

〈論 文〉

Zn-Ni계 합금도금강판의 마찰특성에 관한 연구

김영석* · 박기철* · 조재억**

(1991년 3월 2일 접수)

Frictional Characteristics of Electro Zn-Ni Alloy Coated Steel Sheets

Young Suk Kim, Kee Cheol Park and Jae Ok Cho

Key Words : Frictional Characteristic(마찰특성), Coefficient of Friction(마찰 계수), Electro Zn-Ni Alloy Coated Steel Sheet(Zn-Ni계 합금 전기도금강판), Stamping Formability(프램핑성형성), Deep Drawing(딥 드로잉)

Abstract

The frictional characteristic of Zn-Ni electrogalvanized steel sheet was investigated by experimental procedures. To clarify the effect of surface property on the frictional characteristic of Zn-Ni coated steel sheet, Micro-hardness test, SEM analysis and X-ray diffraction analysis were carried out. Coefficients of friction for various stamping lubricant and Ni content in coated layer were measured by a draw bead friction test. The results show that frictional characteristic is very sensitive to Ni content of coated layer and depends on stamping lubricant. For Ni content less than about 11%, selection of proper lubricant is necessary to obtain low coefficient of friction in Zn-Ni coated steel sheet such as in case of cold rolled steel sheet.

1. 서 론

최근 자동차 차체의 부식에 대한 대책으로 종래의 일반 냉연강판(cold rolled steel sheet, CR)을 대체하여 아연계 도금강판으로 대표되는 고 내식성 도금강판의 사용이 증가하고 있다. 현재 일본, 유럽을 중심으로 자동차 내, 외판으로 널리 사용되고 있는 Zn-Ni계 및 Zn-Fe계 합금도금강판은 순수 Zn 도금 강판보다 높은 용융점을 갖는 얇은 합금계 도금층의 존재에 의해 동일한 두께의 도금층을 갖는 순수 Zn 도금강판보다 우수한 스탬핑 성형성(stamping formability), 용접성, 내식성을 갖고 있다.

이들 합금 도금강판은 도금공정 특성상 그리고

도금후의 경질인 도금층의 존재로 인하여 일반적으로 도금전의 냉연강판의 경우와 비교하여 도금강판의 기계적성질이 열세에 있고 즉, 도금전 과 비교하여 도금후의 항복강도 Y_P , 인장강도 TS 가 상승하고 한편 연신률 EI , 가공경화지수 n , 이방성계수 R 가 감소하며, 도금층의 합금성분 함량에 따라 도금층의 표면특성-도금층의 경도, 도금층의 상, 표면형상, 표면거칠기 등에 대한 차이가 심하여 스탬핑 금형과 도금강판의 상대 미끄럼시에 발생하는 마찰저항이 크게 달라진다^(1,2). 또한 스탬핑 공정에서 최적 성형조건을 안정적으로 유지하는데 어려움이 있으며 일반 냉연강판과 비교하면 스탬핑 공정에서 파단발생에 의한 불량률이 높은 편이다⁽⁶⁾. 도금강판의 스탬핑 성형가능 범위가 좁은 것은 도금공정에 의한 기계적 성질의 저하보다는 주로 도금층의 마찰불량에 기인하는 것이 대부분이다⁽¹²⁾.

통상 스탬핑 성형성을 확보하기 위한 측면에서

*정회원, 산업과학기술연구소 용접연구센터

**산업과학기술연구소 용접연구센터

최적인 합금성분의 함량범위는 Zn-Ni계 합금도금 강판의 경우는 도금층 중의 Ni 함량이 11%~14%, 그리고 Zn-Fe계 합금도금강판의 경우는 Fe 함량이 14%~20% 정도로 알려지고 있다^(4,6). 한편 이들 값보다 과다하게 낮은 경우에는 도금 표면의 마찰계수가 커져 스템핑 공정에서 재료의 유동이 많은 딥 드로잉(deep drawing) 변형모드의 패널 성형시에 드로오 비드가 설정되어 있는 블랭크 홀더면에서의 과다한 마찰저항으로 인해 다이 내부로 재료의 유입이 적어져 펀치와 다이 모서리를 포함한 패널 벽 부위에서 파단발생이 심하게 된다^(3~6). 반면 합금성분함량이 이들 값보다 과다하게 커지면 스템핑 공정중에 경질인 도금층이 모재인 냉연강판의 변형을 따라가지 못해 도금층의 박리현상이 발생하여 다이 내부에 탈락된 도금입자에 의해 성형패널에 미소 흠(pimple)을 생성하여 성형패널의 품질을 떨어뜨리게 된다⁽⁹⁾.

본 연구에서는 자동차용 Zn-Ni계 합금 전기도금강판(electro Zn-Ni alloy coated steel sheet, EGN)에서 도금층 중의 Ni함량에 따른 도금층의 표면특성이 마찰거동에 미치는 영향과 윤활유 종류에 따른 Ni 함량별 마찰특성을 파악하여 최적 스템핑조건을 도출하는데 기여하고자 한다.

2. 실험방법

자동차용 Zn-Ni계 합금 전기도금강판에서 도금층 중의 Ni 함량에 따른 마찰 특성의 차이 및 윤활유 종류에 따른 영향을 파악하기 위하여 다음과

같은 실험을 행하였다.

도금층 중의 Ni 함량을 달리 한 5종류의 Zn-Ni계 양면 합금 전기도금강판을 실험에 이용하였으며 인장실험을 통하여 각 도금강판의 기계적 성질을 파악하였다. 인장실험은 압연방향에 대해 각각 0°, 45°, 90° 방향으로 ASTM E-8시편을 제작하여 인장시험기에 의해 10mm/min의 변형속도로 실시하였다. Table 1에 인장실험에 의한 Ni 함량별 기계적 성질을 나타내었다. Ni 함량이 13.0%인 도금강판은 모재인 냉연강판에 Ti가 첨가된 고강도강판으로 다른 4종류의 극저 탄소강보다 항복응력 과 인장강도가 높고 연신률, 가공경화지수와 이방성계수가 낮은 특징을 갖고 있다. Ni 함량에 따른 도금층의 표면특성의 차이 규명을 위해 가압하중 10g에 의한 미소경도기로 도금층의 경도를 측정하였으며, SEM(scanning electron microscopy) 촬영에 의해 표면형태(morphology)를 관찰하였다. 또한 X-선 회절분석(X-ray diffraction)을 통하여 Ni 함량에 따른 도금층의 상(phase)의 특성을 규명하여 마찰특성과의 관계를 살펴보았다.

