

금형 표면 거칠기의 방향성이 판재의 마찰 특성에 미치는 영향 연구

한수식^{1,#}

Study of Tool Surface Texture Directionality Effect on Frictional Behavior of Sheet Metal Forming

S.S.Han

(Received January 17, 2020 / Revised March 5, 2020 / Accepted March 6, 2020)

Abstract

Various parameters are involved in the frictional behavior of steel sheet during stamping. We performed various tests in order to investigate the influence of tool surface texture directionality upon the resulting friction in sheet forming processes. Four different tools were manufactured which gave us a range of roughness for both parallel and transverse texture directions. Each of the tools was examined in flat type friction tests under identical test conditions. The tool with the transverse surface texture produces significantly lower levels of friction than the tool with parallel texture direction. Considering the lubrication mechanism associated with transverse texture, one can imagine the lubricant being constantly supplied from the reservoir of the micro valley to the point of contact and hence producing the lower levels of friction seen.

Key Words: Micro Valleys, Flat Type Friction test, Real Contact Area, Lubricant Supply, Lubricant Viscosity

1. 서 론

판재 성형 공정에는 매우 다양한 인자들이 영향을 미친다. 이들 영향 인자들 중에서 금형과 판재의 접촉면에서 발생하는 마찰 현상은 성형중 판재의 변형 분포에 영향을 주어 성형 공정의 성공 여부를 결정하고 성형 후 제품의 품질에도 영향을 주는 매우 중요한 성형 인자이다.

마찰은 금형과 판재의 접촉 계면에서 발생하는 현상이기 때문에 판재 표면의 개질 특성뿐 만 아니라 금형 표면의 개질 특성에 의해서도 영향을 받는다. 마찰 특성에 영향을 미치는 인자들에는 표면 거칠기, 도금 층의 특성 등과 같은 표면 개질 특성뿐 만 아니라 접촉압력, 상대운동 속도와 같은 성형 조건도 포함된다.

이와 같이 많은 인자들이 판재 성형 공정에서의 마찰 현상에 영향을 주기 때문에 이들 인자들의 영향에 대한 다양한 연구가 진행되어 왔다.[1~3] 이들 연구 결과들은 판재와 금형의 표면 거칠기의 크기와 형상이 마찰 특성에 영향을 미치는 매우 중요한 인자임을 나타내고 있다.[4~6]

판재의 표면 거칠기 형상은 압연 롤의 표면 거칠기 형상이 압연 중에 판재의 표면에 전사되어 생성되지만 금형 표면의 거칠기 형상은 기계 가공의 결과로 생성된다. 압연롤 표면을 가공하는 방법에는 여러 가지가 있지만 현재, 대부분의 압연롤 표면 가공에 SBT(Shot Blasting Texturing) 또는 EDT(Electro Discharge Texturing) 기술이 적용되고 있기 때문에 판재의 표면 거칠기 형상에는 방향성이 거의 없다. 대부분의 금형 표면 가공은 연삭 작업을 통하여 마무리된다. 따라서 금형 표면 거칠기 형상은 연삭 작업 조건에 의하여 결정된다. 회전하는 스톨을 사용하는

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

연삭 작업의 특성상 금형 표면에 생성된 표면 거칠기 형상은 방향성을 나타내게 되며 이러한 표면 거칠기 형상의 방향성은 판재와 금형의 접촉면에서의 마찰 특성에 영향을 미치는 인자들 중의 하나가 될 수 있다.

이에 본 연구에서는 미끄럼 방향에 대한 금형 표면 거칠기의 방향성이 마찰 특성에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 서로 다른 표면 거칠기 방향성을 갖는 시험용 금형과 평판형 마찰 시험기를 이용하여 금형 표면 거칠기의 크기와 윤활유의 점도 등을 변화시킨 조건에서 마찰 시험을 수행하여 마찰 특성에 대한 금형 표면 거칠기 방향성의 영향을 분석하였다.

2. 마찰 시험 조건 및 방법

금형과 판재 사이의 마찰 특성을 분석하기 위하여 사용된 평판형 마찰 시험기와 시험 원리를 Fig.1에 나타내었다. 마찰 시험은 그림과 같이 유압 실린더에 장착된 금형으로 시편을 누른 후 시편이 고정된 플레이트를 유압 실린더로 당기면서 각각의 유압실린더에 장착된 로드셀로 하중을 측정하는 방식으로 이루어진다.

