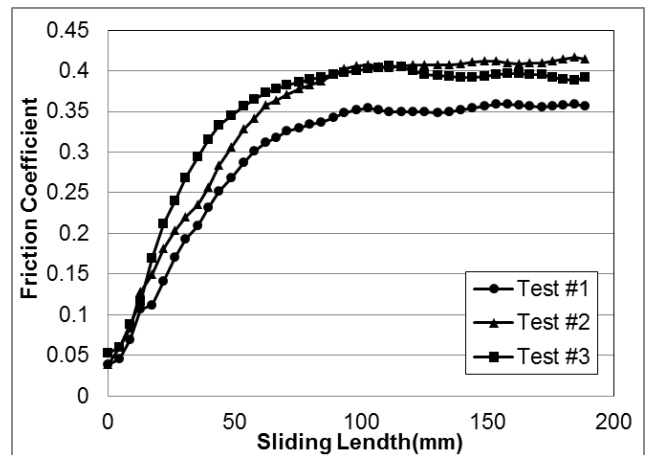


Fig. 5 Variation of friction coefficient with respect to sliding length (Non-Coated, 250℃, Contact pressure: 14 MPa)

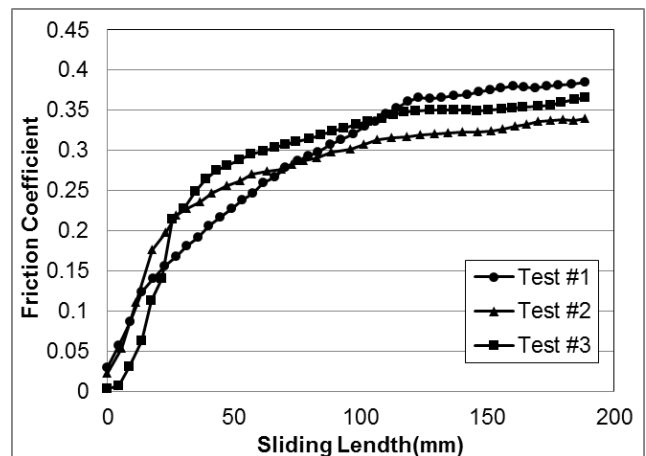
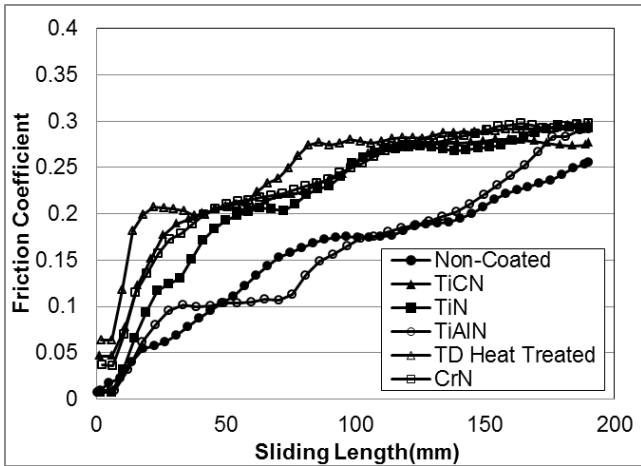


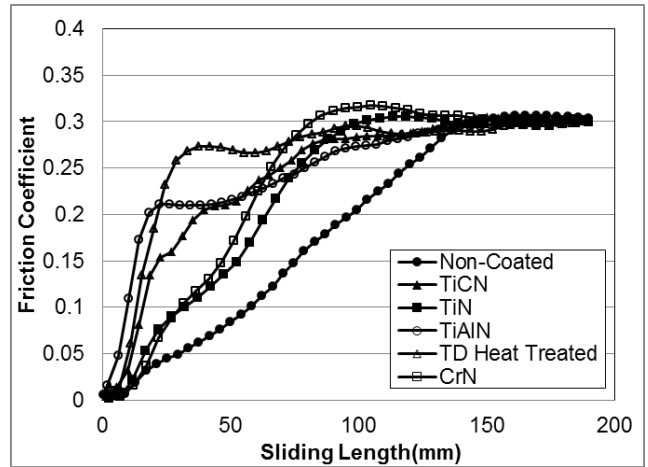
Fig. 6 Variation of friction coefficient with respect to sliding length (TiN, 250℃, Contact pressure: 14 MPa)

