

〈論 文〉

드로오 비드의 마찰구속에 관한 실험적 연구

김영석* · 장래웅* · 최원집*

(1991년 10월 4일 접수)

Experimental Study on the Frictional Constraint of Draw Bead

Y.S.Kim, R.W.Chang, and W.J.Choi

Key Words : Friction characteristic(마찰특성), Coefficient of friction(마찰계수), Data base(데이터 베이스), Computer aided design(컴퓨터 원용설계), Draw bead restraint force(드로오 비드 저항력), Stamping die(스탬핑다이)

Abstract

In developing computer-aided design technology for optimization of stamping die design, it has been an important issue to treat the frictional constraint acting on the blank holder surface. The main goal of this work is to establish database of draw bead restraint force and clarify friction characteristic for various automotive sheet steels, which is essential in developing friction algorithm that can be used for CAD of stamping die design. Draw bead friction tester is used to evaluate the various parameters that affect the draw bead restraint force and the coefficient of friction for the cold rolled and the coated sheet steels such as drawing rate, lubricant type, surface property of material, etc.

1. 서론

최근에는 대형 계산기의 발달에 따라 자동차 몸체설계 분야에 있어서도 컴퓨터를 이용한 금형설계의 최적화가 시도되고 있다. 그러나 아직까지 복잡한 3차원 형상을 갖는 판넬의 성형공정에 대한 현실적인 컴퓨터 모사해석은 어려운 단계이어서 주로 3차원 형상을 2차원 단면으로 취급하여 각 단면에 있어서의 변형해석이 널리 행해지고 있는 실정이다^(1~4). 이런 단면해석을 통하여 재료변수 및 가공변수에 대한 스탬핑 공정의 성형 난이도를 평가하여 금형설계에 참고 자료로 이용하고 있다. 그러나 스탬핑 공정은 피 가공재인 강판의 체적과 비교하여 강판과 금형의 접촉면적이 큰 편이어서 금형과 강

판의 접촉부위에서 마찰의 크기가 강판의 성형상에 미치는 영향이 매우 크다. 특히 표면처리강판의 경우는 스탬핑 공정에서 발생하는 파단불량의 대부분이 마찰특성에 기인한다고 알려져 있다^(5~6).

통상 스탬핑 공정에서 블랭크 바인더 면에는 Fig. 1에서와 같이, 하형 금형에 원형단면 혹은 사각단면 형상의 드로오 비드가 설정되어 있고 이 드로오 비드는 강판이 다이 내부로 유입되면서 상형의 금형 형상대로 성형되기 위해 재료의 유입방향과 반대방향으로 적당한 장력을 추가하는 역할을 한다⁽⁵⁾. 그러나 이 저항력이 과다하게 크면 패넬의 벽 부위에 파단이 야기되고 또한 너무 작으면 강판의 유입이 과다해져 성형판넬의 플렌지 또는 벽 부위에 주름발생 등의 불량이 발생한다. 이런 드로오 비드 부에서의 유입 저항력 및 유입량의 크기는 비드의 단면형상, 블랭크 구속력, 강판의 기계적 성질 그리고 강판과 드로오 비드를 포함한 블랭크 바

*정회원, 산업과학기술연구소 용접연구센터

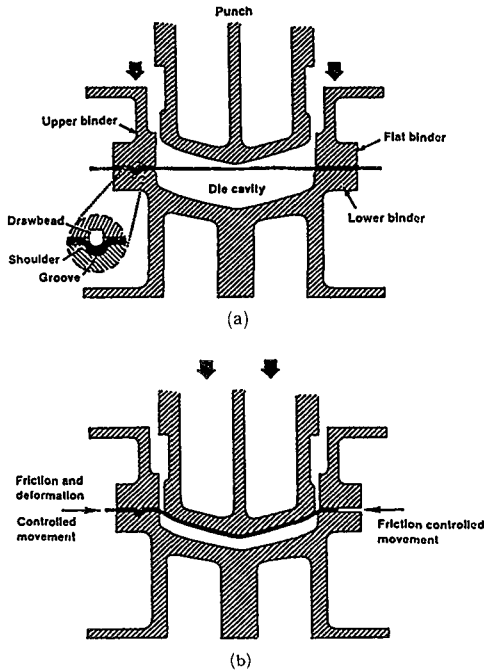


Fig. 1 Showing stamping process in double action press having draw bead between upper and lower binder (a) the upper binder descends and confines the blank periphery between upper and lower binder (b) the upper die closes and performs actual drawing process

인더 면의 마찰특성 등에 의존한다⁽⁷⁾. 이 드로오 비드 저항력의 크기가 스탬핑 성형성을 결정하는데 중요한 역할을 하고, 또한 컴퓨터를 이용한 스탬핑 공정에 대한 2차원 단면해석을 포함한 유한요소 모사해석에 있어도 블랭크 바인더 면에서의 이 유입 저항력에 대한 정확한 처리가 없이는 해석결과에 대한 신뢰도가 결여된다고 볼 수 있다. 따라서 스탬핑 금형설계를 위한 컴퓨터 원용 설계기술의 개발에 있어 필수 불가결한 요소인 블랭크 바인더 면에서의 마찰구속에 대한 처리를 위하여 자동차용 강판의 마찰특성-마찰계수, 유입 저항력 등에 관한 데이터 베이스를 구축하는 것이 필요하다.

