

소성변형에 의한 냉연 강판의 표면 거칠기 변화가 마찰 특성에 미치는 영향

한수식[#]

Influence of Surface Roughness Change on Frictional Behavior of Sheet Steel for Each Forming Mode

S. S. Han

(Received March 18, 2010 / Revised March 27, 2010 / Accepted April 2, 2010)

Abstract

The frictional behavior of bare steel sheet highly depends on surface roughness. It was investigated that the change of surface roughness of bare steel sheet due to deformation for each forming mode. The flat type friction test was done to check the effect of surface roughness change on frictional characteristics of bare steel sheet. As increasing the deformation, the Ra value was increased at stretching forming mode and drawing forming mode, however the change of Pc showed different trends. The Pc was decreased as increasing stretch deformation but increased at compression deformation. At drawing forming mode, the friction coefficient was increased as deformation was increased after initial big drop with drawing oil. As deformation was increased, the friction coefficient was decreased with drawing oil at stretching forming mode. The results show that the deformation changes the surface roughness and frictional characteristics of steel sheet but the effect depends on the forming mode.

Key Words : Drawing Forming Mode, Stretching Forming Mode, Oil Pocket, Friction Test, Lubricant Condition

1. 서 론

판재 성형 공정의 특성상 판재와 금형 사이의 마찰은 성형 공정의 성패에 큰 영향을 준다. 마찰 특성이 우수할수록 성형 공정은 외란에 대하여 보다 안정화되기 때문에 성형 불량 발생이 감소하게 된다. 금형과 판재 사이의 마찰은 계면에 관계된 특성이기 때문에 판재의 표면 특성이나 금형의 표면 특성에 큰 영향을 받는다.

판재의 마찰 특성에 영향을 주는 인자들로서는 표면 경도, 표면 거칠기, 표면의 화학 성분, 도금 여부, 도금층의 특성 등이 있다. 도금 강판의 경우 다른 인자들에 비하여 도금층의 특성이 마찰

특성에 지배적인 영향을 주고 있으나 비도금 냉연 강판의 경우 표면 거칠기가 강판의 마찰 특성에 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있어 많은 연구자들에 의해서 표면 거칠기와 마찰 특성과의 상관 관계를 밝히기 위한 노력이 있어 왔다[1~4]. 성형 공정 중에 판재와 금형면과의 접촉으로 인하여 판재의 표면 거칠기는 변하게 되며 이로 인하여 마찰 특성은 변화하게 된다[5~7]. 그리고 변형 모드에 따라서 판재의 표면은 확장 또는 수축을 경험하게 되고 이로 인하여 표면 거칠기도 변화하게 된다. 이러한 표면 거칠기의 변화는 성형 중 판재의 마찰 특성에도 영향을 줄 것이다. 인장 굽힘 마찰 시험시 발생하는 소성 변형에 의한 표

[#] 교신저자: 1. 금오공과대학교 기계공학부,
E-mail:sshan@kumoh.ac.kr

면 거칠기의 변화와 마찰 특성에 대하여 측정된 연구 결과[8,9] 들이 보고되고 있다.

판재 성형 중에 발생하는 소성 변형에 의하여 판재의 표면 거칠기는 변화하는데 이러한 변화는 변형 모드에 따라서 다르게 나타날 것으로 판단된다. 이러한 변형 모드에 따른 표면 거칠기 변화의 차이가 마찰 특성에도 서로 다르게 영향을 줄 것이기 때문에 이에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 판재 성형시 발생하는 대표적인 변형 모드인 딥드로잉 변형 모드와 장출 변형 모드에 대하여 변형시 발생하는 표면 거칠기의 변화를 분석하고 이러한 표면 거칠기의 변화가 냉연 강관의 마찰 특성에 미치는 영향을 평판형 마찰 시험법을 이용하여 조사하였다.