처리한 금형의 경우에 대하여 각각 나타내었다. 그림으로부터 미끄럼 거리에 따른 마찰 계수의 변화가 매우 큰 것을 알 수 있다. 그리고 동일 시험 조건에 대하여서도 시험회차 간의 마찰 계수의 차이 또한 큰 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 금형 표면 처리의 종류와는 무관하게 나타났다. 마찰 시험 중, 미끄럼 거리가 증가할수록 골링의 발생 정도가 점차 심해지는 것으로 나타났는데 골링을 발생시키는 소재 일부의 금형 표면 응착 시작과 응착 증가는 매우 불규칙적이기 때문에 마찰 시험 결과도 그림과 같이 나타나는 것으로 판단된다.

상온 시험 조건에서 각각의 접촉압력에 대하여 미끄럼 거리에 따른 마찰계수의 변화를 Fig.7 과 Fig.8 에 나타내었다. 마찰 계수는 미끄럼 거리가 증가할수록 점차 증가하였으며 일정한 미끄럼 거리 이후에는 특정 값으로 수렴하는 양상을 나타내었다. 미끄럼 거리에 따른 마찰 계수의 증가 속도는 금형 표면 처리 방법과 접촉압력에 따라 각각 다르게 나타났다. TD 열처리 금형의 경우 미끄럼 거리에 따른 마찰 계수의 증가가 가장 빠르게 나타났으며, 예상과는 달리 표면 처리를 하지 않는 금형 조건에서 미끄럼 거리에 따른 마찰 계수의 증가가 가장 느리게 나타났다. 상온 시험 조건에서는 미끄럼 거리가 증가하면 금형의 표면 처리 조건에 상관없이 마찰 계수는 약 0.3 값으로 수렴하는 것으로 나타났다.



**Fig. 7 Variation of friction coefficient with respect to sliding length for each contact pressure (Room temperature, Contact Pressure: 7MPa)**



**Fig. 8 Variation of friction coefficient with respect to sliding length for each contact pressure (Room temperature, Contact Pressure: 21MPa) 4 MPa)**

250°C 온간에서 마그네슘 합금 판재에 대하여 마찰 시험한 결과를 Fig.9 에서부터 Fig.11 까지 나타내었다. 접촉압력 21 MPa 조건을 제외하면, 온간 시험의 경우에도 상온 시험의 경우와 유사하게 미끄럼 거리가 증가할수록 마찰 계수는 점점 증가하여 미끄럼 거리가 일정 수준 이상에 도달하면 마찰 계수가 특정한 값으로 수렴하는 양상을 나타내었다. 접촉 압력이 증가할수록 수렴하는 값의 크기도 점차 증가하였다. 상온 시험의 경우 표면 처리 종류에 상관없이 동일한 값으로 수렴하던 것과는 달리 온간 시험에서는 동일한 값으로 수렴하지는 않고 각자의 특정한 값으로 수렴하였다. 접촉압력 21 MPa 조건의 경우에는 미끄럼 거리가 증가할수록, 각각의 표면 처리조건에 따라 차이는 있지만, 마찰 계수는 지속적으로 증가하는 양상을 나타내었다. 시험에 사용된 미끄럼 거리 190mm 구간내에서는 TiCN, 표면처 처리하지 않은 경우 그리고 CrN 등은 시험 중 소재와 금형의 고착 현상이 발생하여 더 이상 시험기 하중 용량으로는 미끄럼을 발생시킬 수가 없었다. 그러나 나머지 표면 처리 조건의 경우에도 미끄럼 거리 증가에 따라 마찰 계수가 지속적으로 증가하는 형태를 나타내기 때문에 미끄럼 거리가 계속 증가한다면 이러한 고착 현상이 발생할 것으로 예상할 수 있다. 상온 마찰 시험에서 비교적 우수한 마찰 특성을 나타내던 표면 처리하지 않은 금형의 경우, 온간 시험에서의 마찰 특성은 매우 나쁘게 나타났다. CrN 의 경우 접촉압력의 증가에 따른 마찰