Abe⁽⁷⁾, Kojima⁽⁸⁾, Weidemann⁽⁹⁾, Furbubayashi⁽¹⁰⁾ 등은 드로오 비드부의 변형해석과 실험을 통하여 블랭크 구속력, 윤활유 특성, 드로잉 속도, 비드의 단면형상 등이 드로오 비드 저항력 및 재료의 두께 변형률에 미치는 영향을 분석하였다. Nine⁽¹¹⁾은 드로오 비드부를 모사한 마찰실험장치를 설계하여 드로잉 하중을 비드부에서의 굽힘-굽힘풀림 소성 변

형에 의한 변형력 성분과 마찰력 성분으로 분리하여 강판의 쿠름 마찰계수를 구하였다. Levy⁽¹²⁾는 Nine의 실험결과를 활용하고 회기모델과 가상일정리를 이용하여 드로오 비드 저항력에 대한 수식을 정립하였으며, Karima⁽¹³⁾는 드로오 비드 저항력 및 재료의 응력과 변형률을 예측할 수 있는 모델을 개발하였고, 재료변수와 가공변수의 상호작용에 대하여 논했다. 한편 Triatafyllidis⁽⁴⁻⁵⁾는 평면 변형 상태에서 드로오 비드 실험과 탄소성 유한요소 해석을 통하여 유입 저항력에 미치는 재료의 기계적 성질, 비드의 형상, 마찰계수의 영향을 분석하였다.

본 연구에서는 이러한 배경하에서 고속, 연속작업으로 이루어지고 있는 스탬핑 공정에서 금형과 강판간의 접촉-슬립에 따른 마찰 및 윤활특성의 성능을 평가할 수 있도록 한 원형단면 형상의 드로오 비드 마찰실험장치를 활용하여 가압력, 윤활유 특성, 드로잉 속도와 강판의 표면특성 등에 따른 자동차용 냉연강판과 도금강판의 마찰계수와 드로오 비드 저항력에 대한 데이터 베이스를 구축하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 인장실험

본 연구에는 드로오 비드 부에서의 강판의 표면 특성 및 가공조건-윤활유 특성, 인발속도, 가압력 등에 따른 마찰계수와 드로오 비드 저항력에 대한 데이터의 구축을 위해 냉연강판(CR), Zn-Ni 도금강판 2종(EZN1, EZN2) 그리고 Zn-Fe 도금강판(EZF)를 대상 시편으로 하였다. 여기서 EZN1과 EZN2는 각각 도금층 중에 Ni 함량이 11.6%와 9.3%로 도금층 중의 Ni 함량의 차이에 따라 표면 특성과 마찰계수가 크게 상이한 특징을 갖는다⁽¹⁶⁾. 한편 도금강판의 경우에 도금전 모재인 냉연강판은 심 가공성을 갖는 딥 드로잉 재질(Dep Drawing Quality, DDQ)이다. 상기 강판들에 대하여 기계적 성질을 파악하기 위하여 코일의 압연방향에 대해 0°, 45°, 90°의 각 방향으로 인장시편을 제작하여 20톤 인장 시험기에서 10mm/min의 변형속도로 인장실험을 실시하였다. Table 1에 강판 별 기계적 성질을 나타내었다. 여기서 모든 값은 각 방향의 값을 평균한 값이다.

Table 1 Mechanical properties of tested materials

Material	Thickness (mm)	YP (kgf/mm ²)	TS (kgf/mm ²)	E1 (%)	n (10~20%)	R (15%)	A.C. (wt.%)
CR	0.70	19.0	31.9	42.7	0.203	2.30	—
EZN1	0.78	18.7	33.0	40.5	0.229	2.06	Ni : 11.6
EZN2	0.74	17.9	31.2	41.8	0.33	2.29	Ni : 9.3
EZF	0.73	20.0	32.0	39.4	0.216	2.27	Fe : 15.6

*YP : Yield point, TS : Tensile strength, E1 : Total elongation, A.C.: Alloy content

n : Work hardening parameter, R : Lankford anisotropy parameter

CR : Cold rolled steel sheet

EZN : Electro Zn-Ni alloy coated steel sheet

EZF : Electro Zn-Fe alloy coated steel sheet

2.2 드로오 비드 마찰실험

본 연구에서는 Nine에 의하여 고안된 원형단면을 갖는 드로오 비드 마찰실험 장치(Fig. 2)를 활용하여 냉연강판과 도금강판의 마찰계수와 드로오 비드 저항력에 미치는 재료의 표면특성 및 가공변수의 영향을 파악하였다.