2. 변형 모드에 따른 표면 거칠기 변화

2.1 드로잉 변형 모드에서의 표면 거칠기 및 마찰 특성 변화

딥드로잉 변형 모드로 변형되는 경우 변형량에 따른 판재의 표면 거칠기 변화를 조사하였다. 판재에 딥드로잉 변형 모드의 변형을 가하는 가장 쉬운 방법은 딥드로잉 성형을 통하여 플랜지부의 소재에 변형을 가하는 것이다. 그러나 이 경우 급형과 소재 표면의 마찰에 의하여 표면 거칠기가 손상되기 때문에 적당하지 않다. 따라서 일축 인장 시험을 이용하여 딥드로잉 변형 모드를 모사하였다. 이 경우 폭 방향의 수축 변형량이 실제의 딥드로잉 성형에 비하여 작지만 어느 정도 모사는 가능할 것으로 판단하였다.

시험에는 SPCE 0.6t 비도금 냉연 강관을 소재로 사용하였으며 표면 거칠기 변경 후 편면 마찰 시험 수행에 필요한 소재를 확보하기에 충분하도록 압연 방향을 길이 방향으로 하여 300x50mm 크기로 시편을 절단하여 인장 시험기를 이용하여 길이 방향을 변형을 가하였다.

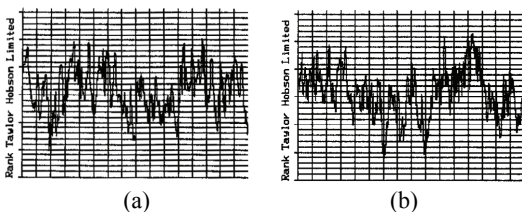


Fig. 1 Surface profile of steel sheet for test ((a) Rolling direction, (b) Transverse direction)

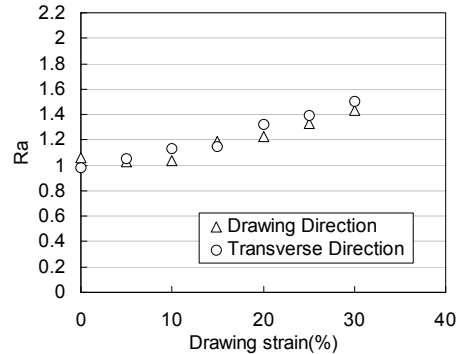


Fig. 2 Variation of Ra with respect to drawing strain

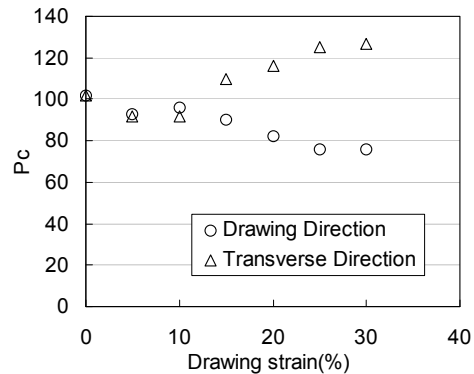


Fig. 3 Variation of Pc with respect to drawing strain

변형 전후 시편의 표면 거칠기는 Taylor Hobson사의 휴대용 접촉식 표면 거칠기 측정기를 이용하였으며 측정 거리는 4mm, Cut-off Length는 0.8mm로 설정하였다. Fig. 1은 시험에 사용된 판재의 변형 전 표면 거칠기 형상을 나타내었다. 그리고 Fig. 2와 Fig. 3에는 길이 방향의 변형량에 따른 표면 거칠기 측정 결과를 나타내었다.

판재 길이 방향으로의 드로잉 변형량이 증가할수록 중심선 평균 거칠기(Ra) 값은 점점 증가하는 것으로 나타났다. Ra 값의 증가는 늘어나는 길이 방향뿐만 아니라 수축 변형이 발생하는 폭 방향에 대하여서도 함께 나타났다. 그러나 표면 거칠기의 피크 카운트수 (Pc) 값은 서로 다른 경향을 나타내었다. 길이 방향으로의 Pc 값은 변형이 증가할수록 감소하였으나 폭 방향으로의 길이 방향 변형이 증가할수록 즉, 폭 방향으로 수축 변형이 증가할수록 증가하였다. 이것은 인장 변형에 의하여 거칠기산 사이의 거리가 증가하고 수축 변형에 의하여 거리가 감소하는 것으로 설명이 가능하다.

