

박판성형 마찰특성의 실험적 연구

금영탁* · 이봉현** · 차지혜**

Experimental Study on Frictional Characteristics of Sheet Metal Forming

Y. T. Keum, B. H. Lee, and J. H. Cha

Abstract

In order to find the effect of lubricant viscosity, sheet surface roughness, tool geometry, and forming speed on the frictional characteristics in sheet metal forming, a sheet metal friction tester was designed and manufactured and friction tests of various sheets were performed. Friction test results showed that as the lubricant viscosity becomes lower, the friction coefficient is higher. When surface roughness is extremely low or high, the friction coefficient is high. As punch corner radius and punch speed are bigger, the value of friction coefficient is smaller. The sensitivity of friction coefficient is mainly governed by lubricant viscosity and sheet surface roughness.

Key Words : Friction Coefficient, Frictional Characteristics, Sheet Friction Test, Sheet Metal Forming

1. 서 론

컴퓨터 시뮬레이션으로 금형을 설계해석할 때 성형 중 에 소재와 공구사이에 발생하는 마찰을 잘 정의하는 것은 제품의 품질 및 성형의 성패를 예측하는 매우 중요한 기술들 중의 하나이다. 따라서 소재와 공구사이의 마찰 현상에 대해 명확히 규명하는 것은 제품의 성형성을 보장하고 해석의 정확성을 향상시키기 위해 필수불가결하기 때문에 박판성형중 마찰에 영향을 미치는 인자들에 관한 철저한 분석이 필요하다.

THIsakado⁽¹⁾등은 4종의 금속판을 이용하여 마찰과 소재의 표면조도, 마멸 입자의 거동, 마멸정도와의 관계를 관찰하였다. Parker⁽²⁾는 표면에 열에 민감하게 반응하는 물질을 코팅한 재료를 접촉 운동시키면서 열전대를 이용

하여 표면온도를 측정하는 방법으로 접촉마찰열에 관하여 연구하였다. Bhonsel⁽³⁾등은 BBT(Bending Under Tension)마찰실험장치를 이용하여 시편의 추출각도와 공구 모서리 반경이 마찰에 미치는 영향을 관찰하였다. 이 연구를 통하여 시편의 추출 각도와 펀치 모서리반경이 커질수록 마찰계수도 커진다는 것을 관찰하였다.

본 연구에서는 윤활유 점도, 소재 표면조도, 펀치 속도, 그리고 공구 모서리 반경이 박판 성형 중 소재와 공구사이에서 발생하는 마찰에 미치는 영향을 실험을 통하여 평가하였다.

2. 실험

박판 성형 중 성형 변수가 마찰에 미치는 영향을 평

* 한양대학교 기계공학부
** 한양대학교 일반대학원

가하기 위하여 먼저 실험에서 사용한 박판시편의 표면조도 측정실험을 수행하였다. 그리고 마찰 실험 장치를 설계 및 제작하고 8종류의 도금/무도금 박판, 11종류의 드로우잉용 윤활유, 7종류의 인출속도, 그리고 7종류의 서로 다른 곡률을 갖는 롤러를 사용하여 마찰 측정실험을 실시하였다.

2.1 표면조도 측정실험

표면조도와 마찰계수의 상관관계 분석을 위하여 마찰 실험에서 사용될 모든 강판에 대하여 표면조도를 측정하였다. 시편은 폭 40mm에 길이 300mm의 크기로 전단되었으며, 저독성 솔벤트로 세척되었고, 완전히 건조된 후에 조도 측정실험에 사용되었다. 측정은 탁상용 조도 측정장비인 Taylor Hobson사의 Talysurf series II를 사용하여 ISO 규격에 따라 휘거나 굽힘이 없는 측정길이 5.6mm 부분의 시편 표면에 대해서 수행되었다. Table 2-1은 마찰실험에서 사용된 시편들의 표면조도치이다.