Ni 함량에 따른 도금층의 표면특성 차이가 마찰 특성에 미치는 영향을 평가하기 위해 Fig.1의 드로오 비드 마찰실험장치^(7,8)를 이용하여 각각의 도금강판과 도금층을 제거한 냉연강판에 대하여 마찰계수를 구하였다. 도금강판의 도금층은 HCL 30% 용액에 헥사민(Hexamine)을 한, 두 방울 첨가한 용액에 도금강판을 수분간 담가두어 제거하였다. 드로오 비드 다이는 비드 반경이 4.76mm이고 가압하중이 100g 하에서 비이커스 경도가 610인

Table 1 Mechanical properties of tested materials

Material	Coating weight (g/m ²)	Alloy content (Wt.%)	Thickness (mm)	YP (kg/mm ²) (0.2% offset)	TS (kg/mm ²)	EI (%) over 50mm	Rm-value	n-value
EGN	37/40	Ni : 9.8	0.70	15.9	30.1	44.0	1.78	0.225
EGN	33/33	Ni : 10.6	0.85	15.3	31.8	44.2	1.74	0.241
EGN	28/28	Ni : 11.0	0.70	14.5	30.1	45.0	1.87	0.237
EGN	24/26	Ni : 11.6	0.75	14.8	29.5	47.1	1.98	0.241
EGN	30/28	Ni : 13.0	0.82	29.7	40.8	34.0	1.36	0.200

EGN : Electrogalvanized Zn-Ni alloy coating

All values are averaged according to

$$X = \frac{X(0^\circ) + 2X(45^\circ) + X(90^\circ)}{4}$$

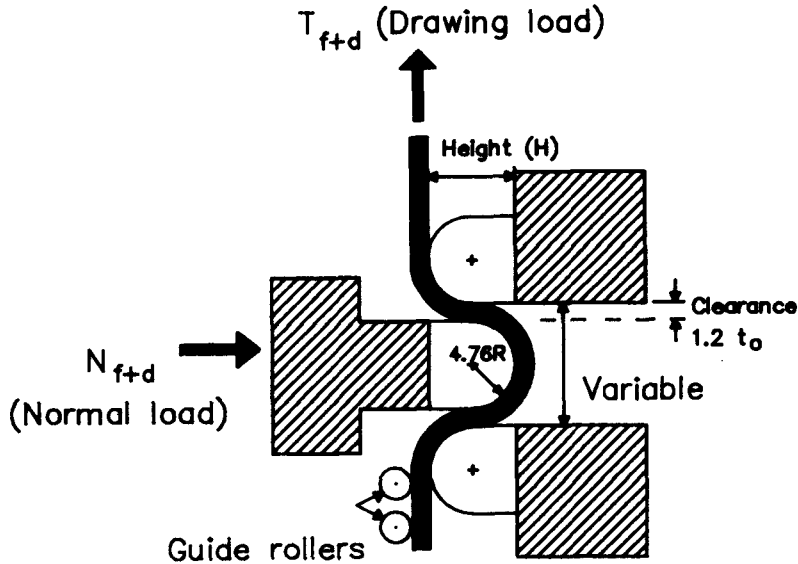


Fig. 1 Schematic view of draw bead friction tester

Table 2 Properties of lubricants

Lubricant code	Type	Viscosity (40°C, cSt)	Specific gravity (15°C/4°C)	Fire point (C.O.C., °C)
1	Washing & rust-preventive oil	2.7	0.830	46
2	Rust-preventive oil	21.0	0.896	193
3	Washing & rust-preventive oil	2.2	0.802	88
4	Rust-preventive oil	21.0	0.908	176

SKD11 재료를 사용하였다. 비드면의 거칠기는 시편의 드로잉 방향으로 평균거칠기 R_a 가 $0.11\mu\text{m}$ 이고 최대 거칠기 R_{max} 가 $0.75\mu\text{m}$ 정도이다. 마찰실험은 폭이 45mm이고 길이가 300mm인 시편에 윤활유를 적당량 도포한 후 인발속도를 200mm/min로 하여 행하였고, 동일 코일내에서 시편채취 부위별 표면특성의 편차를 고려하여 2회 반복 실시하여 평균값을 취하였다. 또한 윤활유 종류에 따른 Ni 함량별 마찰특성을 파악하기 위하여 Table 2에 나타난 스탬핑 공정에서 사용되고 있는 4종류의 용재

회석형 및 중 점도의 윤활유를 사용하여 마찰실험을 행하였다. 여기서 윤활유 1과 윤활유 3은 스탬핑 프레스에 강판이 투입되기 전에 블랭킹 공정에서 강판의 세척 겸 단기 방청용으로 도포되고 있는 윤활유이고, 윤활유 2는 도금공장에서 생산된 코일의 방청용으로 도포되고 있는 방청유이다. 또한 윤활유 4는 도금된 코일의 방청유 이면서 블랭킹 공정에서 세척 및 단기 방청유의 도포없이 스탬핑 성형하도록 제조된 윤활유이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 도금층의 특성

Fig. 2는 SEM촬영에 의한 도금층의 Ni 함량에 따른 표면형태를 나타낸다. 도금층 중의 Ni 함량이 도금공정에서 관리하고 있는 11.0% 보다 1% 이상 낮은 9.8%를 갖는 경우는 국부적으로는 미세한 도금결정립을 갖고 있으나 전체적으로 상당히 울퉁불퉁한 표면을 이루고 있으며, Ni 함량이 10.6% 이상으로 높아 질수록 도금 결정립이 점차 둥글게 성장하면서 전반적으로 고르게 분포하는 특

징을 보인다. 한편 Ni 함량이 11.6%인 경우는 균일한 미세 도금 결정립을 갖고 있어서 표면이 매끈하고 Ni함량이 13.0%일 때에는 11.6%의 경우와 유사한 경향을 보였다.

Fig. 3은 도금강판 (상단)과 도금층을 제거한 냉연강판 (하단)의 표면거칠기를 측정한 결과를 나타낸다. 냉연강판의 표면거칠기는 냉간압연후에 소둔공정을 거친 강판에 자동차용 강판으로써 요구하는 거칠기를 부여하기*위한 조절압연(temper rolling) 공정에서 압연롤의 표면거칠기가 전사되어 부가된 것이다.