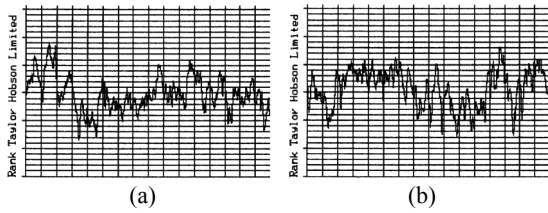


Fig. 4 Surface profile of steel sheet after drawing (Strain : 30%) ((a) Rolling direction, (b) Transverse direction)

Fig. 4는 길이 방향 변형률이 30% 일 때 표면 거칠기 형상을 나타내었다.

드로잉 변형으로 인해 발생한 판재의 표면 거칠기 변화가 판재의 표면 마찰 특성에 변화를 발생시키는지 확인하기 위하여 드로잉 변형을 가한 시편의 가운데 부분을 길이 180mm 로 잘라내어 마찰 특성을 평가하였다. 마찰 시험은 평판형 편면 마찰 시험기[1]를 사용하였다. 시험 조건은 접촉압력 10Mpa, 미끄럼속도 0.8m/min, 미끄럼 거리 100mm로 하였으며 미끄럼 거리 20mm ~ 80 mm 사이의 평균값을 사용하여 마찰계수를 산출하였다. 냉연 강판용 방청유(점도 9.1 cSt (22°C))와 드로잉 가공유(점도 94.8 cSt (22°C)) 를 사용한 운할 조건에 대하여 각각 시험하였다. 주어진 조건에 대하여 마찰시험을 3번씩 수행하여 마찰계수는 평균값을 사용하였다.

드로잉 변형을 주어 표면 거칠기를 변화시킨 판재에 대하여 마찰 시험한 결과 방청유 사용 운할 조건에서는 판재에 작은 양의 변형이 가하여진 초기에 마찰 계수가 약간 증가한 것으로 나타났으며 그 이후에는 변형량이 증가하여도 마찰 계수의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 드로잉유 운할 조건에서는 변형량이 작은 경우에 마찰 계수가 변형 전보다 작아졌다가 그 이후부터는 변형량이 증가할수록 마찰 계수가 조금씩 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 표면 거칠기에 따른 마찰 특성에 관한 실험[1]에서 보여 주었던 표면 거칠기가 증가할수록 마찰계수가 증가하는 현상과 유사한 결과를 나타내고 있으나 5%의 변형이 주어진 경우 전체 표면 거칠기의 변화가 거의 없음에도 불구하고 마찰 계수가 저하되는 현상이 나타나는데 이것은 변형에 의한 표면층의 특성 변화 등을 고려해볼 수 있으나 정확한 원인에 대한 추후 분석이 필요할 것으로 생각된다.