Table 2-1 Surface roughness of friction testing specimens

Specimens	Ra(μm)	Rmax(μm)
SPCC	0.3780	3.3679
AL5052	0.1250	3.2154
AL1050	0.1312	2.5196
GADQ	0.7480	9.8518
GACQ	0.5030	8.3631
ALCQ	1.1850	10.9489
Zn-Ni	1.3150	12.0154
Zn-Fe	1.4120	9.8513

2.2 마찰 측정실험

도금 및 무도금 강판의 마찰 특성 규명을 위하여 Fig. 2-1와 같은 마찰 실험장치를 제작하여 재료와 공구사이의 마찰계수를 측정하였다. 마찰 실험장치는 시편에 면압을 가해 주는 부분, 곡률을 만드는 부분, 그리고 시편을 다양한 속도로 당겨 다양한 펀치속도를 묘사하는 부분으로 되어 있다. 실험을 위한 시편은 폭 20mm에 길이 600mm의 크기로 전단하였으며 전단에 의하여 발생한 시편 가장자리의 버는 완전히 제거되었고 휘거나 굽힌 자국이 있는 시편은 사용하지 않았다. 또한 모든 시편은 양면이 동일한 도금 조건을 갖고 있으며 저독성의 솔벤트 세척제로 완전히 세척된 후 사용되었다. 마찰계수 측

정실험은 8종류의 박판, 11종류의 윤활유, 7종류의 인출속도, 그리고 7종류의 곡률에 대하여 가능한 모든 경우의 실험을 수행하였다.

마찰계수의 측정은 다이에 600N의 하중을 가한 상태에서 실시하였으며, 동마찰 구간인 출발점에서 20mm~30mm지점에서부터 측정하였고, 측정 데이터를 식(2.1)에 대입하여 마찰계수를 구하였다.

$$\mu_{kave} = \sum_{n=1}^K \frac{\frac{1}{\beta} \ln \frac{P_1 - (P_b + P_e)}{P_2}}{K} \quad (2.1)$$

여기서, μ_{kave} 는 평균 동마찰계수이고 P_1 은 전방 인장력, P_2 는 후방 인장력, P_b 는 굽힘력, P_e 는 베어링에서 발생하는 오차를 각각 나타내며, K는 측정된 전체 인출력의 수를 나타낸다.

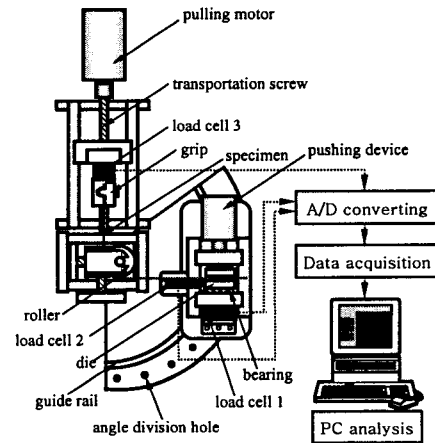


Fig. 2-1 Schematic of sheet metal friction tester

3. 실험결과 및 고찰

3.1 윤활유점도와 마찰계수와의 관계

Fig. 2-2는 윤활유 점도변화에 따른 마찰계수의 변화를 나타낸 한 예이다. 전체적으로 윤활유의 점도가 증가할수록 마찰계수가 감소하는 경향을 보였다. 이런 현상은, 저점도유가 고점도유보다 쉽게 유체윤활 상태가 파괴되어 마찰계수가 높게나오고, 고점도유가 저점도유에 비해 오랜 동안 마찰표면에 머물면서 윤활 작용을 하기 때문에 마찰계수가 낮게 나오는 것으로 설명된다.