따라서 원판인 냉연강판은 코일별로 조절 압연롤

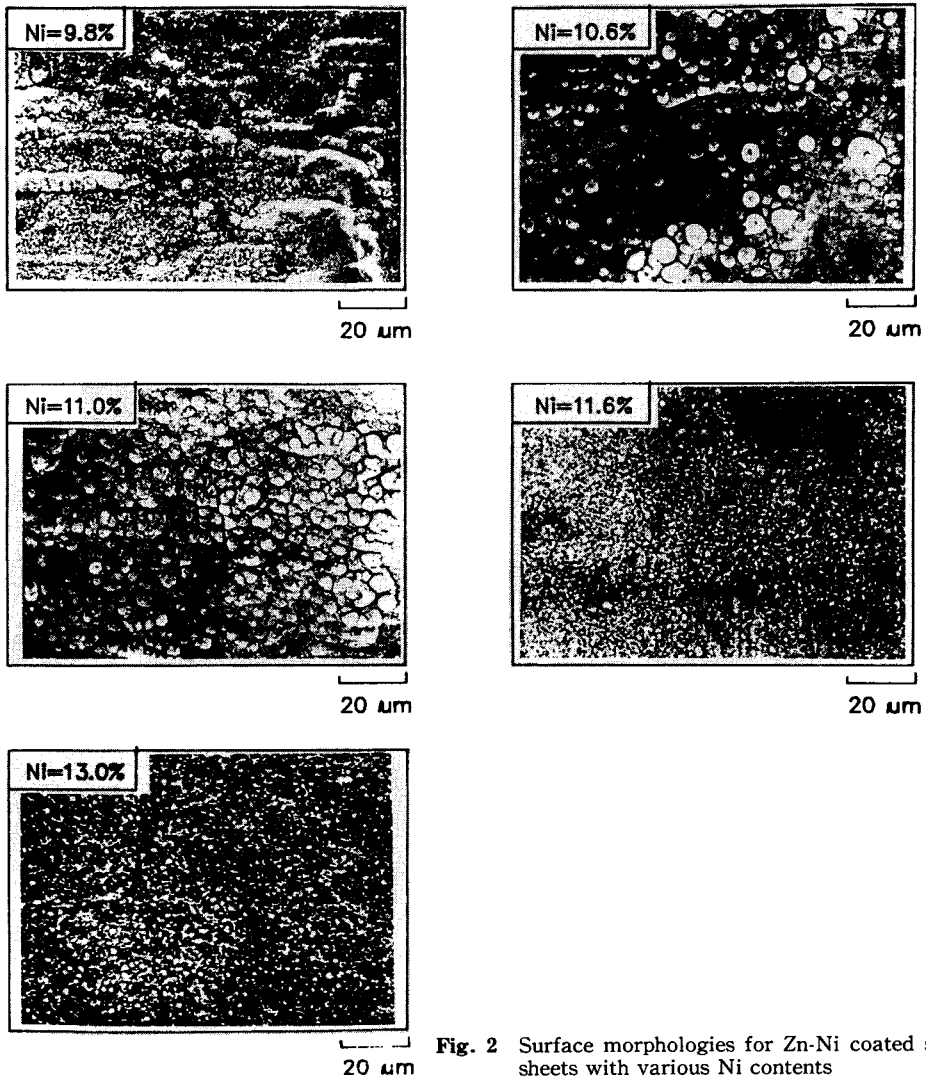


Fig. 2 Surface morphologies for Zn-Ni coated steel sheets with various Ni contents

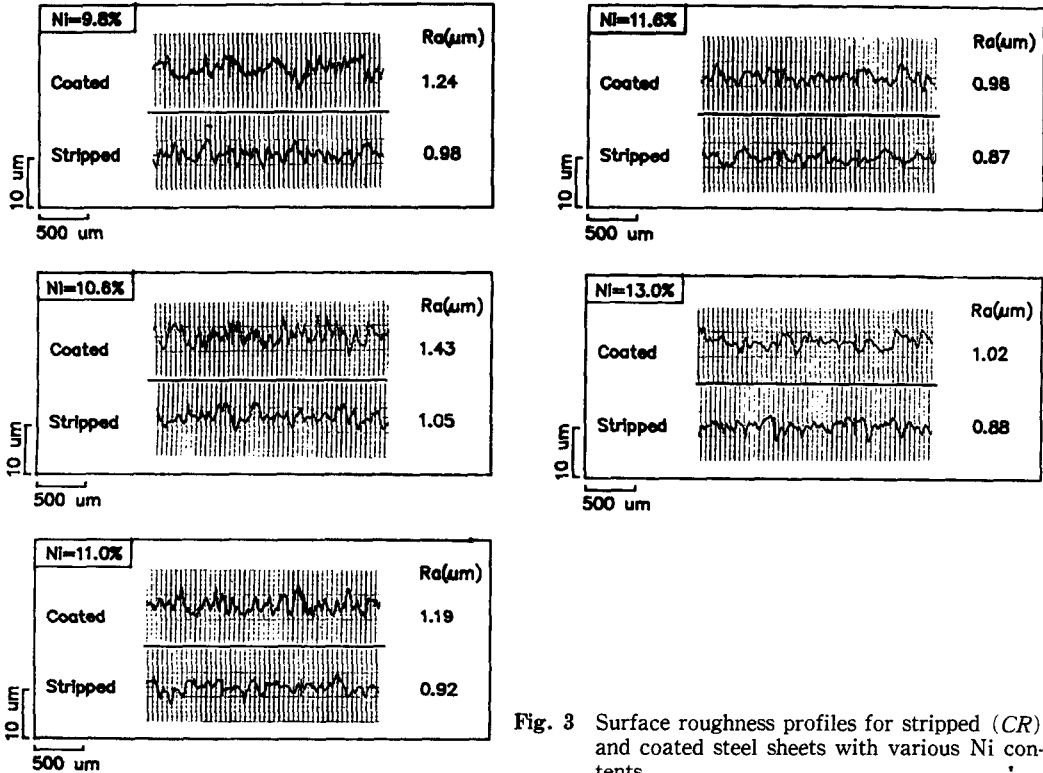


Fig. 3 Surface roughness profiles for stripped (CR) and coated steel sheets with various Ni contents

의 마멸에 따라 약간의 차이를 보이고 있으나 Ni 함량에 관계없이 거의 동일한 형상과 평균거칠기 Ra를 갖고 있는 것으로 판단된다. 그러나 도금후의 도금강판의 표면거칠기는 Ni 함량에 따라 상당히 차이가 나는 것으로 판단되며 이는 SEM 촬영 결과에서도 알 수 있듯이 도금층 중의 Ni 함량에 따라 도금 결정립의 성장특징이 다르기 때문으로 생각된다. Fig.3에서 Ni 함량이 9.8%로 낮은 경우에는 도금강판의 표면거칠기가 도금층이 제거된 냉연강판의 경우와 비교하면 상당히 거친 반면 Ni 함량이 높아질수록 냉연강판의 거칠기에 가까워지는 특징을 보이고 있다.

