자동차용 강판의 표면 마찰 특성에 대한 접촉 압력의 영향

한수식[#]

Contact Pressure Effect on Frictional Behavior of Sheet Steel for Automotive Stamping

S. S. Han

(Received October 15, 2010 / Revised December 29, 2010 / Accepted January 5, 2011)

Abstract

Many parameters influence the frictional behavior of steel sheet during stamping. The contact pressure between a die and a sheet during stamping is one of them. Thus, this parameter is investigated for high strength steel (HSS) sheets, which are widely used for auto body panels due to their potential for weight reduction. Since HSS extend the limits of contact pressure for mild steel, the effect of this parameter on friction cannot be ignored. To investigate the influence of contact pressure on the frictional behavior of steel sheets, a flat type of friction test was conducted on three different steel sheets under various contact pressures. For bare steel sheets, the curve representing the relationship between contact pressure and friction coefficient exhibits a U shape. Coated steel sheets show a similar tendency except at low contact pressure. For these materials, when the contact pressure is very low, the friction coefficient slightly increases with pressure before it starts to decrease. The test results show that the effect of contact pressure on frictional behavior of steel sheet is not negligible even for contact pressures that are lower than the strength of HSS sheet.

Key Words : High Strength Steel, Flat Type Friction Test, Coated Steel Sheet, Bare Steel Sheet, Oil Pocket

1. 서 론

판재 성형 중에 발생하는 판재와 금형 접촉면 사이의 마찰은 성형 제품의 변형 분포를 변화시켜 제품의 성형성과 성형 후 제품의 품질에 큰 영향을 주고 있다.

판재의 마찰 특성은 표면 거칠기, 도금 층의 특성 등 판재 표면의 개질 특성에 따라 변화하기 때문에 이에 대하여 많은 연구가 진행되어 왔다 [1~5]. 그러나 판재의 마찰 특성은 이러한 표면 개질 특성뿐만 아니라 금형과 판재 사이의 상대 운동 속도, 접촉 압력과 같은 성형 조건에도 영향을 받는 것으로 알려져 있어 이에 대한 연구들이 진행되고 있다. 접촉 압력이 마찰 특성에 미치는

영향에 대하여서는 접촉 압력이 증가할수록 마찰 계수가 감소한다는 연구 결과[6, 7]와 마찰 계수가 증가한다는[8] 서로 상반된 연구 결과가 각각 발표되고는 있으나 이들의 결과로부터 접촉 압력의 변화가 판재의 마찰 특성을 변화시킨다는 사실을 확인할 수 있다.

자동차 차체 경량화와 충돌 안정성 확보를 위하여 최근 들어 고강도 강판의 사용이 급격히 증가하고 있다. 고강도 강판의 높은 강도로 인하여 성형 중 발생하는 금형과 판재 사이의 접촉 압력은 일반 강판을 사용하는 경우에 비하여 매우 높게 나타난다. Fig. 1은 자동차용 고강도 강판의 하나인 DP590 1.6t 소재를 사용한 경우와 연강판 중의 한 종류인 SPEN 1.6t를 사용한 경우에 대하여

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

(a) SPCEN

(b) DP590

Fig. 1 Distribution of maximum normal contact pressure over time for cross member stamping

최대 변형량이 유사한 성형 조건에서 성형 중 발생한 최대 접촉 압력 분포를 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 고강도 강판 DP590을 성형할 경우 접촉 압력이 연강판 SPCEN을 성형할 경우에 비하여 최대 접촉 압력이 약 1.8 배 정도 크게 나타났다.

이와 같이 고강도 강판의 성형 시 발생하는 금형과 판재 사이의 접촉 압력의 변화 폭이 일반 강판을 사용하는 경우에 비하여 크기 때문에 접촉 압력의 변화에 따른 마찰 특성의 변화에 대하여 고강도 강판의 성형 공정이 더 크게 영향을 받을 수도 있다.

본 연구에서는 자동차 부품 성형 용으로 적용되고 있는 아연 도금 강판과 비도금 강판에 대하여 평판형 마찰 시험기를 이용하여 접촉 압력의 변화에 따른 마찰 시험을 수행하여 마찰 특성에 대한 접촉 압력의 영향을 분석하였다.