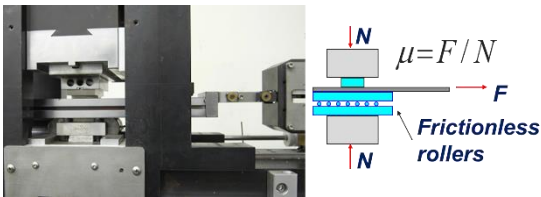


Fig. 1 Flat type tester for friction test

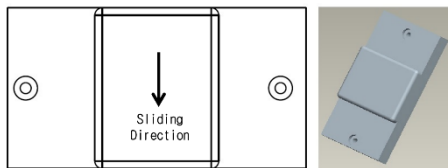


Fig. 2 Geometry of tool for friction test and sliding direction

마찰 시험용 금형의 재질은 주강 SC450 이며, 접촉면적은 30mm x 40mm 으로 Fig. 2 와 같이 제작하

여 미끄럼 방향의 접촉 길이를 폭 방향의 접촉 길이보다 길게 하였다. 마찰 시험용 금형의 접촉 표면은 수평 평면 연삭기를 사용하여 가공하였다. 이때 2 개의 시험용 금형 표면이 동일한 조건으로 가공되면서 서로 다른 표면 거칠기 방향성을 갖도록 하기 위하여 Fig. 3 에 나타낸 것처럼 금형들을 연삭기 마그네틱척 위에 서로 직교하게 배치한 다음 동시에 연삭 작업을 시행하였다. 금형의 표면 거칠기는 연삭 작업의 조건을 달리하여 일반적으로 프레스 금형 현장에서 적용하고 있는 수준인 $0.20 \pm 0.02 \mu\text{m}$ (Ra) [7] 를 갖는 경우와 이것보다 매끄러운 수준인 $0.10 \pm 0.01 \mu\text{m}$ (Ra) 를 갖는 경우, 2 가지로 마찰 시험용 금형을 준비하였다.

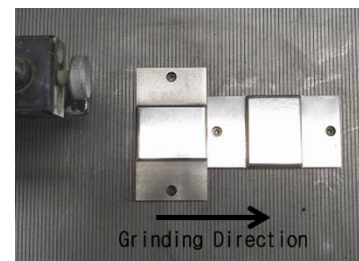
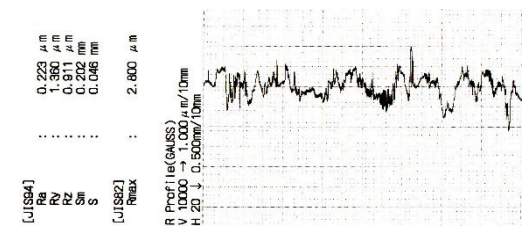
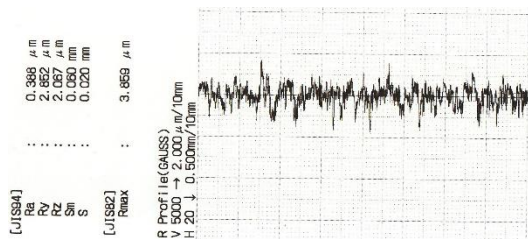


Fig. 3 How to fix grinding specimens that provide the same grinding conditions with different texture directions



(a)



(b)

Fig. 4 Surface roughness of the tool for each measuring direction. (a) Parallel direction of grinding (b) Transverse direction of grinding

준비된 마찰 시험용 금형의 표면 거칠기를 측정
한 결과, 연삭 방향으로의 표면 거칠기 평균(5 번 측
정하여 계산)이 매끄러운 금형은 0.105 $\mu\text{m}(\text{Ra})$ 로 일
반적 표면 거칠기 수준의 금형은 0.225 $\mu\text{m}(\text{Ra})$ 로 나
타났다. 동일한 금형에 대하여 연삭 방향에 직각 방
향으로 측정한 표면 거칠기 평균은 각각 0.128 $\mu\text{m}(\text{Ra})$
와 0.393 $\mu\text{m}(\text{Ra})$ 로 나타났다. Fig. 4 에는 일반적 표면
거칠기 수준으로 가공된 마찰 시험용 금형의 표면
거칠기를 각각의 방향에 대하여 측정한 결과를 나
타내었다.

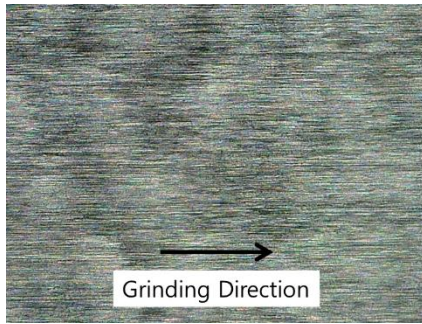


Fig. 5 Photography of tool surface after grinding (Ra : 0.225 μm)

Fig. 5 에 연삭 가공된 마찰 시험용 금형 표면의 사
진을 나타내었다. Fig. 4 와 Fig. 5 로부터 시험용 금형
의 표면 거칠기 형상이 연삭작업으로 인하여 방향
성을 갖게 되는 것을 알 수 있다.