Fig. 4는 Ni 함량에 따른 도금층의 경도를 측정 한 결과이다. 본 실험에 사용한 Zn-Ni 합금도금강판의 경우에 도금층의 미소경도는 냉연강판의 표면경도(Hv10=120~130) 보다 높고 또한 Ni 함량이 높아질수록 도금층의 경도가 점차 높아짐을 보인다.

Ni 함량에 따른 도금층의 상의 구성을 파악하기 위한 X선 회절분석 결과를 Fig. 5에 나타내었다. Ni 함량이 9.8%로 낮은 경우에는 도금층내에 연질

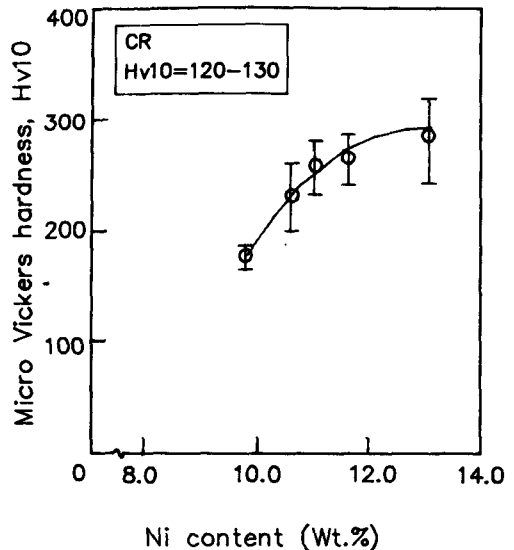


Fig. 4 Effect of Ni content on micro vickers hardness of Zn-Ni coated steel sheet

인 η상(Zn)과 δ상(Ni₃Zn₂₂) 그리고 경질인 γ상(Ni₅Zn₂₁)이 공존하고 있으나 Ni 함량이 10.6% 이

상에서는 η 상 과 δ 상은 존재하지 않고 γ 상만이 존재하고 있음을 알 수 있다. 위에서 논한 Ni 함량

에 따른 도금층의 표면특성은 아래에서 논할 도금강판의 마찰 및 윤활특성과 밀접한 관계가 있다.

3.2 도금층의 마찰 및 윤활특성

Fig. 6은 강판에 Table 2의 윤활유 3을 도포한 후 드로오 비드 마찰실험을 통하여 구한 Ni 함량별 도금강판과 도금층을 제거한 냉연강판의 마찰계수를 나타낸다. 냉연강판의 마찰계수는 도금강판의 경우와 비교하여 거의 균일한 낮은 값을 갖고 있는 반면 도금강판의 경우는 Ni 함량에 따라 마찰계수의 변화가 큰 특징을 보이고 있다. Ni 함량이 약 11.0% 이하에서는 Ni 함량의 감소와 더불어 마찰계수가 급격하게 커져 Ni 함량이 9.8%에서는 마찰계수가 0.28 정도의 높은 값을 갖는 반면 Ni 함량이 11.0%~13.0% 사이에서는 마찰계수의 변화가 별로 크지 않고 냉연강판의 수준과 같은 0.14 정도의 낮은 마찰계수를 갖는다. Ni 함량에 의한 차이를 보면 Ni 함량이 11.6%에서 9.8%로 1.4% 낮아짐에 따라 마찰계수는 2배 정도 커진 것을 알 수 있다.

Ni 함량에 따른 마찰특성의 차이는 경한 다이와 도금강판 표면의 미끄럼 접촉시에 두 면의 실질 접촉면적(actual contact area)의 크기에 의하여 설명할 수 있다^(3,10-13). Fig. 7은 가압하중 N하에서 다이와 도금표면의 상대 미끄럼 δ 에 대한 Ni 함량의 차이에 따른 도금층의 거동을 기하학적으로 나타낸 것이다. Fig. 7(a)는 윤활유를 매개로 하여 일정한 표면거칠기를 갖는 도금표면과 도금면에 비하여 상대적으로 매끈한 표면을 갖는 다이의 접촉상태를 나타낸다. Fig. 7(b)는 다이에 작용하는 하중 N에 의하여 도금표면의 돌기(asperity)에 해당하는 부분에서 윤활막이 깨어져 다이가 도금표면의 돌기부분에서 국부적으로 직접접촉하고, 그 부분에 높은 압축응력의 작용으로 소성 붕괴되어 늘리고 있는 상태를 나타낸다. 이때의 윤활상태는 다이와 도금표면과 직접접촉한 부분에서는 경계윤활 그리고 직접접촉이 없는 부분에서는 유체윤활 상태가 되어 전체적으로는 혼합윤활 상태가 유지된다. 또한 Fig. 7(c)는 다이의 가압하중에서 다이와 도금표면의 상대 미끄럼에 의해 다이와 직접접촉한 도금표면 부분이 연속적으로 전단변형을 받는 상태를 나타낸다. 이런 혼합윤활 상태에서 거시적인 도금강판의 마찰계수는 경계윤활 부분과 유체윤활 부분에 대한 각각의 마찰계수 및 다이와 도금표면의 실