Fig. 2 Flat type friction tester and tool shape for friction test

2. 마찰 시험

접촉 압력에 따른 자동차용 강판의 마찰 특성 변화를 분석하기 위하여 편면 마찰 시험을 행하였다. 시험에는 비도금 DP 590 1.2t, 아연 도금 DP 590 1.2t와 아연 도금 SPCEN 1.2t 소재들이 사용되었다. 마찰 시험기(Fig. 2)의 최대 가압 하중이 1,600 Kgf 정도이기 때문에 높은 접촉 압력을 얻기 위하여 접촉면이 20mm×20mm로 제작된 마찰 시험용 공구를 사용하였다. 공구의 접촉면 크기를 보다 작게 하면 접촉 압력을 더 높일 수는 있지만 너무 작으면 시험의 재현성이 나빠지는 문제점이 발생하여 위의 크기로 결정하였다.

마찰 시험은 도유 조건에서 행하였다. 시험에 사용된 윤활유는 현재 철강사에서 방청유로 사용되고 있는 P340N을 선택하였다. 대부분의 자동차 내판용 부품들이 입수된 코일을 블랭킹한 후 따로 윤활유를 도유하지 않고 성형하기 때문에 실 성형 조건을 고려하기 위하여 현재 철강사에서 사용중인 방청유를 윤활유로 사용하였다. 가압력은 200~300kg씩 변화시키면서 시험하였으며 동일 가압력 조건에서 3번의 시험을 시행하였다. 시험 결과들의 편차가 0.005 이상인 경우 추가 시험을 행하여 편차가 0.005 이하인 값이 3개가 나타날 때까지 시험을 반복하였다.

3. 시험 결과 및 고찰

Fig. 3은 DP590 비도금 강판에 대하여 접촉 압력의 변화에 따른 마찰 시험 결과를 나타내었다. 각 접촉 압력 조건에서 마찰 시험 결과의 변동 폭은 매우 작게 나타났다. 접촉 압력이 낮은 경우, 접촉 압력에 따른 마찰 계수의 변화는 압력이 증가할수록 약간씩 감소하는 것으로 나타났다. 접촉 압력이 20Mpa이후부터는 접촉 압력이 증가할수록

Fig. 3 Friction coefficient with respect to contact pressure(DP590 Bare)

Fig. 5 Friction coefficient with respect to contact pressure(SPCEN GA)

Fig. 4 Friction coefficient with respect to contact pressure(DP590 GA)

마찰 계수는 크게 증가하는 양상을 보여 주고 있다.

Fig. 4는 DP590 GA 도금 강판에 대하여 접촉압력의 변화에 따른 마찰 계수의 변화를 나타낸 것이다. 도금 강판의 경우 마찰 시험시, 마찰 시험용 공구 표면에 도금 층에서 탈락된 입자들이 고착되는 경우가 발생하는데 이러한 현상에 의하여 마찰 계수 측정 결과가 큰 변동을 나타내기도 한다. 이러한 이유 때문에 몇몇 접촉 압력 조건에서 마찰 시험 결과의 변동 폭이 비도금 강판의 경우에 비하여서는 크게 나타났다. 그리고 접촉 압력이 낮은 경우, 접촉 압력이 증가하면 마찰 계수는 증가한 후 다시 약간 감소하는 양상을 보여 주었다. 접촉 압력이 20Mpa 이상에서는 접촉 압력이 증가할수록 마찰 계수도 증가하였다. 그러나 그 증가 속도는 Fig. 3의 비도금 강판에 비하여 낮게

나타났다.

접촉 압력에 따른 마찰 특성의 변화는 SPCEN GA 소재의 경우 DP590 GA의 경우와 매우 유사한 경향을 나타내고 있다. 그러나 접촉 압력이 큰 경우 동일 접촉 압력 조건 내에서의 마찰 시험 결과의 변동폭이 DP590 GA에 비하여 크게 나타나고 있다. 이것은 모재의 강도가 낮기 때문에 높은 접촉 압력에 의하여 모재의 변형이 발생하고 이로 인하여 표면의 도금 층이 시험용 공구 표면에 잘 응착되기 때문에 나타나는 현상으로 생각된다.

비도금 냉연 강판의 시험 결과에서 나타난 접촉 압력이 20Mpa이하인 경우에 접촉 압력의 증가에 따라 마찰 계수가 감소하는 경향은 문헌 [6]와 [7]의 결과와도 잘 일치하고 있다. 고강도 도금 강판에 대하여 접촉 압력이 충분히 클 경우에는 접촉 압력의 증가가 마찰 계수의 증가를 가져오는 경향은 문헌 [8]의 결과와도 잘 일치하고 있다.