마찰실험은 먼저 마찰시편을 코일의 압연방향으로 폭 45mm×길이400mm 크기로 전단하여 가장자리의 버어를 완전히 제거하고 평가하려는 윤활유를 적당히 도포한 후 한쪽 끝을 20톤 인장시험기의 인

장 척에 체결한다. 이후 Fig. 2의 좌측 비드를 우측의 양 비드 사이에 일정한 깊이 까지 삽입하여 시편을 가압하고 200mm/min 속도로 드로잉하여 드로잉 변위-하중 곡선을 기록한다. 드로잉 하중 및 비드의 가압력은 시편의 드로잉 거리가 60mm에 달하였을때 로드 셀에 의해 측정하였고 실험의 편차를 줄이기 위해 2회 반복 실시하여 평균값을 취하였다.

마찰계수 μ 는 고정 비드와 롤러 비드를 사용하여 각각 드로잉 실험을 수행한 후 각각의 드로잉 하중과 가압력에 의하여 다음과 같이 쿨롬 마찰법칙을 가정하여 구하였다⁽¹¹⁾.

$$\mu = \text{마찰하중/가압력} = (T_{f+d} - T_i) / \pi N_{f+d}$$

여기서 T_{f+d} 는 Fig. 2에서와 같이 고정 비드를 사용할 때의 드로잉 하중으로 이 경우는 강판이 드로오 비드를 통과할 때의 굽힘-굽힘풀림 변형에 대한 소성변형 하중(plastic deformation load)과 마찰하중(friction load)의 합으로 나타내어진다. 또한 T_d 는 롤러 비드를 사용할 때의 드로잉 하중으로 이 경우는 마찰을 무시할 수 있으므로 드로잉 하중은 소성변형만의 하중으로 나타난다. 따라서 드로오 비드부에서 마찰하중은 $T_{f+d} - T_d$ 로 주어진다. 한편 N_{f+d} 는 고정 비드를 사용할 때의 가압력이다. 첨자 f 와 d 는 각각 드로잉 하중에 대한 마찰력 성분과 변형력 성분의 기여를 나타낸다. Table 2에 드로오 비드 마찰 실험 조건을 나타내었다. 비드는 반경이 4.76mm이다. 이 비드 반경은 통상 스탬핑 공정에서 사용되고 있는 드로오 비드에 대한 대표적인 값으로 볼 수 있다. 비드의 재질은

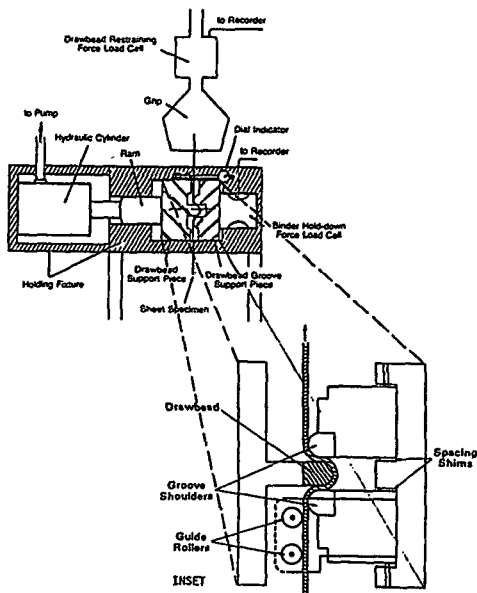


Fig. 2 Schematic view of draw bead tester and detail configuration of fixed bead

Table 2 Experimental conditions-draw Bead friction test

Specimen size	W45mm×L400m
Bead and roller radius	4.76mm
Male bead interleaf distance	9.53mm
Drawing rate	200, 400, 500mm/min
Bead material	SKD11 (610Hv)
Lubricant oil	Table 3

Table 3 Properties of lubricants used in this test

Lubricant oil No.	Type	Viscosity (40°, cSt)
1	Washing & rust-preventive	2.2
2	Rust-preventive (Pre-lub.)	15.0
3	Rust-preventive (Pre-lub.)	22.0
4	Drawing oil	67.0
5	Lub. oil 1+ 3%P type E.P.A.	2.2

°E.P.A : Extreme Pressure Additive

Vickers 경도계로 가압하중 100g 하에서 경도가 Hv100_g=610 정도인 SKD11 공구강을 이용하였다. 강판의 인발방향으로 측정된 비드면의 표면거칠기는 Ra=0.11 μ m 정도이다.