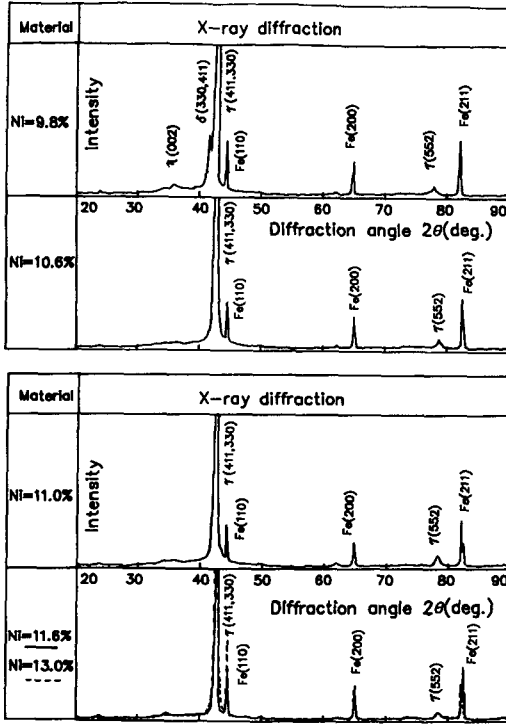


Fig. 5 X-ray diffraction patterns for Zn-Ni coated steel sheets with various Ni contents

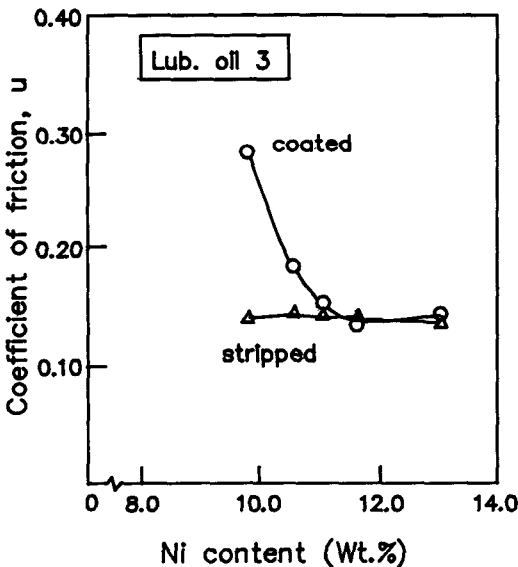


Fig. 6 Effect of Ni content on friction coefficient of Zn-Ni coated steel sheet

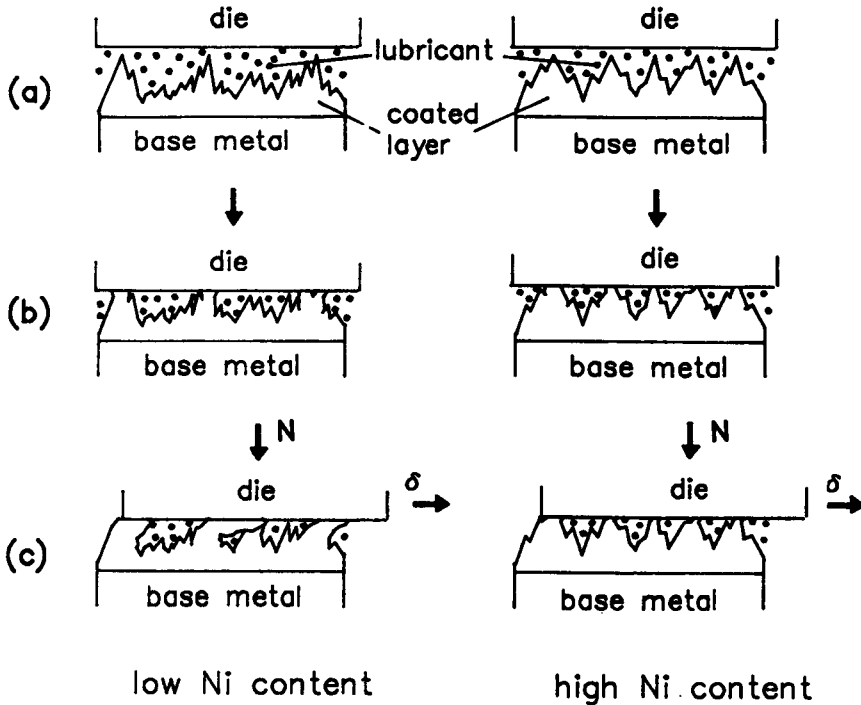


Fig. 7 Model showing an effect of Ni content on friction characteristics of Zn-Ni coated steel sheet

질 접촉면적의 비에 의하여 결정된다^(3,11). 일반적으로 두 금속간의 접촉에 있어서 경계윤활 상태의 마찰계수는 0.1~1.0 정도이고, 유체윤활 상태의 마찰계수는 0.001~0.01 정도이므로 경계윤활 상태의 마찰의 크기가 도금강판의 거시적인 마찰크기를 결정한다고 볼 수 있다⁽¹²⁾. 따라서 도금강판의 마찰특성은 다이와 도금강판 표면의 실질 접촉면적의 크기에 의존한다. 상기와 같이 다이의 가압하에서 도금표면의 상대 미끄럼 시에 도금표면의 소성 변형거동을 나타내는 모델을 통하여 Ni 함량에 따른 마찰특성의 차이는 다음과 같이 설명할 수 있다. 즉, Ni 함량이 낮아질수록 Fig. 2와 Fig. 3에 나타난 바와 같이 도금표면의 거칠기는 전반적으로 거칠어지고, Fig. 5에서 보이는 바와 같이 도금층 중에 변형저항이 낮은 연질인 γ 상이 존재하게 된다. 따라서 다이의 가압하중에 대해 변형저항이 낮은 도금표면의 돌기에 해당하는 부분이 쉽게 소성변형되어 뭉그러지면서 그 부분에서 존재하던 윤활유가 빠져나가(squeeze out) 유체윤활 상태가 깨어지고 다이와 도금표면과 직접접촉이 일어난다. 또한 다이와의 상대 운동에 의하여 다이와 직접접촉한 면에 전단응력이 작용하면 접촉면이 전단 변형을 받

아 미끄럼 방향으로 연속적으로 유동하여 직접접촉면적이 더욱 증가하게 되고 다이에 도금층의 고착이 심해진다. 따라서 도금강판이 다이와의 상대운동을 계속하기 위한 마찰저항이 커지는 것으로 생각된다.