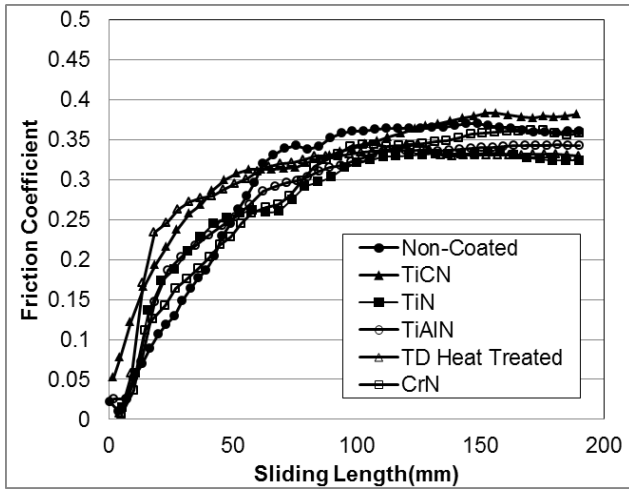


Fig. 9 Variation of friction coefficient with respect to sliding length for each contact pressure (250°C, Contact Pressure: 7MPa)

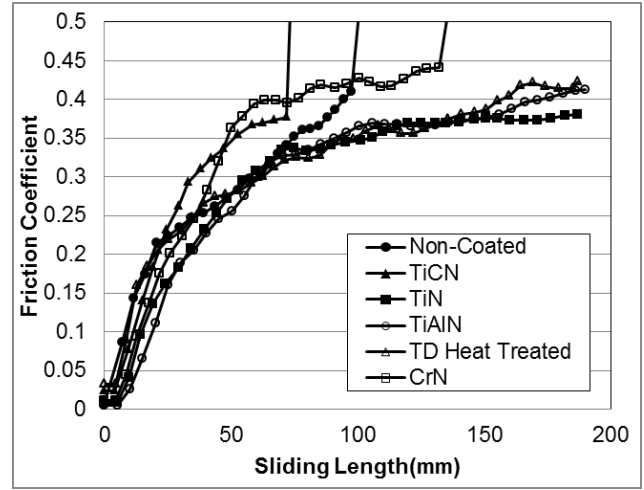


Fig. 11 Variation of friction coefficient with respect to sliding length for each contact pressure (Room temperature, Contact Pressure: 7MPa)

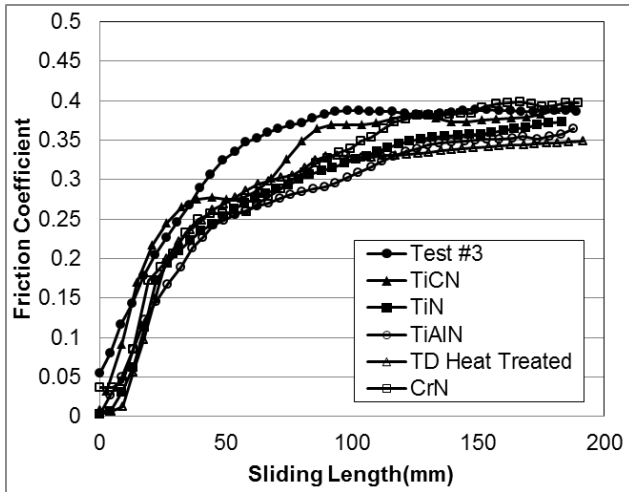


Fig. 10 Variation of friction coefficient with respect to sliding length for each contact pressure (250°C, Contact Pressure: 14MPa)