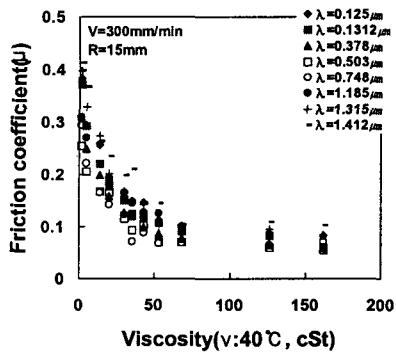


Fig. 2-2 Friction coefficients associated with lubricant viscosity in various sheet roughness

3.2 표면조도와 마찰계수와의 관계

표면조도와 마찰계수와의 상관관계는 Fig. 2-3와 같이 전체적으로 U자 형상을 갖는 것을 알 수 있다. 표면조도가 지나치게 낮아질 경우 윤활유를 보관할 수 있는 오일 포켓의 체적이 줄어들어 윤활효과가 떨어지는 반면 표면조도가 지나치게 높아지면 보다 많은 소성변형으로 인해 마찰저항이 증가하게 되며 동일한 양의 윤활유 도포시 쉽게 유체 윤활 상태가 파괴되기 때문이다.

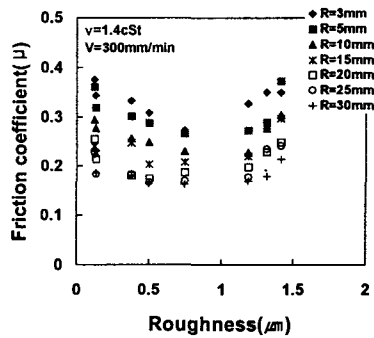


Fig. 2-3 Friction coefficients associated with sheet surface roughness in various punch corner radii

3.3 공구 모서리 반경과 마찰계수와의 관계

공구의 모서리반경과 마찰계수와의 상관관계는 Fig. 2-4와 같이 서로 반비례함을 알 수 있다. 이러한 관계는 원통컵 성형(Fig. 2-5참조)의 힘평형 식으로부터 유도할 수 있다. 여기서 P_b 를 펀치력, 나타내고 P_f 를 굽힘력, 그리고 σ_w 를 시편 벽부분의 응력이라고 하면,

$$P_1 = \pi D t \sigma_w$$

$$= \frac{P_f}{\cos \beta} \quad (2.2)$$

이고, 마찰계수 μ 는 벨트-폴리식으로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\mu = \frac{1}{\beta} \ln \frac{\frac{P_f}{\cos \beta} - P_b}{P_2} \quad (2.3)$$

따라서 식(2.3)으로부터 마찰계수와 펀치력은 비례관계가 있음을 알 수 있고, 펀치력은 펀치 모서리 반경과 반비례의 관계가 있기 때문에⁽⁴⁾ 마찰계수와 펀치 모서리반경 사이에는 반비례관계가 있다.

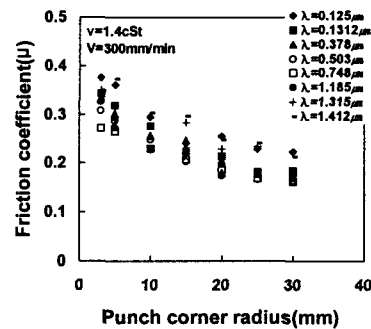


Fig. 2-4 Friction coefficients associated with punch corner radii in various sheet surface roughness