한편 Ni 함량이 높아질수록 도금층 중에는 변형저항이 높은 경질인 γ 상만이 존재하게 되고 균일한 미세도금 결정립의 성장에 따른 상대적으로 매끈한 표면을 갖는 표면 거칠기특성에 의해 다이의 가압하중에 의해 도금표면이 다이와 직접 접촉하는 면적은 Ni 함량이 낮은 경우 보다 상대적으로 적어진다. 또한 이 경우 다이와의 상대 미끄럼에 의하여 다이와 직접접촉한 면에 전단응력이 작용하면 도금층이 경질이므로 접촉면은 전단 소성변형을 지속하지 못하고 쉽게 전단 파괴되어 도금층의 변형저항이 낮은 경우에서와 같이 전단변형에 의해 밀리는 현상은 적어진다⁽¹³⁾. 이런 현상은 도금층 중에 Ni 함량이 13.0% 이상되는 경우에 드로오비드 마찰실험 중에 비드 부를 통과한 부위에서 도금층의 박리가 심하다는 현상에 의하여 입증된다⁽⁴⁾. 따라서 다이와 도금표면의 직접접촉하는 면적의 증가는 작아지므로 Ni 함량이 낮은 경우보다 마찰저

향이 적어진다고 생각된다.

Fig. 8은 고정비드를 이용한 마찰실험 후의 도금강판의 표면형태를 보여준다. 앞에서 논한 바와 같이 Ni 함량이 9.8%로 낮은 경우는 다이와 직접접촉한 부분에서 인발방향으로 도금층이 심하게 밀려 있고 표면에 많은 굵힌 자국들이 관찰되고 있다. 이 자국들은 연질인 도금층이 먼저 경한 다이와 상대 미끄럼 운동에 의해 다이에 고착된 부분이 후속하는 도금층을 파헤친 흔적으로 도금강판의 마찰저항을 더욱 크게 하는데 기여한다. 한편 Ni 함량이 높아질수록 도금 층의 밀림과 표면 굵힘현상은 적어지는 것을 알 수 있다. Ni 함량이 9.8%로 낮은 경우에는 드로오 비드 마찰실험 후에 비드에 도금

층이 고착되어 있는 것이 관찰되었으나 11.0% 이상에서는 비드에 도금층의 고착이 관찰되지 않아 위에서 논한 Ni 함량에 따른 마찰특성의 차이에 대한 해석의 타당성을 뒷받침하고 있다.

상 분석기에 의해 측정된 다이와 도금표면의 직접접촉 면적은 Ni 함량이 9.8%인 경우에 약 50%, Ni 함량이 11.0%인 경우에 약 35% 그리고 Ni 함량이 11.6%과 13.0%인 경우에 약 20%~25% 정도로 Ni 함량의 증가에 따라 접촉면적이 크게 감소하는 것을 알 수 있다.

이상에서와 같이 Ni 함량이 낮은 도금강판의 경우는 딥 드로잉 변형모드의 자동차용 패널성형을 위한 스탬핑 공정에서 저, 중점도의 윤활유를 사용

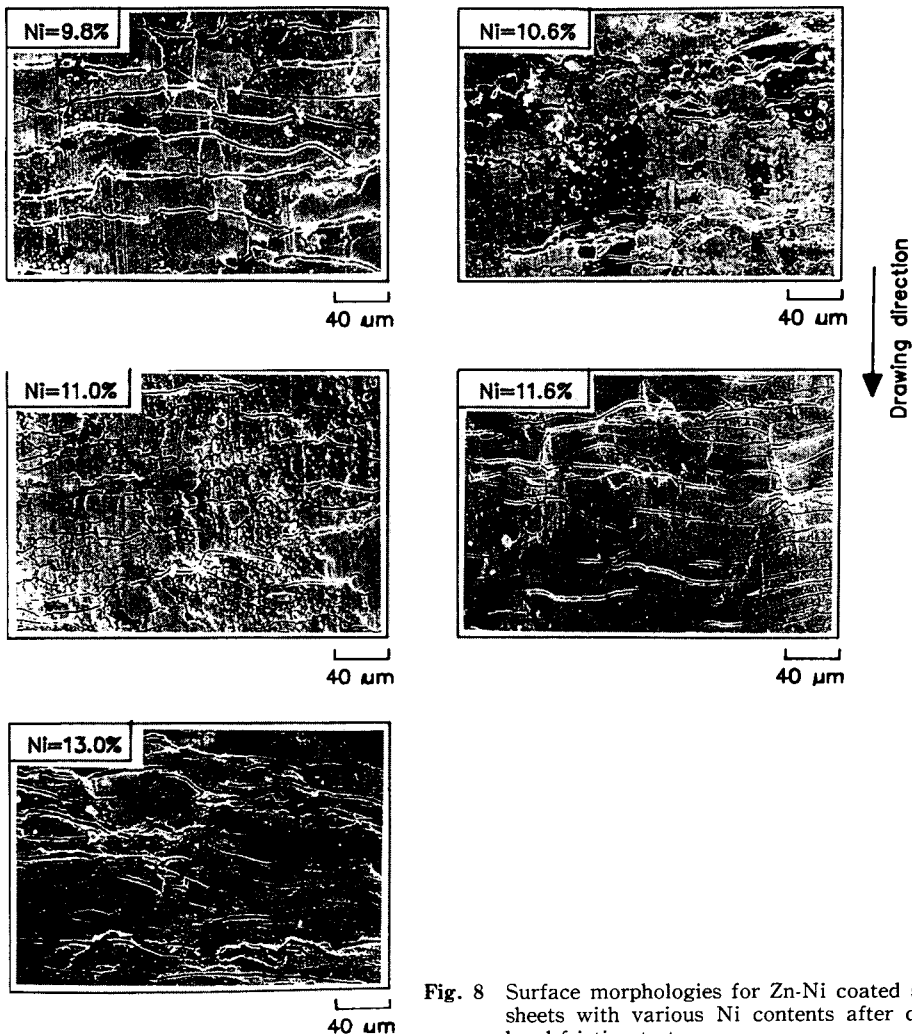


Fig. 8 Surface morphologies for Zn-Ni coated steel sheets with various Ni contents after draw bead friction test

하는 경우에 다이면에서 과다한 마찰저항의 발생으로 패널 벽 부위에서 파단발생 가능성이 높게 된다. 통상 스탬핑 금형은 다이 트라이 아웃(die try-out) 공정에서 일반 냉연강판의 최적 성형조건에 맞도록 조정되어 있으므로 생산성을 향상시키기 위해서는 가공조건 변경없이 냉연강판과 Zn-Ni 도금강판을 동일한 스탬핑 조건으로 성형하는 것이 바람직하다. 따라서 Zn-Ni 도금강판과 냉연강판이 동일한 기계적 성질을 갖는 경우에 도금강판의 마찰특성은 냉연강판과 동등의 수준으로 유지되어야 하므로 도금층 중의 Ni 함량이 약 11.0% 이상으로 하는 것이 요구된다.