접촉 압력에 따라 마찰 계수의 변화가 위와 같이 나타나는 이유를 접촉 압력에 따른 강판 표면의 거칠기 형상 변화로서 설명할 수 있다. Fig. 6은 DP590 비도금 강판에 대하여 백색광 간섭계를 이용하여 각각의 접촉 압력 조건에 대하여 표면 거칠기 형상을 측정한 결과를 나타내었다. 금형이 판재와 접촉하면 판재 표면 층의 거칠기 산들이 금형과 먼저 접촉하게 되고 이들은 평편하게 변형하게 된다. 이러한 거칠기 산의 변형은 판재의 표면에 윤활성을 향상시키는 단힌 형태의 오일 포켓을 형성시키게 되며 이로 인하여 판재의 마찰 계수는 감소하게 된다(Fig. 6(c)). 그러나 접촉 압력이 한도 이상 작용하면 압력에 의하여 평탄

Fig. 6 Surface profile of specimen after friction test with various contact pressures (DP590 Bare)

해지는 면이 크게 증가하여 전체 접촉 면적에 대하여 오일 포켓이 차지하는 면적의 비율이 감소하게 되고 금형 면과 판재 면의 진실 접촉 면적이 차지하는 비율이 증가하게 된다. 따라서 마찰 계수는 증가하게 된다(Fig. 6(d)).

접촉 압력이 낮은 경우에 도금 강판과 비도금 강판의 마찰 특성에 약간의 차이를 나타내는 것은 도금 층의 표면에 존재하는 연질 층이 작은 접촉 압력에 대하여서도 쉽게 변형하여 금형 면과의 응착 현상등을 일으키기 때문인 것으로 생각이 되나 이에 대하여서는 자세한 추가 분석이 필요하다.

Fig. 1(b)의 고강도 강판을 성형하는 경우, 금형 면과 판재 면 사이의 최대 접촉 압력이 수백 Mpa를 나타내고 있으나 본 시험의 경우에 이에 미치지 못하는 접촉 압력을 사용하였다. 마찰 시험 결과를 살펴보면 접촉 압력이 계속 증가하면 마찰 계수도 지속적으로 증가하여 이론적인 최대 쿨롱 마찰 계수 값에 도달하는 양상을 나타낼 것으로 판단되지만 장비의 용량 부족으로 인하여 검증이 이루어 지지 못하고 있다. 추후 장비를 보완하여 이에 대한 검증을 진행할 계획이다.

4. 결 론

접촉 압력이 자동차용 강판의 표면 마찰 특성에 미치는 영향에 대하여 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 비도금 강판의 경우 접촉 압력이 증가하면 마찰 계수는 감소하다가 다시 증가하는 것으로 나타났다.

(2) GA 도금 강판의 경우 모재의 종류에 관계없이 성형 압력의 증가에 따라 마찰 계수는 초기에 약간 증가한 후 감소하다가 다시 증가하는 경향을 나타내었다.

(3) 한계 이상의 접촉 압력에서는 압력의 증가에 따라 마찰 계수도 증가하며 그 증가량은 무시할 수 없을 만큼 크게 나타났다.

(4) 접촉 압력에 따른 마찰 계수의 변화는 접촉 압력에 의한 표면 거칠기 산의 변형과 오일 포켓의 생성과 진실 접촉 면적의 변화 등으로 설명할 수 있다.

(5) 이상 연구 결과를 종합해볼 때 판재의 마찰 특성을 평가하는 경우 판재가 사용되는 접촉 압력의 범위를 고려하여 평가하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문입니다.

참 고 문 헌

- [1] S. S. Han, K. C. Park, 2009, 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] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] J. M. Lanzona, M. J. Cardew-Hall, P. D. Hodgson, 1998, Characterising frictional behaviour in sheet metal forming, JMPT, Vol. 80-81, pp. 251~256.
- [7] J. W. Shim, Y. T. Keum, 2007, Effects of Blank Holding Force on the Friction Behavior in Sheet Metal Forming, Transactions of Materials Processing, Vol.16, No.5, pp. 381~385.
- [8] 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, pp. 299~304.