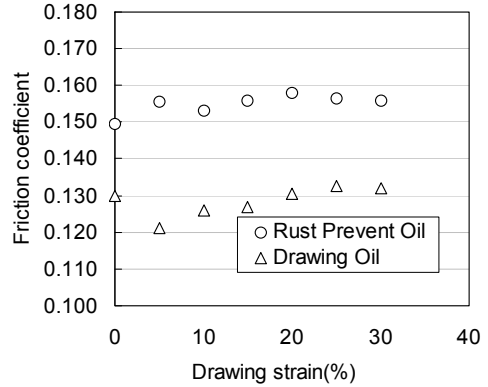


Fig. 5 Friction coefficient with respect to drawing strain

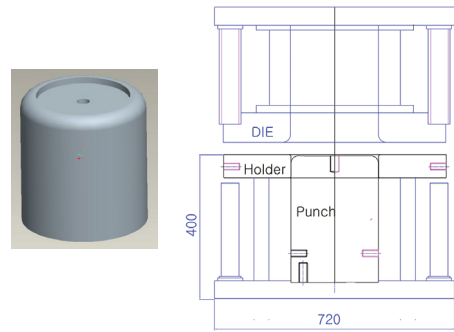


Fig. 6 Tools for bi-axial stretching test

2.2 장출 변형 모드에서의 표면 거칠기 및 마찰 특성 변화

장출 변형 모드로 판재가 변형하는 경우 장출 변형량에 따른 표면 거칠기와 마찰 특성의 변화에 대하여 조사하였다. 판재에 이축 인장 변형을 주기 위하여 Fig. 6에 나타난 것과 같이 펀치 바닥 부위가 제거된 직경 194mm의 원통형 펀치를 이용하여 딥드로잉 성형하는 방법을 사용하였다.

펀치 바닥과 곡물 부분에 우지를 바른 우레탄 패드 등을 사용하여 마찰을 감소시키고 블랭크 홀더력을 증가시키면 플랜지 부분으로부터 재료의 유입이 거의 일어나지 않아서 펀치 바닥부의 재료는 이축 인장의 변형을 일으킨다. 이 경우 성형 높이를 변화시키면 판재에 다양한 변형량을 부가할 수 있다. 판재 표면에 원형 그리드를 예칭하여 변형량을 측정하였다.