스탬핑공정에서 사용되고 있는 4종류의 윤활유에 대한 Ni 함량별 마찰특성을 Fig. 9에 나타내었다.

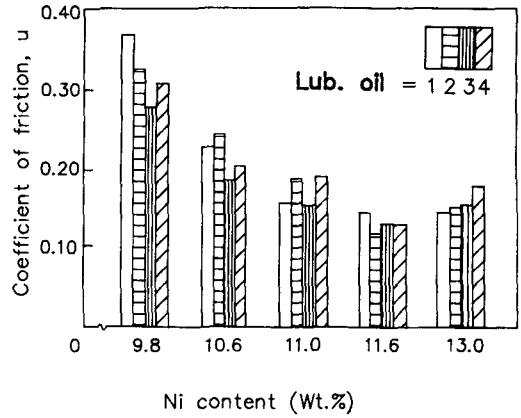


Fig. 9 Effect of lubricant on friction coefficient of Zn-Ni coated Steel sheet with various Ni contents

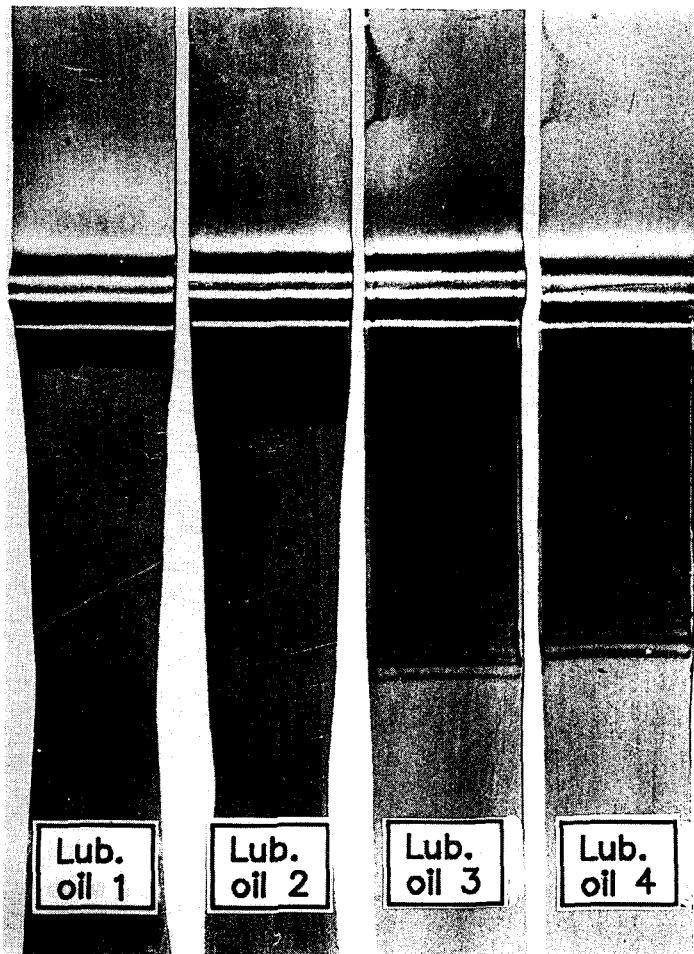


Fig. 10 Showing an effect of lubricant oil on deformed specimens shape for Ni=9.8%

본 실험에서 사용한 윤활유 종류에 관계없이 Ni 함량이 낮아질수록 마찰계수가 크게 증가하고 있음을 보인다. 한편 Ni 함량이 낮아질수록 윤활유 종류에 따른 마찰계수의 변화의 폭이 커지고 Ni 함량이 높아질수록 변화의 폭이 작아짐을 알 수 있다. 윤활유에 대한 마찰계수의 변화의 폭은 윤활유 3의 경우가 가장 작고 윤활유 3 < 윤활유 4 < 윤활유 2 < 윤활유 1 순으로 커지는 것을 알 수 있다. 본 실험에 사용한 윤활유의 경우에는 윤활유 3의 경우가 마찰계수가 전반적으로 낮고 도금층 중의 Ni 함량의 변화에 대해 마찰계수의 변화 폭이 작아 안정된 마찰특성을 보이고 있다. 본 연구에서는 스템핑 공정에서 사용되고 있는 용제 회석형 및 중점도의 윤활유 4종에 대한 Zn-Ni 도금강판의 마찰특성을 평

가한 것으로써 윤활유의 종류에 따른 마찰특성의 차이 규명을 위해 윤활기유나 첨가제 성분특성 그리고 다이재질과의 친화력 등에 대하여 보다 면밀한 고찰이 필요하다.

Fig. 10과 Fig. 11은 각각 Ni 함량이 9.8%와 11.6%인 도금강판에 대해 고정 비드를 이용한 마찰실험 후의 시편의 형상을 나타낸다. Ni 함량이 9.8%로 낮은 도금강판의 경우 (Fig. 10)는 마찰계수가 큰 윤활유 1과 윤활유 2에서 드로오 비드 다이와 강판 사이에 과다한 마찰저항이 작용하여 강판이 거의 인발되지 않고 드로오 비드 다이를 통과하지 않은 부위에서 넥이 발생하고 있는 반면 Ni 함량이 11.6%인 도금강판의 경우 (Fig. 11)는 윤활유의 종류에 무관하게 넥 발생없이 원활한 인발