한편 윤활유 종류에 따른 마찰특성을 평가하기 위하여 Table 3에 나타낸 것과 같이 현재 자동차용 패널의 스패핑 공정에서 사용하고 있는 5종류의 용제 회석형 저점도 와 중, 고점도의 윤활유를 사용하였다. 여기서 윤활유 5는 윤활유 1에 3%의 P 계 극압첨가제(Extreme Pressure Additive)를 혼합하여 제조한 것으로, 극압첨가제는 금형과 강판의 접촉 경계면에서 연한 산화피막을 만들어 금형과 강판의 직접접촉을 억제하므로써 강판의 윤활성을 향상시키는 역할을 한다.

3. 실험결과 및 고찰

드로오 비드 마찰실험에 의해 Table 1에 나타낸

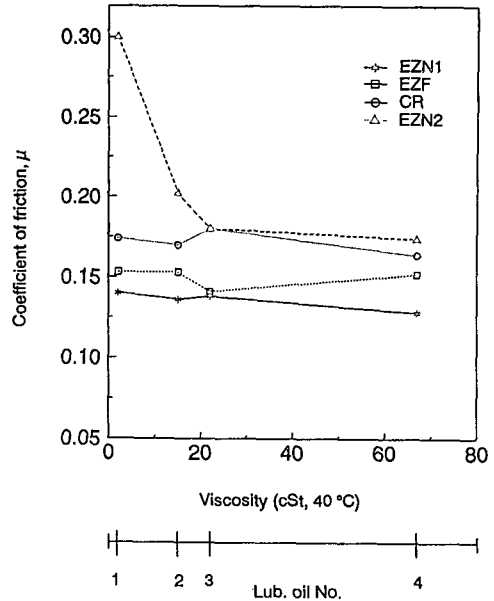


Fig. 3 Effect of viscosity on coefficient of friction for various coated steels

시편들의 마찰계수와 유입 저항력(드로잉 하중)을 도출하였다. Fig. 3은 윤활유의 점도에 따른 강판별 마찰계수의 변화를 나타낸다. CR과 EZF 그리고 도금층 중의 Ni 함량이 11.6%인 EZN1 도금강판의 경우는 윤활유의 점도가 증가할수록 약간의 마찰계수의 변화는 있으나 거의 일정한 값을 가짐을 알 수 있다. 그러나 도금층 중의 Ni 함량이 9.3%로 낮아 도금층 중에 연질인 η 상(Zn)과 δ 상(Ni_3Zn_{22})의 존재가 많은 EZN2는 윤활유의 점도가 낮은 경우에 상당히 높은 마찰계수를 갖고 점도가 약 20cSt 이하의 저 점도범위에서 점도증가에 따라 급격하게 마찰 계수가 감소하는 현상을 보인다. 그러나 점도가 약 20cSt 이상에서는 마찰계수의 감소 폭은 매우 적어 거의 일정한 값에 수렴하고 있다고 볼 수 있다. 이는 순 Zn 도금강판(EG)의 경우와 같이⁽¹⁷⁾ 연질인 도금층의 존재는 윤활조건이 나쁘면 다이와 접촉-슬립시에 다이에 쉽게 고착(sticking)하여 마찰특성을 나쁘게 하지만 윤활조건이 좋으면, 오히려 연질인 도금층이 윤활제 역할을 하는 것으로 생각된다. 한편 낮은 점도를 갖는 용제 회석형 윤활유 1에 P계의 극압첨가제를 혼합한 윤활유5의 경우는 고점도 윤활유 4와 거의 동등 또는 그 이상으로 마찰특성이 향상되고 있음을 보였다.

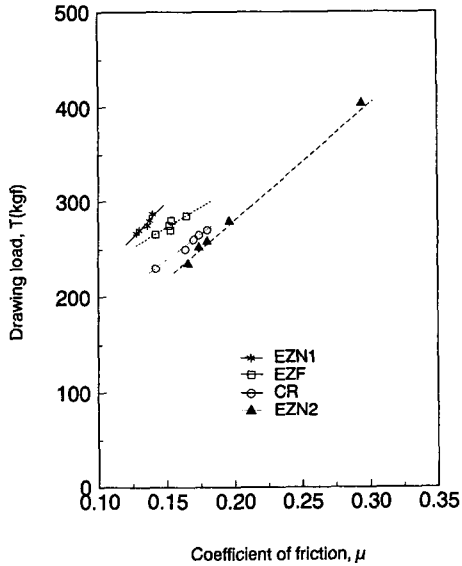


Fig. 4 Coefficient of friction vs. drawing load for various coated steels

Fig. 4에 각 강판별로 마찰계수에 따른 드로잉 하중을 나타내었다. 모든 경우에 마찰계수의 증가에 따라 드로잉 하중이 거의 직선적으로 증가함을 알 수 있다. EZN1과 EZF의 경우에 낮은 마찰계수를 가짐에도 불구하고 CR과 EZN2와 비교하여 높은 드로잉 하중을 나타내는 것은 높은 항복응력과 재료두께의 차이에 기인한 것이다. 그림에서 각 강판별로 제일 좌측에 존재하는 낮은 마찰계수와 드로잉 하중을 갖는 데이터 점은 윤활유 5의 경우에 대한 값이다. 극압 첨가제에 의한 윤활유의 성능개선은 도금층의 경도가 낮아 도금층이 다이에 쉽게 고착되어 마찰저항이 큰 EZN2 도금강판에 있어서 매우 효과적임을 알 수 있다.

