

자동차용 냉연 강판의 표면 거칠기에 따른 마찰 특성 분석

한수식[#] · 박기철¹

Effect of Surface Roughness on Frictional Behavior of Sheet Steel for Automotive

S. S. Han, K. C. Park

(Received May 16, 2008)

Abstract

The frictional behavior of stamping process is a function of interface parameters such as sheet and tool material, lubricant, surface roughness, contact pressure, sliding speed etc. Among these parameters the thing that can be controlled by a steel maker is the surface roughness of sheet. In this study, effects of surface roughness on the frictional behavior of steel sheet for automotive were investigated to find out the way to improve the frictional characteristics of steel sheet. The cold rolled steel sheets with various surface roughnesses were prepared for the test. The flat type friction test was conducted with different lubricant conditions. The surface roughness effect on frictional behavior depends on the viscosity of lubricant. The frictional characteristic of steel sheet was influenced by the amplitude of roughness as well as the shape of that.

Key Words : Lubricant, Viscosity, Surface Profile, Friction Test, Cold rolled Steel

1. 서론

판재 성형 공정은 성형 중 일어나는 금형과 판재 사이의 넓은 접촉 면적으로 인하여 공정의 성패가 판재와 금형 간의 마찰 특성에 크게 영향을 받는다. 우수한 판재의 마찰 특성은 판재 성형 시 재료의 유동을 원활하게 하여 국부적인 변형 집중을 방지할 수 있다. 변형 집중이 방지되어 균일한 변형이 이루어지면 보다 낮은 등급의 재료로서도 복잡한 형상의 제품을 충분히 가공할 수 있다.

판재의 마찰 특성에 영향을 미치는 인자들로서는 표면 경도, 표면 거칠기, 표면의 화학 성분 등이 있다. 냉연 강판의 경우 표면 거칠기가 마찰

특성에 미치는 영향은 매우 큰 것으로 알려져 있어 많은 사람들에 의해서 표면 거칠기와 마찰 특성과의 상관 관계를 밝히기 위한 노력이 있어 왔다. 이봉현[1~3] 등은 표면 거칠기가 다른 도금 강판에 대하여 윤활 조건을 변경하여 마찰 시험을 수행하고 마찰 모델을 제안하였다. P. Skarpelos[4] 등은 전기 아연 도금 강판에 대하여 드로우 비드 마찰 시험을 수행하고 각각의 표면 거칠기 인자와 마찰 특성에 대하여 조사하였다. M. Jonasson[5] 등은 조질 압연 롤 표면 가공 방법에 따라 생산된 강판의 마찰 특성에 대하여 조사하였다. G. F. Batalha[6] 등은 판재의 마찰 특성과의 관계가 깊은 3D 표면 거칠기 특성을 제안하였다. 그리고 판

1. POSCO 기술연구소 박관연구그룹
교신저자: 남오공과대학교 기계공학부,
E-mail: sshan2@hanmir.com

재 성형 중 변형에 의하여 발생하는 표면 거칠기의 변화와 이에 따른 마찰 특성의 변화에 대한 연구 결과[7~10] 등도 발표되고 있다.

그러나 이들 연구 결과들의 대부분은 도금강판의 사용하여 조사한 것이다. 도금 강판의 경우 판재의 마찰 특성이 표면 거칠기 뿐만 아니라 도금층의 성분에 의하여서도 크게 영향을 받기 때문에 이들의 결과를 바로 비도금 강판에 적용하기에는 어려움이 있다.

본 연구에서는 여러가지 표면 거칠기 조건을 갖는 자동차용 냉연 강판에 대하여 윤활 조건에 따라서 판재의 마찰 특성을 평가하고 비교하므로써 냉연 강판의 마찰 특성에 미치는 표면 거칠기의 인자들에 대하여 조사하여 냉연 강판의 마찰 특성을 개선시키기 위해 적절한 표면 거칠기를 제안하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 시편 준비

표면 거칠기와 마찰 특성과의 상관 관계를 구하기 위해서 우선 여러 가지 표면 거칠기를 갖는 시험 판재를 입수하는 것이 선행되어야 한다. 판재의 표면 경도가 마찰 특성 측정 결과에 미치는 영향을 배제하기 위하여 시험에 사용된 소재는 DDQ(Deep Drawing Quality) 등급의 재질에 한정하였다.