Fig. 7과 8에는 장출 변형량에 따른 표면 거칠기의 변화를 측정된 결과를 나타내었다. 드로잉

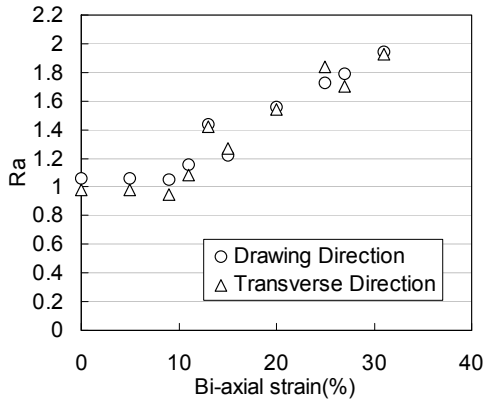


Fig. 7 Variation of Ra with respect to bi-axial stretching strain

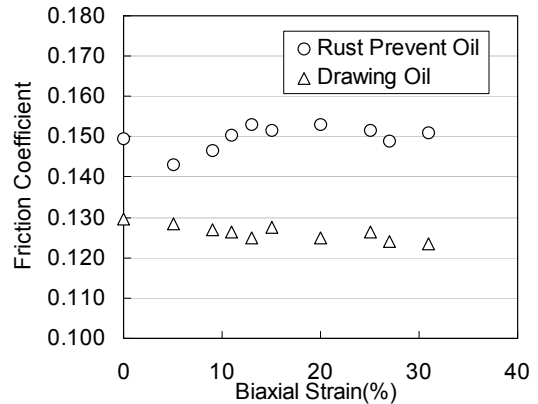


Fig. 10 Friction coefficient with respect to bi-axial stretching strain

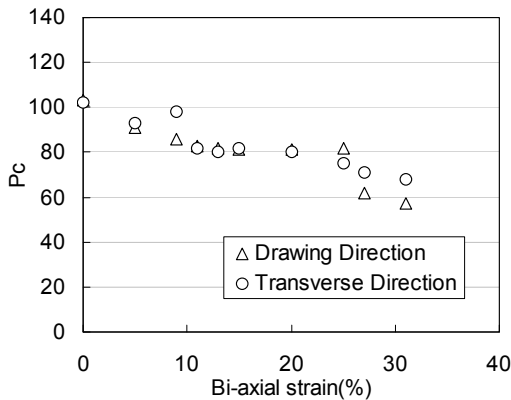


Fig. 8 Variation of Pc with respect to bi-axial stretching strain

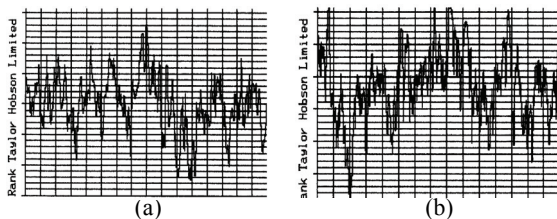


Fig. 9 Surface profile of steel sheet after bi-axial stretching (Strain : 31%) ((a) Rolling direction, (b) Transverse direction)

변형 모드와 유사하게 변형률 10% 정도까지는 변형이 발생하여도 표면 거칠기의 변화가 매우 작게 나타났으며 그 이후에는 변형의 증가에 따라 표면 거칠기가 급격히 증가하는 것으로 나타났다.

드로잉 변형을 가한 경우와 마찬가지로 변형률이 증가할수록 Ra 값은 증가하고 거칠기산의 거리를 나타내는 Pc 값은 감소하였다. 변형률에 따라 Ra 값이 증가하는 정도는 드로잉 변형의 경우에 비하여 훨씬 더 크게 나타났다. Fig. 9에는 장출 변형 모드에서 한 쪽 방향 변형률이 31% 일 때 표면 거칠기 형상을 나타내었다. 표면 거칠기의 진폭이 매우 증가한 것을 알 수 있다.

장출 변형에 의하여 발생한 표면 거칠기의 변화로 인하여 판재 표면 마찰 특성의 변화가 발생하였는지 확인하기 위해 성형된 컵 바닥부의 가운데 부분에서 압연 방향을 길이 방향으로 하여 120x40mm 크기로 소재를 잘라내어 마찰 특성을 평가하였다. 측정 조건은 드로잉 변형의 경우와 동일하다.

Fig. 10에는 장출 변형률에 따른 마찰 시험 결과를 나타내었다. 방청유를 도유한 윤활 조건에서 변형률이 4% 인 경우에 마찰 계수가 변형 전 소재에 비하여 감소한 후 변형률이 증가함에 따라 약간 증가한 후 거의 일정한 값을 나타내었다. 드로잉유를 사용한 윤활 조건에서는 변형률이 증가할수록 마찰 계수가 점차 감소하는 경향을 보여 주었다. 이러한 결과는 드로잉 변형의 경우에 보여 주던 표면 거칠기가 증가할수록 마찰계수가 증가하는 현상과 상반된 것이다.

3. 시험 결과 분석

판재에 변형이 작용하는 경우 표면 거칠기 Ra 값은 변형률이 증가할수록 증가하였으나 이에 따

른 마찰 계수의 영향은 윤활 조건과 변형 모드에 따라 서로 다르게 나타났다.

윤활성이 높지 않은 방청유를 사용한 조건에서는 변형에 의하여 표면 거칠기가 변하면 전체적으로 마찰 계수가 변형 전에 비하여 약간 증가하는 것으로 나타났으며 장출 변형 모드인 경우 변형량이 4% 인 경우를 제외하고는 변형량 증가에 따른 마찰 계수의 변화는 크지 않았다. 이것은 방청유의 점도가 낮아 표면 거칠기가 마찰 특성에 미치는 영향이 잘 나타나지 않았기 때문으로 판단된다.

윤활성이 높은 드로잉유를 사용한 조건에서 표면 거칠기의 변화가 판재의 마찰 특성에 미치는 영향은 각각의 변형 모드에서 서로 반대로 나타났다. 드로잉 모드로 변형하는 경우에는 변형을 가하기 전의 경우를 제외하고는 변형량이 증가하여 표면 거칠기가 증가할수록 마찰 계수가 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 장출 변형 모드의 경우 이와는 상반되게 변형량 증가에 따라 마찰 계수는 감소하는 것으로 나타났다.