Fig. 5와 Fig. 6은 각각 윤활유 1과 윤활유 2에 대한 드로잉 속도에 따른 강판별 마찰계수를 나타낸다⁽¹⁹⁾. 윤활유 1의 경우는 전반적으로 드로잉 속도 증가에 따라 마찰계수가 감소하고 있고 특히 EZN2의 경우에 저속 드로잉에서는 높은 마찰계수를 가지나 고속 드로잉의 경우에 급격히 감소하여 냉연강판 보다 낮은 마찰계수를 갖고 EZN1, EZF와 거의 동일 수준임을 알 수 있다. Ni 함량이 낮은 EZN2의 마찰계수의 속도 의존성은 EG의 경우⁽¹⁷⁾와 유사하게 설명할 수 있다. 즉 Ni 함량이 9.3%로 낮은 EZN2의 경우는 도금층의 경도가 낮고 표면거칠기가 거칠어⁽¹⁸⁾, 저속 드로잉 실험에서

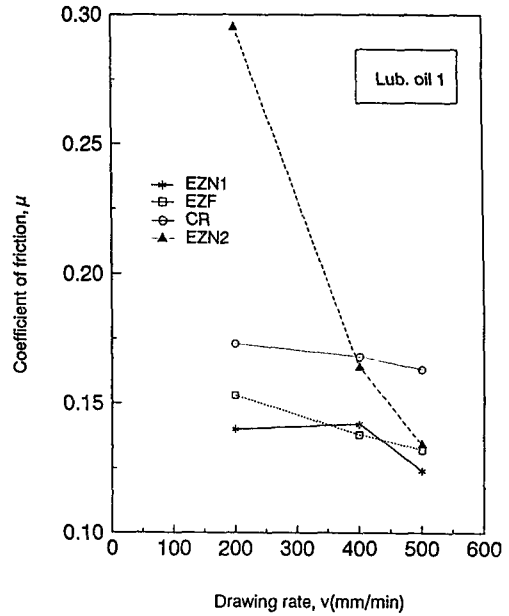


Fig. 5 Effect of drawing rate on coefficient of friction for various coated steels at lub. oil 1

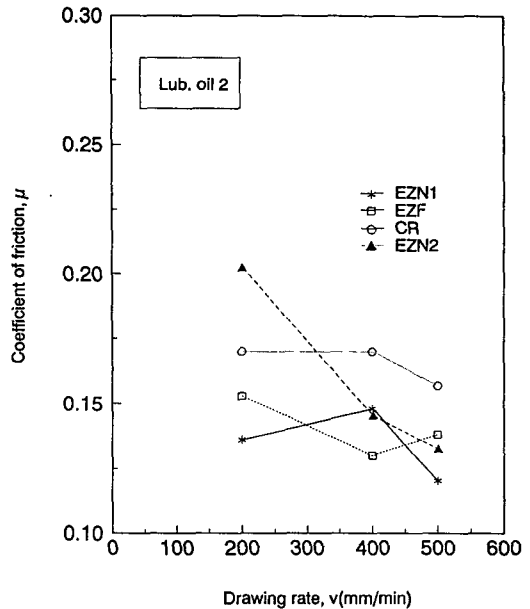


Fig. 6 Effect of drawing rate on coefficient of friction for various coated steels at lub. oil 2

다이의 가압에 의해 도금표면의 돌기에 해당하는 산 부분이 소성붕괴되면서 그 부위에 존재하고 있던 윤활유가 밀려나가 도금표면과 다이와 직접접촉하는 면적이 많아지는 경계윤활(boundary fric-

tion) 상태가 되는 반면 드로잉 속도가 증가할수록 도금표면에 존재하고 있던 윤활유가 미쳐 빠져나가지 못해 도금표면이 윤활유를 매개로 다이와 접촉하는 면적이 증가하고 상대적으로 도금표면과 다이의 직접접촉은 적어지기 때문이라고 생각된다. 한편 윤활유 2의 경우에는 윤활유 1에서와 같이 EZN2의 마찰 계수의 급격한 감소는 보이지 않았

으나 전반적으로 드로잉 속도에 따라 마찰계수가 감소하였다.