일반적으로 현장에서 생산될 수 있는 범위의 표면 거칠기에 대해서는 EDT(Electro Discharged Texturing), SBT(Shot Blasted Texturing) 등과 같이 조질 압연롤 가공 방법이 다른 경우에 대해서 각각 압연롤 통과 거리에 따라서 시편을 채취하는 방법을 사용하였다. 이 방법을 이용하여서 입수 가능하였던 Ra의 범위는 0.7 μm - 1.4 μm 였다. SBT에 의해서 가공된 압연롤로 조질 압연된 판재의 표면 거칠기는 EDT에 의해서 가공된 압연롤을 사용하여 조질 압연된 판재의 표면 거칠기에 비하여 전반적으로 거칠게 나타났다. 그리고 조질 압연 과정을 생략하여 일반 판재와는 다른 표면 거칠기를 갖는 시편도 준비하였다.

위와 같은 방법으로 준비할 수 있는 시편의 거칠기 범위에는 한계가 있어서 보다 낮은 표면 거칠기를 갖는 시험 판재는 기존의 판재를 경면 가공된 Bright 롤을 이용하여 압연시키는 방법을 이용하여 준비하였다. 일정한 압연력을 작용하는 조

건에서 압연롤을 통과시키는 횟수를 달리하여 판재의 표면 거칠기를 변경시켰다. Fig. 1은 초기 표면 거칠기가 서로 다른 DDQ 소재에 대하여 Bright 롤을 통과시킨 횟수와 표면 거칠기의 관계를 나타내었다. 이와 같은 방법으로 표면 거칠기를 변화시킨 판재는 가공 경화로 인하여 표면 경도가 증가하기 때문에 압연 후 분위기로에서 풀림 처리를 행하여 판재의 물성을 원판의 수준으로 회복시켰다. 판재의 마찰 특성은 표면 경도에 의해서도 영향을 받기 때문에 풀림 처리 조건은 풀림 처리 후 판재의 표면 경도가 원판의 경도와 유사한 값을 갖는 조건으로 하였다.

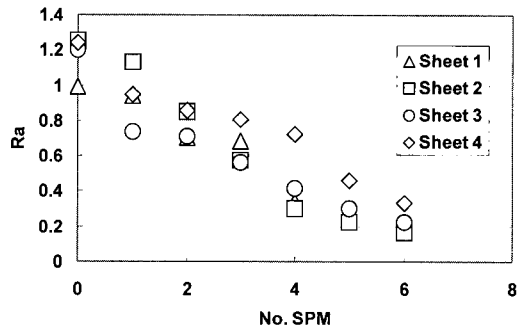


Fig. 1 Surface roughness with respect to number of skin pass with bright roll

입수된 시편의 최대 Ra 값이 1.4 μm 정도였으나 대부분 입수된 시편의 Ra 값이 1.1 μm 미만으로 나타나 보다 거칠은 표면 거칠기를 갖는 시험용 판재는 묽은 질산을 이용하여 판재의 표면을 부식시키는 방법으로 제작하였다. 부식되는 시간을 각각 달리하여 여러 가지 표면 거칠기를 갖는 시험용 판재를 제작하였다. 30% 농도의 묽은 질산에서 부식시키는 시간을 10~30 초 정도로 짧게 하면 초기의 판재의 표면 거칠기에 비하여 더 낮은 거칠기를 갖는 시험용 판재를 얻을 수 있었으며 30 초 이상의 시간에 대해서는 전반적으로 부식시키는 시간이 길어질수록 거칠은 표면을 갖는 시험편이 얻어졌다. 그러나 부식시키는 시간이 10 분 이상 길어지면 오히려 표면 거칠기가 균일해지고 또 낮아지는 현상이 발생하였다. 부식을 통하여 Ra 값이 8.95 μm 인 시편까지 준비가 가능하였으나 현장 생산 조건을 고려하여 Ra가 1.4 μm 까지에 시편을 제작하여 마찰 시험을 행하였다.

2.2 표면 거칠기 측정

판재의 표면 거칠기 측정은 Taylor Hobson 의 휴대용 접촉식 표면 거칠기 측정기를 이용하였다. 마찰 시험을 위하여 준비된 시편의 표면을 유기 용제와 초음파 세척기를 이용하여 세척한 후 표면 거칠기를 측정하였다. 측정 거리는 4mm, Cutoff Length 는 0.8mm 로 설정하였다. 측정 위치는 시편의 가운데 부분에 대하여 폭 방향을 3 곳을 측정하여 평균 값을 사용하였다. Fig. 2 에 표면 거칠기 측정기를 이용하여 측정된 결과의 한 예를 나타내었다.