이와 같은 현상은 변형에 의하여 표면 거칠기가 증가하면서 판재의 표면에 윤활유를 포집할 수 있는 공간인 오일 포켓의 형상과 크기의 변화가 발생하기 때문으로 판단된다. 판재 표면에 닫힌 형태의 오일 포켓이 존재하면 열린 형태의 오일 포켓에 비하여 윤활성이 향상[10]되는데 장출 변형 모드로 변형하는 것이 드로잉 변형 모드로 변형하는 것에 비하여 윤활성을 향상시킬 수 있는 형태로의 오일 포켓 생성에 유리하기 때문에 이와 같은 현상이 발생하였다.

4. 결론

변형에 의한 표면 거칠기의 변화와 이에 따른 마찰 특성의 변화에 대하여 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 드로잉 변형 모드로 변형할 경우 변형량에 따라 중심선 평균 거칠기 Ra 값은 증가하였으나 Pc 값의 변화는 변형 방향에 따라 다르게 나타났다. 드로잉유를 사용한 윤활 조건에서 드로잉 변형에 의해 표면 거칠기가 증가할수록 마찰 계수도 조금씩 증가하는 것으로 나타났다.

(2) 장출 변형 모드로 변형할 경우 변형량에 따라 중심선 평균 거칠기 Ra 값은 증가하고 Pc 값은 감소하는 것으로 나타났다. 드로잉유 윤활 조

건에서 장출 변형량 증가에 의하여 표면 거칠기가 증가할수록 마찰 계수는 감소하는 것으로 나타났다.

(3) 변형 모드에 상관 없이 변형에 의하여 중심선 평균 거칠기 Ra 값은 증가하였으나 이에 대한 마찰 특성의 변화는 변형 모드에 따라서 상반되게 나타났다. 이와 같은 현상은 윤활유 보관과 윤활성에 영향을 주는 오일 포켓의 생성과 관계된 것으로 판단된다. 장출 변형 모드의 변형 형태가 딥드로잉 변형 모드의 변형 형태에 비하여 윤활성 향상에 유리한 형태의 오일 포켓을 생성하는 것으로 생각된다.

후 기

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문입니다.

참 고 문 헌

- [1] S. S. Han, K. C. Park, 2008, Effect of Surface Roughness on Frictional Behavior of Sheet Steel for Automotive, Transactions of Materials Processing, Vol.17, No.5, pp. 401~406.
- [2] B. H. Lee, Y. T. Keum, 2002, Friction model for sheet metal forming analysis (Part1:Experiment), Transactions of Materials Processing, Vol.11, No.4, pp. 349~354.
- [3] 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, Transactions of materials processing, Vol.14, No.8, pp.668~674.
- [4] P. Skarpelos, J. W. Morris, Jr., 1997, The effect of surface morphology on friction during forming of electrogalvanized sheet steel, WEAR, Vol. 212, pp. 165~172.
- [5] E. Doege, C. kaminsky, A. Bagaviev, 1999, A New Concept for the Description of Surface Friction Phenomena, JMPT, Vol.94, pp. 189~192.
- [6] B. Ma, A. K. Tieu, C. Lu, Z. Jiang, 2002, A Finite-element Simulation of Asperity Flattening in Metal Forming, JMPT, Vol.130-131, pp. 450~455.
- [7] M. Jonasson, A. Wihlborg, L. Gunnarsson, 1998, Analysis of Surface Topography Changes in Steel

- Sheet Strips during Bending under Tension Friction Test, Int. J. Mach. Tools. Manufact. Vol.38, No.5-6, pp. 459~467.
- [8] 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.
- [9] T. C. Hsu, T. S. Yang, 2001, The Computer Simulation of Tribological Influence on Strain Path and Forming Limit in Punch Stretching of Sheet Metal, Advanced Manufacturing Technology, Vol. 17, pp. 393~399.
- [10] H. W. Lee, 2009, Research on Friction Behavior of Steel Sheets under Lubrication Conditions, Asia Steel 2009, p. 184.