Fig. 7과 Fig. 8은 각각 윤활유 1과 윤활유 2에 대한 드로잉 하중의 드로잉 속도 의존성을 나타낸다. 마찰특성의 속도의존성이 큰 EZN2의 경우를 제외하고는 전체적으로 드로잉 속도에 따라 드로잉 하중이 약간씩 감소하고 있음을 보이나 큰 변화는 없다고 볼 수 있다. 이것은 일반적으로 드로잉 속도가 증가하면 재료의 유동응력에 대한 변형률 속도 의존특성($\sigma = K\epsilon^n \dot{\epsilon}^m$, 여기서 σ 는 유동응력, K 는 재료상수, ϵ 는 유효변형률, $\dot{\epsilon}$ 는 유효변형률 속도, n 은 가공경화지수, m 은 변형률속도 민감지수이다)에 의하여 변형하중이 증가하나 한편 Fig. 5와 Fig. 6에서와 같이 마찰계수의 저하에 따라 마찰하중이 감소하므로 이 두 성분이 서로 상쇄되어 전체적인 드로잉 하중에는 큰 변화가 없는 것으로 생각된다. 그러나 EZN2의 경우는 드로잉 속도 증가에 따른 변형하중의 증가보다도 마찰하중의 감소가 매우 크기 때문에 드로잉 하중의 급격한 감소가 관찰되었다. 이들 결과로부터 실제 스탬핑 공정에서 단동식 프레스에 의한 패널 성형시에 드로오 비드 부에서의 재료의 유입속도는 약 2500mm/min 정도의 고속이지만 냉연 광판 정도의 마찰특성을 갖는 강판은 드로잉 속도에 무관하게 거의 동일한 드로잉 하중을 갖는다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 높은 마찰계수를 갖는 EZN2 도금강판을 제외하고 200mm/min 정도의 드로잉 속도로 실험

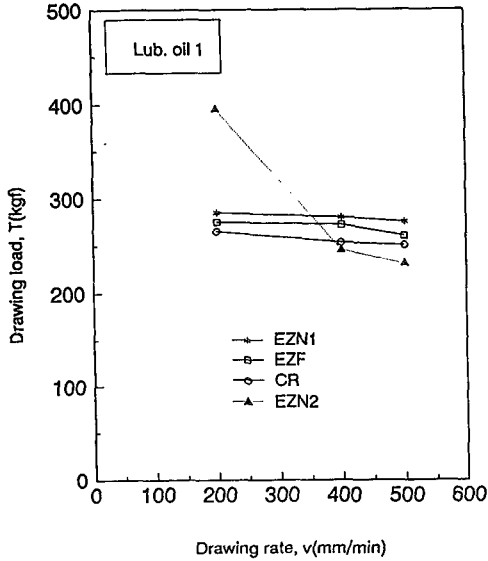


Fig. 7 Effect of drawing rate on drawing load for various coated steels at lub. oil 1

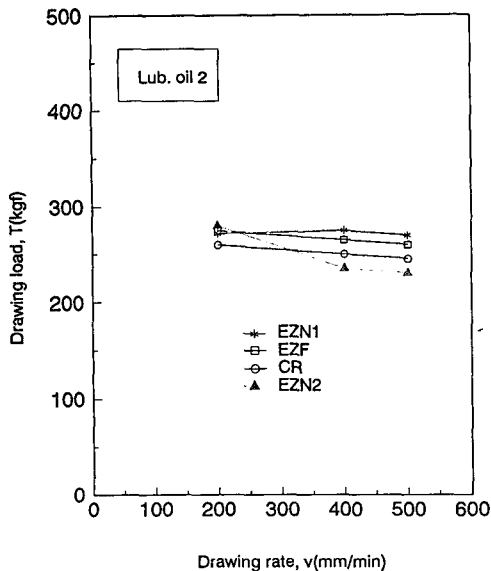


Fig. 8 Effect of drawing rate on drawing load for various coated steels at lub. oil 2

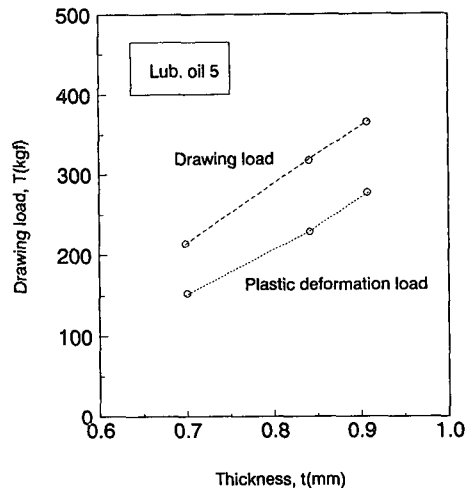


Fig. 9 Effect of thickness on drawing load at lub. oil 5

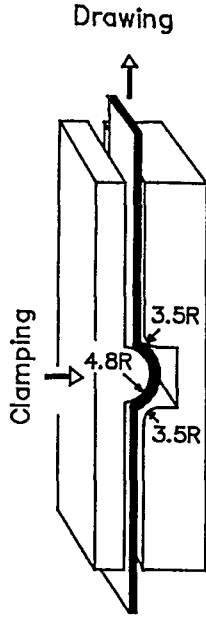


Fig. 10 Schematic view of strip draw tester with bead

하여 얻은 드로잉 하중을 스탬핑 공정의 유한요소 해석시에 블랭크 바인더 면에서의 마찰구속에 대한 경계조건으로 이용할 수 있다는 것을 의미한다.