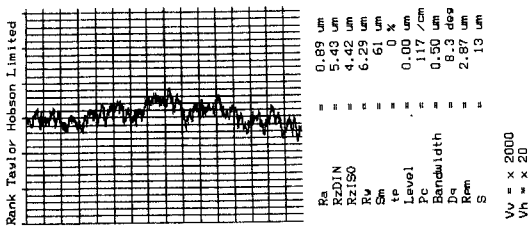


Fig. 2 Example of surface roughness measurement result

Fig. 2 의 측정 예에서도 알 수 있듯이 표면 거칠기를 나타내는데 사용되는 표면 거칠기 인자의 종류는 매우 많다. 이들 표면 거칠기 인자들은 측정 결과를 처리하고 계산하는 방법에 따라 크게 3 가지 군으로 나타낼 수 있다. 거칠기 산의 높이와 거칠기 파장의 길이 그리고 거칠기의 형상이 그것이다.

거칠기 산의 높이를 나타내는데 대표적으로 사용되는 표면 거칠기 인자는 제품의 표면 거칠기의 평가 기준으로 많이 사용되고 있는 중심선 평균 거칠기 값 Ra 이다.

Pc 값은 단위 길이당 얼마의 거칠기 파장이 존재하는 가를 나타내는 표면 거칠기 인자로서 단위 Cm 당 일정 높이 이상의 거칠기 산의 수를 나타낸다. 거칠기의 파장이 짧을수록 Pc 값은 높게 나타난다.

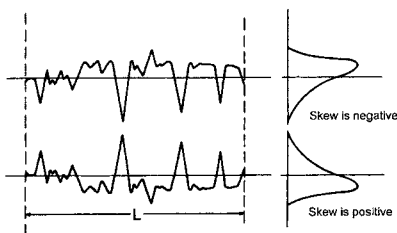


Fig. 3 Statistical surface roughness parameter : Skew

표면 거칠기의 형상을 나타내는 인자로 Skew 값이 있다. 이 값은 표면 거칠기 중심선의 위치가 어느 한쪽으로 치우친 정도를 나타내는 값으로 거칠기의 형상을 나타낸다. 본 연구에 사용된 표면 거칠기 측정기는 Skew 값 산출하여 주지 않기 때문에 Skew 값을 대신할 수 있는 인자로서 Rpm/Rz 를 사용하였다. 여기서 Rpm 은 기준 길이 내에서 중심선과 최대 거칠기 산의 거리를 나타내는 Rp 의 평균값을 나타내며 Rz 는 십점 평균 거칠기를 나타낸다. 0.5 를 기준으로 Rpm/Rz 값이 0.5 보다 크면 표면 거칠기는 날카로운 형상 즉 양의 Skew 값을 갖고 있는 것을 의미하며 0.5 보다 작으면 음의 Skew 값이 나타내는 무딘 형상의 표면 거칠기를 갖는다.

2.3 마찰 시험

준비된 여러 가지의 표면 거칠기를 갖는 냉연 강판의 마찰 특성을 평가하기 위하여 마찰 시험을 수행하였다. 마찰 시험은 Fig. 4 에 나타낸 것과 같은 측정 방식을 갖는 평판형 마찰 시험기를 사용하여 이루어졌다.

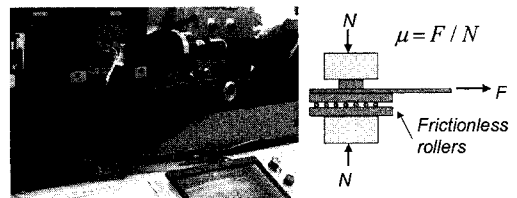


Fig. 4 Flat type friction tester

마찰 시험은 3 가지 윤활 조건에서 이루어 졌으며 동일 윤활 조건에 대하여 3 번의 마찰 시험을 수행한 후 구하여진 마찰 계수의 평균값을 대표값으로 사용하였다. 이때 이상 값이 측정되면 추가 시험을 수행하였다. 마찰 시험용 공구는 열처리된 SKD11 재질에 대하여 표면 연마 후 경질 크롬 도금된 것을 사용하였다. 매 시험 후 공구의 표면은 아세톤을 이용하여 세척하였다. 마찰 시험에 사용된 윤활 조건은 다음과 같다.