계수의 증가가 가장 크게 나타났고 접촉압력 21 MPa 에서는 다른 표면 처리 조건들에 비하여 매우 높은 마찰 계수를 나타내었다. 상온 마찰 시험에서 미끄럼 거리에 따른 마찰 계수의 증가가 매우 빠른 것으로 나타났던 TD 열처리 금형의 경우 온간에서는 다른 표면 처리 금형들과 유사한 증가 경향을 나타내었으며 전체 접촉 압력 시험 조건에서 TiN, AlTiN 등과 함께 비교적 우수한 마찰 특성을 나타내었다. TiCN 은 미끄럼 거리에 따른 마찰 계수의

증가 속도가 가장 빠르게 나타났으며 접촉압력 21 MPa 에서는 표면 처리를 하지 않은 경우보다도 더 빨리 금형과 소재가 고착되는 현상이 발생하였다.

이상의 마찰 시험 결과를 분석하면 250°C 온간에서 성형이 이루어지는 마그네슘 합금 판재의 경우, 마찰 특성에 대하여 금형 표면 처리 조건이 미치는 영향이 상온에 비하여 매우 큰 것을 알 수 있다. 높은 접촉 압력 조건에서는 일부 표면 처리된 금형이 표면 처리하지 않은 금형에 비하여 오히려 나쁜 마찰 특성을 나타내는 경우도 발생하여 마그네슘 합금의 온간 성형시 금형의 표면 처리 종류의 선정 또한 매우 중요한 것을 알 수 있다.

#### 4. 결론

여러 가지 표면 처리 금형을 이용하여 마그네슘 합금 판재에 대하여 마찰 특성을 평가하는 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 마그네슘 판재의 상온 마찰 특성에는 금형 표면 처리 조건의 영향이 크지 않으나 온간 마찰 특성에는 표면 처리 조건의 영향이 크게 나타나 온간 성형에서는 금형 표면 처리 조건의 선정이 중요한 것을 알 수 있었다.

(2) 마그네슘 합금의 온간 성형에서, 부품 성형에 필요한 마찰 특성을 확보하기 위하여서는 성형용 금형의 표면 처리가 필요하며 부적절한 표면 처리

조건의 선정은 표면 처리하지 않은 경우보다 마찰 특성이 나빠질 수 있음을 확인하였다.

(3) 온간에서의 마그네슘 합금의 마찰 계수는 접촉 압력에 따라 증가하고 특정 값 이상에 도달하면 고착 현상이 발생할 가능성이 있기 때문에 성공적인 성형을 위하여서는 접촉 압력을 감소시키기 위한 금형 또는 공정의 설계가 필요한 것으로 판단된다.

## 후 기

이 연구는 금오공과대학교 학술연구비로 지원되었음(2018104022)

## REFERENCES

- [1] 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., pp. 88~91
- [2] Jenny Eriksson, Mikael Olsson, 2011, Tribological testing of commercial CrN, (Ti,Al)N and CrC/C PVD coatings -Evaluation of galling and wear characteristics against different high strength steels, Surface and Coatings Technology. Vol. 205, pp. 4045~4051. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2011.02.053>
- [3] S. H. Chang, Y. M. Heo, K. H. Shin, H. K. Kim, Y. J. Jeon, 2010, Study on the friction characteristics for AZ31 sheet as various surface treatment of SKD11, Trans. of Mater. Process., Vol. 19, No. 7, pp. 429~434. <https://doi.org/10.5228/KSTP.2010.19.7.429>
- [4] H. Gwon, M.-G. Kim, H.-L. Hur, Y.-H. Park, Y.-S. Kim, 2014, Surface modification to improve anti-adhesion properties of forming tools and sheets during sheet forming of Mg alloy, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf., pp. 159~162
- [5] S.S.Han, 2018, Study of frictional behavior of AZ31B Mg alloy at elevated temperature, Trans. of Mater. Process., Vol. 27, No. 3, pp. 160~164. <https://doi.org/10.5228/KSTP.2018.27.3.160>