동일한 마찰계수를 갖는 CR에 대해 재료 두께에 따른 고정 비드에 대한 드로잉 하중과 롤러 비드에 대한 소성변형하중을 Fig. 9에 나타내었다. 여기서는 재료두께만의 영향을 고려하기 위하여 윤활성이 가장 좋은 윤활유 5를 도포하여 마찰차이에 의한 영향을 배제하도록 하였다. 재료의 두께에 따른 드로잉 하중 및 소성변형하중은 거의 직선적으로 증가하는 것을 알 수 있다.

한편 스탬핑 공정에서 블랭크 바인더 면에 드로오 비드를 설정하여 재료의 유동에 구속력을 추가하는 방법으로는 기계식 프레스에서와 같이 상, 하 바인더 간격을 일정하게 하는 방법과 유압식 프레스에서와 같이 블랭크 바인더력을 일정하게 하는 방법이 있다. 본 연구에서 강판의 마찰특성의 규명 및 드로오 비드 구속력을 측정하기 위해 활용한 드로오 비드 마찰실험장치는 Fig. 2에서와 같은 드로오 비드의 기하학적인 형상으로 부터 실제 스탬핑 금형의 블랭크 바인더 면에서와 같이 상, 하형 금형의 평평한 바인더 면이 접하는 경우는 발생하지 않으므로 드로잉 하중에 대한 블랭크 바인더 면에서 가압력의 영향을 파악할 수 없다. 블랭크 바인

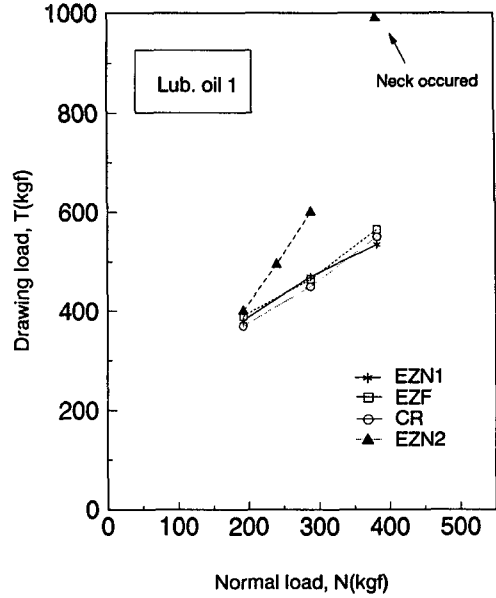


Fig. 11 Effect of normal load on drawing load for various coated steels at lub. oil 1

더 면에서 가압력의 영향을 파악하기 위해 드로오 비드 다이를 Fig. 10과 같이 가공하여 200/min의 인발속도로 드로잉 실험을 실시하였다. Fig. 11은 윤활유 1에 대해 가압력에 따른 강판별 드로잉 하중을 나타낸다. EZN2를 제외하고는 블랭크 호울더 력이 증가함에 따라 드로잉 하중이 거의 직선적으로 증가함을 보인다. 그러나 ENZ2의 경우는 가압력이 낮은 경우에는 다른 강판과 거의 유사한 드로잉 하중값을 갖으나 가압력이 증가할수록 연질인 도금층이 드로오 비드에 쉽게 고착하여 강판의 슬립이 적어지고 하중이 급격하게 증가함을 알 수 있다. 가압력이 400kgf인 경우에는 과도한 마찰작용으로 시편에 넥이 발생하였다.

4. 결 론

스탬핑 금형설계를 위한 컴퓨터 원용 설계기술의 개발에 있어서 드로오 비드를 포함하고 있는 블랭크 바인더 마찰처리는 매우 중요하다. 본 연구에서는 원형단면 형상을 갖는 드로오 비드부를 묘사한 마찰실험장치를 활용하여 자동차용 냉연강판과 도금강판의 마찰특성-마찰계수와 드로잉 하중에 관한 각종 데이터 베이스를 구축하였다. 본 실험에서 냉연강판의 경우는 스탬핑 공정에서 사용하고 있는

윤활유에 대하여 약 0.18 정도의 쿨룸마찰계수를 나타내었다. 한편 내식성이 우수한 도금강판의 경우는 도금층의 표면특성에 따라 마찰계수가 0.14에서 0.30까지 변화가 심한 특징을 보였다. 마찰특성의 윤활유에 대한 의존성은 냉연강판의 경우보다 도금강판의 경우가 크고, 도금층이 연질인 EZN2의 경우를 제외하고 드로잉 하중에 대한 드로잉 속도의 영향은 크지 않았다. 한편 드로잉 하중은 재료의 두께, 다이와 재료간의 마찰계수 및 블랭크 바인더 면에서의 가압력에 따라 직선적으로 증가하는 특징을 보였다.