가. 무윤활 : 마찰 시편의 표면을 아세톤등 유기 용제를 사용하여 완전히 닦아낸 상태에서 시험하였다.

나. 방청유 도유 : 냉연 강판의 방청과 윤활을

목적으로 사용하고 있는 방청유를 도유하여 시험하였다. 시험에 사용된 방청유는 점도가 9.1cSt (22°C)로서 일반 드로잉유에 비하여 비교적 낮으며 대부분 가공 공정에서는 다른 윤활유의 추가 사용없이 방청유만 도유된 상태에서 사용된다.

다. 드로잉유 도유 : 마찰 특성 향상을 위하여 가공 공정에서 사용되는 드로잉유를 도유하여 시험하였다. 시험에 사용된 드로잉유는 점도가 94.8 cSt(22°C)로 방청유에 비하여 높으며 가공 깊이가 깊거나 좋은 마찰 특성이 요구될 때 사용된다.

마찰 시험에서 시험용 공구와 시편 사이의 면압은 시험기기 용량의 제한으로 인하여 10Mpa를 작용하였고 드로잉 속도는 0.8m/min로 하였다. 드로잉 거리는 110mm로 하였고 천이 영역을 고려하여 Fig. 5에 나타난 바와 같이 드로잉 거리가 20mm~100mm 사이에 있는 데이터들의 평균을 이용하여 마찰 계수를 계산하였다.

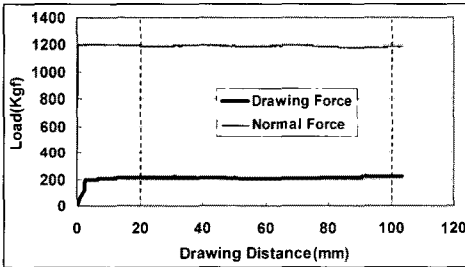


Fig. 5 Friction force with respect to sliding distance

3. 실험 결과 및 분석

표면 거칠기 특성을 나타내는 인자들 중에서 거칠기 산의 높이를 나타내는 특성 값들인 Ra, Rt, Rmax, Rz 등은 모두 유사한 성질을 갖고 있기 때문에 이들 특성 값들 중 표면 거칠기의 지표로 널리 사용되고 있는 Ra와 거칠기의 파장의 길이를 나타내는 표면 거칠기 특성 값 Pc 그리고 거칠기 산의 형상을 나타내는 Rpm/Rz에 대하여 마찰 계수와의 상관 관계를 분석하였다.

각각의 거칠기 특성에 대하여 다른 거칠기 특성 값의 영향을 완전히 배제할 수 없기 때문에 각각의 특성 값에 대한 분석 조건에서는 다른 특성 값의 범위를 제한하였다.

Fig. 6에는 각각의 윤활 조건에 대하여 Pc 값과 Rpm/Rz의 범위가 각각 $40 < Pc < 80$ 이고 $0.4 <$

$Rpm/Rz < 0.6$ 인 판재에 대하여 Ra와 마찰 계수와의 상관 관계를 나타내었다. 무윤활 조건의 경우 Ra의 변화에 대하여 마찰 계수는 0.14에서 0.2 범위 사이의 높은 산포를 나타내고는 있으나 전체적으로 완만한 U자 형태를 보여주고 있다. 방청유를 도유한 조건에서는 무윤활 조건에 비하여 마찰 계수의 산포가 많이 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 Ra 값이 감소할수록 마찰 계수가 약간 감소하는 경향을 보여주고는 있으나 그 정도는 크지 않다. 드로잉유를 도유한 경우 측정 마찰 계수의 산포가 많이 줄어들었으며 Ra가 감소함에 따라서 마찰 계수도 감소하는 경향이 뚜렷이 나타나고 있다. 대부분의 자동차용 냉연 강판이 윤활 조건에서 성형이 이루어지는 것을 고려할 때 본 시험 결과에서는 냉연 강판의 Ra 값이 작은 것이 마찰 측면에서는 성형에 유리한 것으로 관찰되었다.