시험용 소재로는 비도금 340E 1.2t 냉연강판을 사
용하였으며 소재의 표면 거칠기는 평균 0.842 $\mu\text{m}(\text{Ra})$
로 측정되었다. 마찰 시험시 가압 하중을 시험기의
최대 설계 하중인 2,000 Kgf (환산접촉압력 16.4Mpa)
로 설정하였으며 미끄럼 속도는 1,000mm/min 로 고
정하였다. 사용한 시편 크기는 폭 40mm, 길이
320mm 이며 시편의 길이 방향이 압연 방향이 되도
록 시편을 준비하였다. 마찰 시험시 미끄럼 거리는
250mm 이다. 마찰 시험은 도유 조건에서 실시되었
다. 대부분의 자동차 내판용 부품들은 입수된 코일
에 따로 윤활유를 도유하지 않고 방청유만 도유된
조건에서 성형하는 경우가 많다. 이러한 실성형 조
건을 고려하기 위하여 현재 철강사에서 사용중인
방청유와 유사한 수준의 점도를 갖는 점도 5.3 cSt
의 저점도유와 이보다 윤활성이 우수한 점도 49.3
cSt 의 중점도유를 각각 사용하여 마찰 시험을 실시
하였다.

3. 시험 결과 및 고찰

Fig. 6과 Fig. 7은 저점도유를 사용한 경우와 중점
도유를 사용한 경우, 각각에 대하여 매끄러운 표면
거칠기를 갖는 시험용 금형과 일반적 수준의 표면
거칠기를 갖는 시험용 금형을 이용하여 마찰 시험
을 실시한 결과를 나타내었다. 마찰 시험 결과에 따
르면 금형 표면 거칠기가 매끄러울수록, 사용 윤활
유의 점도가 높을수록 마찰 계수는 감소하였다. 그
리고 미끄럼 방향과 연삭 작업으로 인하여 발생한
금형 표면 거칠기 골의 방향이 서로 나란할 경우에
비하여 서로 직교할 경우 마찰 계수가 훨씬 낮은
값을 나타내는 것을 알 수 있었다. 미끄럼 방향에
대한 금형 표면 거칠기 골의 방향이 마찰 계수에
미치는 영향은 금형 표면 거칠기의 크기가 거칠수
록 윤활유의 점도가 낮을수록 크게 나타나는 것을
알 수 있다.

이와 같이 미끄럼 방향과 금형 표면 거칠기 골의
방향이 마찰 계수에 미치는 영향은 윤활유의 포집
능과 진실 접촉부로의 윤활유 공급능력으로 설명할
수가 있다. Fig. 8 에 나타낸 것처럼 금형과 판재가
접촉할 때 실제로 접촉되는 부위는 금형 표면 거칠
기 산과 소재 면(실체는 소재의 거칠기산)이 되며
거칠기 골 부분은 윤활유를 포집하는 역할을 하게
된다. 미끄럼 운동시 거칠기 골 부분에 포집된 윤활
유를 진실 접촉부위에 얼마나 지속적으로 잘 공급
될 수 있는지의 여부가 마찰 계수를 결정하게 될
것이다.

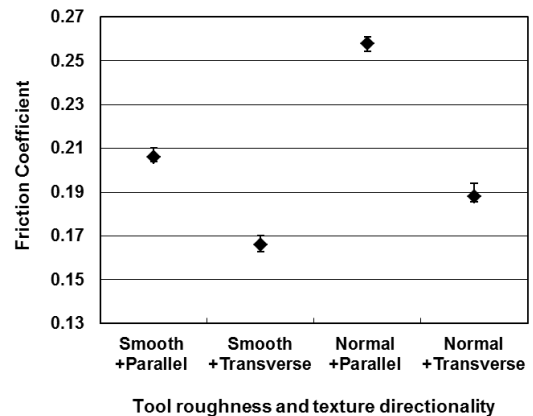


Fig. 6 Friction coefficient with respect to tool roughness and surface texture directionality (with low viscosity lubricant)