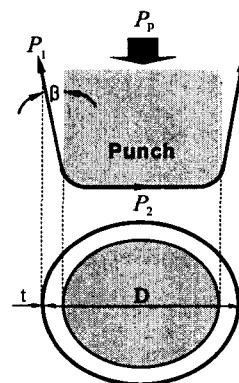


Fig. 2-5 Free body diagram of cylinder cup draw

3.4 펀치 속도와 마찰계수와의 관계

펀치속도가 빠르면 빠를수록 박판의 성형속도 즉 금형

과의 상대속도가 빨라진다. 따라서 박판의 인출속도는 펀치속도와 비례적인 관계가 있기 때문에 본 연구에서는 박판의 인출속도를 펀치속도와 동일하게 취급하였다. 본 실험에 의하면 펀치 속도와 마찰계수는 일반적으로 Fig. 2-6처럼 펀치속도가 증가하면 마찰계수가 감소하는 반비례관계가 있다. 이는 건조마찰과 윤활마찰 상태에서 각각 다음과 같이 설명된다. 건조상태에서 공구와 재료가 반대방향으로 접촉 상대운동을 할 때 상대운동속도가 낮은 경우 두 물체의 접촉마찰열이 적게 발생하게 되고,⁽⁵⁾ 계면의 취성이 강해 상대적으로 높은 전단력으로 인해 큰 마찰력이 발생하게 된다. 반면 상대적으로 속도가 높은 경우 높아진 접촉마찰열로 인해 계면의 온도가 상승하게 되고 취성보다는 연성이 강해지게 된다. 따라서 계면에서는 속도가 느릴 때 보다 상대적으로 낮은 전단력이 발생하게 되므로 마찰력이 작게 발생하게 된다. 한편, 윤활상태에서는 상대운동속도가 느린 경우, 계면의 골에 형성된 오일포켓이 파괴됨에 따라 윤활유가 손실될 수 있는 시간적 여유가 상대적으로 많아지게 된다. 따라서 공정이 진행되는 동안 초기에 도포된 윤활유 중 비교적 많은 양이 손실되게 되고 경계윤활이 증가하게 되어 마찰력이 크게 발생하게 된다. 반면 상대운동속도가 빠른 경우 동일한 현상에 대하여 윤활유가 손실될 수 있는 시간적 여유가 작아지게 되므로 공정중에 윤활유의 손실이 적어지게 되고 마찰력이 작아지는 것이다.

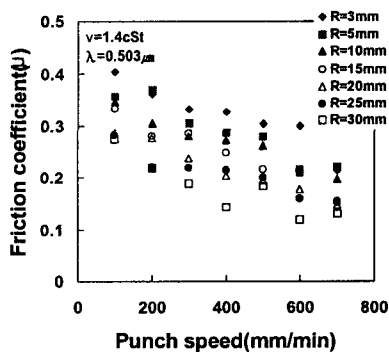


Fig. 2-6 Friction coefficients vs punch speeds in various punch corner radii

4. 결 론

본 연구에서는 박판성형 중 윤활유 종류에 따른 점도 변화, 소재의 표면처리에 따른 조도 변화, 공구 형상에 따른 모서리 반경 변화 그리고 공정속도에 따른 펀치 속도 변화가 마찰계수에 미치는 영향을 평가하기 위한 실험을 하였다. 이 연구로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 마찰계수는 윤활유의 점도가 증가할수록 감소하고 표면조도와는 U자형상의 상관관계를 갖는다.
- (2) 공구 모서리 반경이 증가하고 펀치 속도가 증가할수록 마찰계수는 감소한다.
- (3) 윤활유 점도 증가에 따른 마찰계수의 감소는 공구 모서리 반경과 펀치 속도 증가에 따른 마찰계수의 감소보다 크다.

후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구 센터 지원금에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

- (1) Terumasa Hisakado, Kentarou Miyazaki, Akiyoshi Kameta, and Satoru Negishi, 2000, "Effects of surface roughness of roll metal pins on their friction and wear characteristics", *Wear*239, pp. 69~76.
- (2) R.C. Parker, and P.R. Marshall, 1948, "The measurement of the temperature of sliding surfaces, with particular reference to railway brake blocks", *Proc. Inst. Mech. Engrs* 158, pp.209~229.
- (3) S.R. Bhonle, and K.J. Weinmann, 1990, "The Significance of the Workpiece Sample in the Strip-Tension Friction Test", *Transactions of NAMRI/SME*, pp.46~51.
- (4) M.M. Moshksar, A. Zamanian, 1997, "Optimization of the tool geometry in deep drawing of aluminium", *Journal of Materials Processing Technology* 72, pp.363~370.
- (5) R. Komanduri and Z.B. Hou, 2001, "Analysis of heat partition and temperature distribution in sliding system" *Wear*251, pp.925~938.