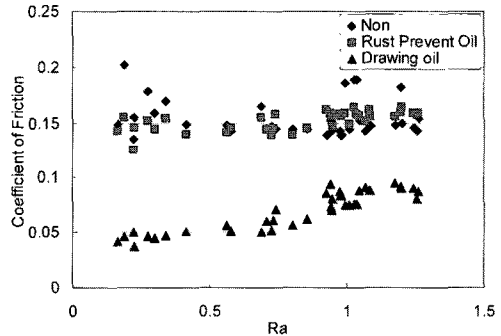


Fig. 6 Friction coefficient with respect to Ra value under various lubricant conditions

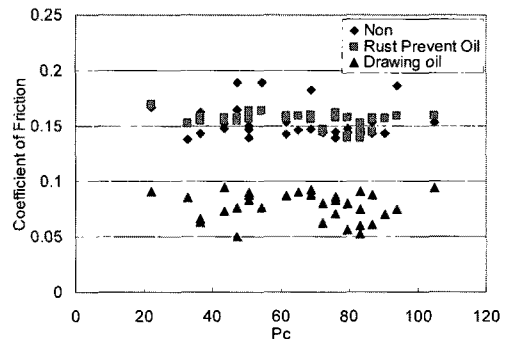


Fig. 7 Friction coefficient with respect to Pc value under various lubricant conditions

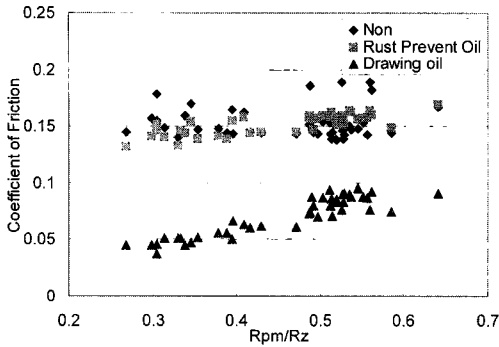
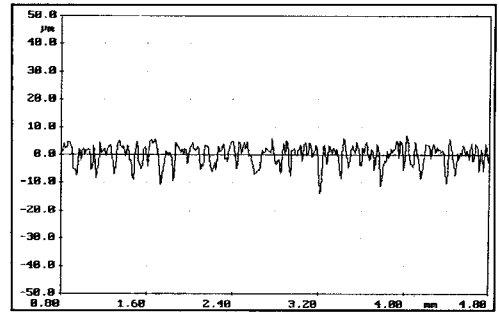


Fig. 8 Friction coefficient with respect to Rpm/Rz value under various lubricant conditions

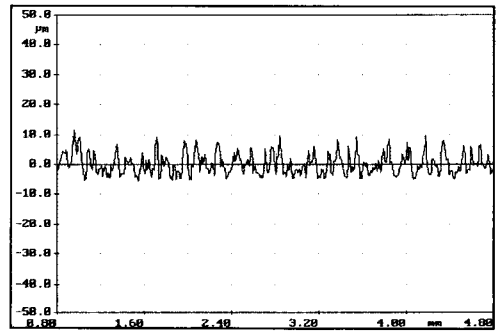
표면 거칠기 파장의 길이가 마찰 계수에 미치는 영향을 알아보기 위하여 Pc 값과 마찰 계수의 관계를 Fig. 7에 나타내었다. 이는 각각의 윤활 조건에 대하여 $0.4 < Rpm/Rz < 0.6$ 이고 $0.7 < Ra < 1.3$ 인 시편에 대한 시험 결과를 정리한 것이다. 그림에 나타난 것과 같이 모든 윤활 조건에 대하여 마찰 계수와 Pc 값은 별다른 상관 관계를 나타내지 않고 있다. 방청유 도유 조건에서는 마찰 계수의 산포가 작게 나타났으나 그 외의 윤활 조건에서는 마찰 계수의 산포가 비교적 크게 나타났다.

표면 거칠기 산의 형상을 나타내는 Rpm/Rz 와 측정된 마찰 계수의 상관 관계를 구하여 Fig. 8 에 나타내었다. 시험에 사용된 시편들 가운데서 $50 < Pc < 90$ 이고 $0.7 < Ra < 1.3$ 인 시편들에 대한 시험 결과 만으로 정리하였다. 이 경우도 다른 경우와 마찬가지로 무윤활 조건에서는 Rpm/Rz와 마찰 계수는 아무런 상관 관계를 나타내지 않았으며 측정된 마찰 계수의 산포 또한 매우 크게 나타났다. 방청유 도유 조건에서는 측정된 마찰 계수의 산포가 많이 줄어 들었으며 Rpm/Rz 값이 작아질수록 마찰 계수가 작아지는 경향을 보이고 있다. 그리고 마찰 계수가 감소하는 정도도 Ra 의 경우 보다 약간 더 크게 나타나고 있다. 점도가 높은 드로잉유 도유 조건에서는 Rpm/Rz 값이 작아질수록 마찰 계수 값이 작아지는 정도가 매우 크게 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