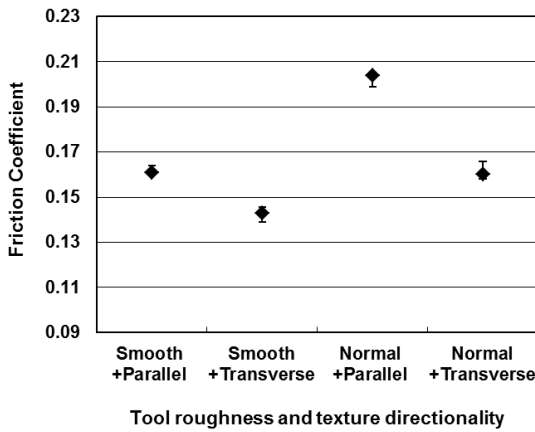


Fig. 7 Friction coefficient with respect to tool roughness and surface texture directionality (with medium viscosity lubricant)

금형 표면 거칠기 형상이 방향성을 갖고 있다면 Fig. 9의 형태와 같이 거칠기 골 부분(파란색 표시 부분)에 윤활유가 포집되어 있을 것이다. 이러한 상태에서 미끄럼 운동이 Fig. 9의 1번 방향(거칠기 골 방향에 평행 방향)으로 일어나게 되면 거칠기 골에 포집되어 있는 윤활유는 점성에 의하여 판재의 운동 방향인 거칠기 골을 따라 흘러가게 되어 진실 접촉이 발생하는 거칠기 산 부위(흰색 표시 부분)로 공급이 잘 이루어질 수 없다. 그러나 미끄럼 운동이 Fig. 9의 2번 방향(거칠기 골 방향에 수직 방향)으로 일어나게 되면 Fig. 8에 표시한 것처럼 거칠기 골 부분에 포집되어 있던 윤활유가 점성으로 인하여 판재 표면에 부착되어 진실 접촉이 발생하는 거칠기 산 부위로 지속적으로 공급되게 된다. 그 결과 마찰 계수는 낮은 값을 나타내게 될 것이다. 미끄럼 운동이 거칠기 골에 평행하게 이루어질 경우에도 윤활유의 점성으로 인하여 진실 접촉 부위에 윤활유가 공급될 수는 있으나 그 양은 미끄럼 운동이 거칠기 골 방향에 수직인 경우에 비하여 매우 작을

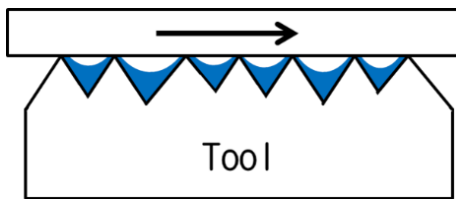


Fig. 8 Schematic diagram of transverse texture lubrication mechanism

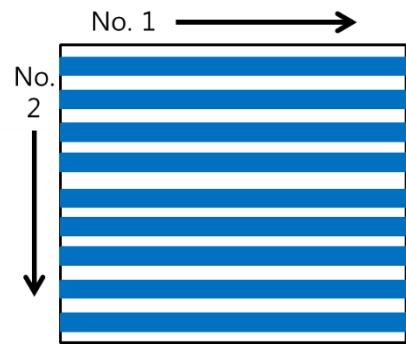


Fig. 9 Schematic diagram of micro valleys lubricant reservoirs and real contact area

것이다. 표면 거칠기가 매끄러우면 거칠기가 거친 경우에 비하여 거칠기 골 부분의 윤활유가 소재 면에 점착되기가 용이하여 거칠기가 거친 경우에 비하여 진실 접촉 부위에 윤활유가 잘 공급될 것이다. 그 결과, 금형 표면 거칠기가 매끄러운 경우에는 거칠기 골의 방향에 대한 미끄럼 운동 방향이 마찰 계수에 미치는 영향이 작은 것으로 판단된다.

이러한 금형 표면 거칠기의 방향성이 마찰 특성에 미치는 영향이 지속적으로 유지되는 지에 대하여 확인하기 위하여 연속적인 마찰 시험을 시행하였다. 저점도 윤활유를 도유한 조건에서 일반적인 수준의 표면 거칠기를 갖는 금형에 대하여 동일 조건으로 시험을 실시하였다. 준비된 시편의 양이 한정되어 있어 총 97회의 마찰 시험을 실시하였다. Fig. 10에는 각 회차별 마찰 시험 결과를 나타내었다. 시험 시작 시점에 마찰 계수의 증가가 잠깐 나타났으나 그 이후에는 안정된 형태를 나타내었다. 그래프 상으로는 시험 횟수의 증가에 따라 마찰 계수는 거의 변화가 없는 것으로 판단되었으나 추세선으로 확인해본 결과 시험이 진행됨에 따라 아주 완만하게 마찰 계수는 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 마모에 의한 금형 표면 거칠기 크기의 증가 또는 금형 표면에 미끄럼 운동 방향으로의 스크래치등의 발생으로 인하여 금형 표면 거칠기가 또 다른 방향성을 갖기 때문으로 생각해볼 수 있다.