본 연구 결과는 금형의 트라이 아웃(try-out) 공정에서 다이 내부로의 강판의 유입을 제어하기 위한 드로오 비드의 설계 또는 유한요소 해석에 의한 금형 설계 기술 개발단계에 있어서 블랭크 바인더 면에 대한 마찰 경계조건으로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

후 기

본 연구의 일부는 과학기술처에서 시행한 '91년도 특정연구사업의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 실험과 결과정리를 도와준 김기수, 김정철씨께 감사드립니다.

참고문헌

(1) Keum Y.T. and Wagoner R.H., 1991, Design of Automotive Panel by Sectional Forming Analysis, J.KSAE, Vol.12-6, p. 48.
 (2) Sugiura, H. and Oamoto I. et al., 1988, Computer Aided Design and Evaluation System for Stamping Dies in Toyota, SAE Technical Paper No. 880527.
 (3) Chun. K.C., Ryu, D.J. and Lee, J.W., 1989, Plane Strain Analysis of the Stamping process of auto Body Panel, Proc. of KSME, (Autumn), p. 275.
 (4) Sklad M.P. and Siekirk J.F., 1990, Aspects of Process Variables in Sheet Forming Simulation, Proc. 16th Biennial Congr. IDDRG, p. 295.
 (5) Kim, Y.S. 1991, Study on Frictional Characteristics of Zinc Coated Steel Sheets, Report of RIST Project, No-0088A.

(6) Kato, T., Imanaka, M. and Kato C. et al., 1990, Effect of Zn-Ni Plating on Mechanical Properties and Press Formability of Sheet Steels, Proc. 16th Biennial Congr. IDDRG, p. 347.
 (7) Abe, K., 1963, Bending of Sheet Metal Under Tension, Report of RIKEN, p. 113.
 (8) Kojima, M., Sudo, C. and Hayashi, Y., 1976, Effectiveness of Flange Holding on the Die Surface with Draw Beads, 9th Biennial Congr. IDDRG, p. 207.
 (9) Weidemann, C., 1978, The Blankholding Action of Draw Beads, Sheet Metal Industries, Sep. p. 984.
 (10) Furubayashi, T., Misaka H., Ujihara S. and Sakamoto, T., 1986, The Simulation of Forming Severity on Authobody Panels Using a CAD System-Behavior of Materials After Passing the Drawbead, 14th Biennial Congr. IDDRG, p. 363.
 (11) Nine, H.D., 1978, Drawbead Forces in Sheet Metal Forming, in Mechanics of Sheet Metal Forming, ed., N.M. Wang, Plenum. New York, p. 179.
 (12) Levy, B.S., 1985, Modeling Binder Restraint Using Parametric Models Based on Mechanistic Consideration, in Computer Modeling of Sheet Metal Forming Process. ed., N.M. Wang and S.C. Tang, p. 177.
 (13) Karima M. and Tse, W., 1989, Formability and Uniformity Aspects in Drawbead Controlled Geometries, J. Mat. Shaping Technology, Vol. 6, No.3, p. 181.
 (14) Triantafyllidis, N., Maker, B. and Samanta, S.K., 1986, An Analysis of Drawbeads Insheet Metal Forming : Part I-Problem Formulation, J. Eng. Material and Technology, Vol. 108, p. 321.
 (15) Mayer, B., Samanta, S.K., Grab, G. and Triantafyllidis, N., 1987, An Analysis of Drawbeads in Sheet Metal Forming : Part II -Experimental Verification, J. Eng. Material and Technology, Vol. 109, p. 164.
 (16) Kim, Y.S., Cho, J.E. and Park, K.C., 1991, Frictional Characteristics of Zn-Ni Alloy Electroplated Steel Sheets, J. KSME, Vol. 15-6. p. 1807.

- (17) Kim, Y.S. Nam, J.B. and Choi, W.J. 1990, A Study of Frictional Characteristics of Galvanized Sheet Steels for Automobiles, J. KSME, Vol. 14-6, p. 1474.
- (18) Choi W.J. and Kim, Y.S. Et al., 1991, Experimental Study on Friction Constraint of Automotive Steet, Report of MOS Project in 1991.