이상의 결과 윤활유의 점도가 높아질수록 표면 거칠기가 판재의 마찰 특성에 미치는 영향은 더 크게 나타나며 무윤활 조건에서는 판재의 마찰 특성에 표면 거칠기는 별다른 역할을 하지 못함



(a) $\mu = 0.071$



(b) $\mu = 0.101$

Fig. 9 Friction coefficient of sheets under lubricant condition with drawing oil

다는 것을 알 수 있다. 그리고 냉연 강관의 마찰 특성은 표면 거칠기 산의 높이 뿐만 아니라 거칠기 산의 형태에도 크게 영향을 받는 것을 알 수 있었다. 이것은 판재의 마찰 계수는 거칠기 산의 형태가 무딜수록 낮게 나타난다는 것을 의미한다. Fig. 9는 유사한 Ra 와 Pc 값을 갖으며 다른 Rpm/Rz 값을 갖도록 준비된 판재에 대하여 마찰 계수를 측정된 결과를 나타낸 것이다. 표면 거칠기의 형상은 3차원 거칠기 측정기로 측정하여 평균 중심선을 기준으로 하여 다시 나타낸 것이다. 거칠기 산의 형태가 무딘 판재의 마찰 계수가 낮게 나타나는 것을 알 수 있다.

이와 같은 현상이 일어나는 것은 표면 거칠기의 형상이 Fig. 9(a)와 같은 경우가 (b)와 같은 경우에 비하여 표면에 미소 오일 포켓(Micro oil pocket)을 형성하는데 보다 더 유리하기 때문인 것으로 판단된다. 미소 오일 포켓은 금형면과 판재 사이에 정수압력을 작용하여 서로 간의 접촉을 줄여주며 윤활유를 보관하여 이들이 상대 운동할 때 접촉 경계면에 윤활유를 공급해주는 역

할을 한다. 따라서 윤활유를 사용한 조건에서 금형과 판재가 접촉하였을 때 접촉면에 미소 오일 포켓이 많이 생성될수록 마찰 계수는 낮아지게 된다.

4. 결론

냉연 강판의 마찰 특성을 개선하기 위하여 표면 거칠기가 마찰 특성에 미치는 영향을 평판형 마찰 시험기를 이용하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 판재의 표면 윤활 조건에 따라 측정 마찰 계수에 대한 표면 거칠기의 영향과 측정 마찰 계수의 산포 크기에 차이를 나타내었다.

(2) 윤활 상태에서는 중심선 평균 거칠기 Ra 값이 작아질수록 판재의 마찰 계수는 작아졌으며 표면 거칠기 산의 형상이 무딜수록(Rounded Ridged) 마찰 계수는 작아졌다. 그러나 Pc 는 판재의 마찰 특성에 거의 영향을 주지 않았다.

(3) 윤활유의 점도가 증가할수록 측정 마찰 계수의 산포가 작아졌으며 표면 거칠기가 판재의 마찰 특성에 미치는 영향이 증가하였다.

(4) 윤활 상태에서 성형할 때 마찰 특성 측면만 고려할 경우 Ra 와 Skew 값이 작은 판재가 성형에 유리한 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문입니다.

참 고 문 헌

- [1] B. H. Lee, Y. T. Keum, 2001, Friction model of sheet metal forming considering lubricant and surface roughness, Transactions of Materials Processing, Vol.10, No.7, pp. 543~550.
- [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] B. H. Lee, Y. T. Keum, R.H. Wagoner, 2002, Modeling of the friction caused by lubrication and surface roughness in sheet metal forming, JMPT, Vol. 130~131, pp. 60~63.
- [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] M. Jonasson, T. Pulkkinen, L. Gunnarsson, E. Schedin, 1997, Comparative study of shotblasted and electrical-discharge-textured rolls with regard to frictional behavior of the rolled steel sheet surfaces, WEAR, Vol. 207, pp. 34~40.
- [6] G. F. Batalha, M. Stipkovic Filho, 2001, Quantitative characterization of the surface topography of cold rolled sheets - new approaches and possibilities, JMPT, Vol. 113, pp. 732~738.
- [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] 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.
- [10] 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.
- [11] R. J. J. M. Sniekres, H. A. A. Smits, 1997, Experimental set-up and data processing of the radial strip-drawing friction test, JMPT, Vol. 66, pp. 216~223.