Fig. 11에는 최종 마찰 시험후 금형 표면의 모습을 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 금형 표면에 미끄럼 방향으로 미세한 금형 자국들이 관찰되었다. 그리고 연삭 방향으로의 금형 표면 거칠기를 측정 결과는 평균 $0.228\mu\text{m(Ra)}$ 로 미세하게 증가하

였으나 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 이상의 결과로는 마찰 계수가 시험 횟수의 증가에 따라 미세하게 증가하는 현상의 원인을 정확하게 판단할 수는 없다. 향후 시험용 소재를 추가로 확보하여 충분한 횟수의 시험을 실시하여 이에 대하여 분석할 필요가 있을 것으로 판단된다.

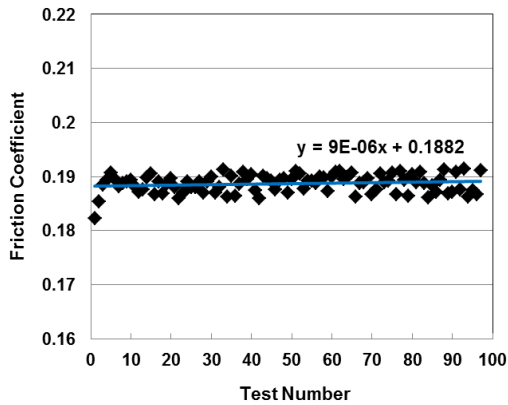


Fig. 10 Variation in friction coefficient over number of tests (Ra : 0.225 μ m, Transverse direction)



Fig. 11 Photography of tool surface after 97th test (Ra : 0.225 μ m, Transverse direction)

4. 결 론

금형 표면 거칠기의 방향성이 판재의 마찰 특성에 미치는 영향에 대하여 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 금형 표면 거칠기가 거칠수록 윤활유의 점도가 낮을수록 마찰 계수는 증가하는 것으로 관찰되었다.

2) 금형 표면 거칠기 골의 방향과 미끄럼 방향이 수직인 경우의 마찰 계수가 평행인 경우에 비하여 낮은 것으로 관찰되었다.

3) 표면 거칠기의 방향성이 마찰 특성에 영향을 미치며 그 정도는 표면 거칠기가 거칠수록 윤활유

의 점도가 낮을수록 큰 것으로 나타났다.

4) 이상 연구 결과를 종합해볼 때 판재 **성형시 우수한** 마찰 특성을 확보하기 위하여서는 금형 표면 거칠기의 크기 뿐만 아니라 방향성도 고려하여 할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문입니다.

참 고 문 헌

- [1] W. T. Kim, D. H. Lee, M. S. Suh, Y. H. Moon, 2005, Analysis on parameters affecting the friction coefficient in drawbead forming of sheet metal, Trans. Mater. Process., Vol.14, No.8, pp.668~674.
- [2] H. Kim, S.Han, Q.Yanc, T.Altan , 2008, Evaluation of tool materials, coatings and lubricants in forming galvanized advanced high strength steels (AHSS), CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol.57, No. 1, pp.299~304.
- [3] Y. Tamai, T. Fujita, T. Inazumi, K. Manabe, 2013, Effects of Contact Pressure, Sliding Velocity and Sliding Length on Friction Behavior of High-Tensile-Strength Steel Sheets, J. Jpn. Soc. Technol. Plast., Vol.54, No. 629, pp. 537~541.
- [4] P. Skarpelos, J. W. Morris, Jr., 1997, The effect of surface morphology on friction during forming of electrogalvanized sheet steel, WEAR, Vol. 212, No. 2, pp. 165~172.
- [5] A. Azushima, M. Sakuramoto, 2006, Effects of Plastic Strain on Surface Roughness and Coefficient of Friction in Tension-bending Test, Annals of the CIRP, Vol. 55, No. 1, pp.303~306.
- [6] S. S. Han, K. C. Park, 2009, Effect of Surface Roughness on Frictional Behavior of Sheet Steel for Automotive, Trans. Mater. Process., Vol.17, No.6, pp. 401~406.
- [7] J. E. Kim, J. Y. Heo, I. C. Yoon, J. S. Song, K. T. Youn, C. D. Park, 2015, Evaluation of Friction Characteristics for High-Strength-Steel Sheets Depending on Conditions, Trans. Mater. Process., Vol.24, No.6, pp. 381~386.