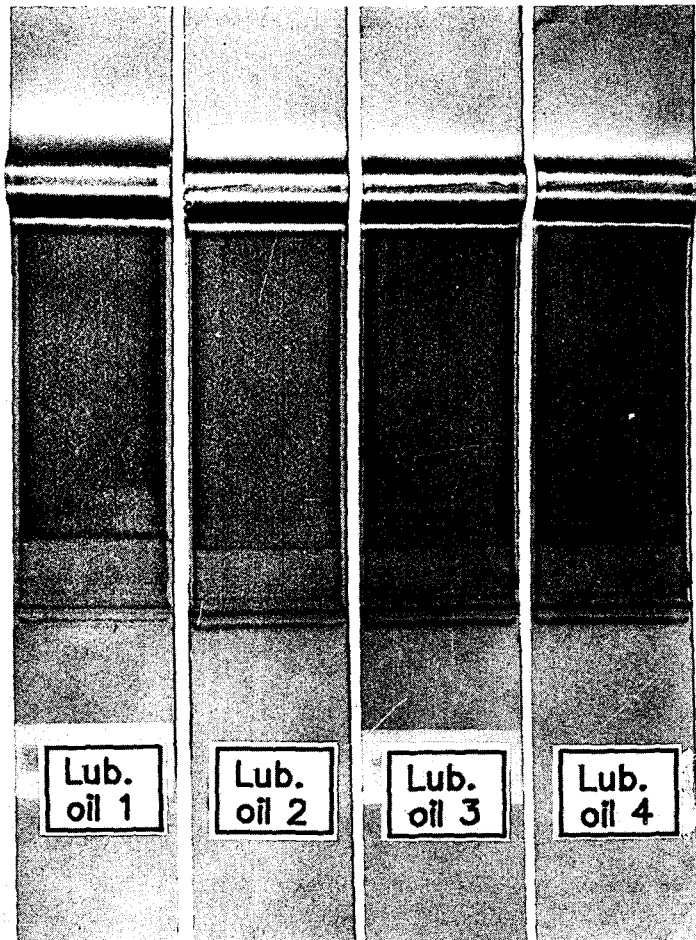


Fig. 11 Showing an effect of lubricant oil on deformed specimens shape for Ni=11.6%

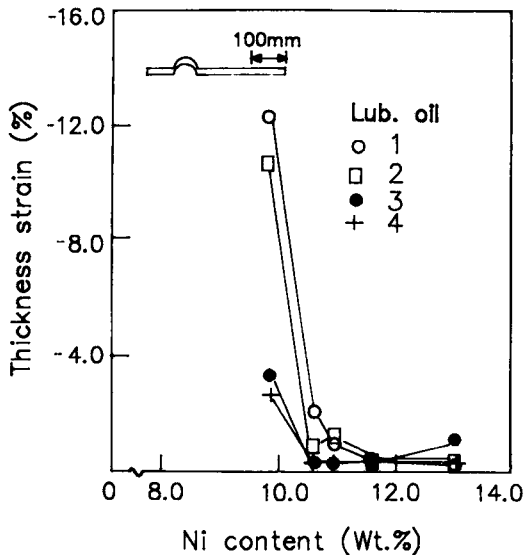


Fig. 12 Effect of lubricant oil on thickness strain of Zn-Ni coated steel sheet with various Ni contents

이 이루어진 것을 알 수 있다.

Fig. 12는 상기 시편들에 대하여 하단의 인발적으로부터 100mm지점에서 두께방향 변형률을 측정된 결과이다. Ni 함량이 10.6% 이상에서는 윤활유의 종류에 관계없이 두께변형률이 약 2.0% 미만으로 거의 두께변형이 없이 인발되고 있다고 볼 수 있으나 Ni 함량이 9.8%로 낮은 경우에는 윤활유 1과 윤활유 2의 경우에 벡 발생에 의해 두께 변형률이 매우 크다.

4. 결 론

자동차용 Zn-Ni 합금 전기도금강판의 Ni 함량에 따른 표면특성이 마찰 및 윤활특성에 미치는 영향을 규명하기 위한 연구를 통하여 얻어진 주요 결과는 다음과 같다.

(1) Zn-Ni 합금 도금강판은 도금층 중의 Ni 함량에 따라 도금층의 표면특성-도금층의 상, 도금층의 경도, 표면형태 등이 상이한 특징을 갖고 있다.

(2) Ni 함량이 10.6% 보다 낮아질 수록 도금층 중에 연질인 η 상 및 δ 상의 존재가 많아져 도금층의 경도가 낮아지고 표면거칠기가 상당히 거칠어진다.

(3) Zn-Ni 도금강판의 마찰계수는 도금층의 표면특성에 따라 변한다.

(4) Ni 함량이 낮은 도금강판은 다이의 가압 및 상대 미끄럼에 의해 도금층과 다이의 직접접촉 면적이 증가하여 마찰계수가 커진다.

(5) Ni 함량이 낮은 도금강판 일수록 마찰계수가 윤활유의 종류에 따라 민감하게 변하고 Ni 함량이 11.0% 보다 높은 경우에는 윤활유에 대한 영향은 크지 않다.

(6) 본 실험에 사용한 윤활유 중에서 윤활유 3이 전반적으로 낮은 마찰계수를 갖고 도금층 중의 Ni 함량 변화에 대해 안정된 마찰특성을 보였다.

참고문헌

- (1) Meuleman, D.J. and Eoldak, J.J., 1986, "The Interactions of Coated Steels, Die Materials and Forming Lubricants," SAE Paper No.860432.
- (2) Lewis, L.L. and Murray, M., 1984, "Effect of Die Hardness and Lubrication on Stamping Performance of Galvanized Steel Sheet," SAE Paper No. 840368.
- (3) 김영석, 남재부, 최원집, 1990, "자동차용 표면처리강판의 마찰특성에 관한 연구", 대한기계학회 논문집, Vol.14, No.6, p.1474.
- (4) 김영석 외, 1989, "자동차용 강판의 표면특성이 가공성에 미치는 영향 연구", 산업과학기술연구소 연구결과보고서, Code 9037A.
- (5) Irie, T., 1990, "Development of Zinc Based Coatings for Automotive Sheet Steel in Japan," Zic-Based Coating Systems: Metallurgy and Performance, Edited by Drauss, G. and Matlock, D.K., The Minerals, Metals & Materials Society, p. 143.
- (6) Kimoto, M., et al, 1989, "Sliding Lubricity of Zn-Ni Alloy Electroplated Steel Sheets," J. of the JSTP, Vol.30, No.347, p.1639.
- (7) Nine, H.K., 1978, "Drawbead Forces in Sheet Metal Forming," Mechanics of Sheet Metal Forming, Edited by Koistinen, D.P. and Wang, N.M., Plenum Press, p.179.
- (8) Keeler, S.P. and Dwyer, T.W., 1986, "Frictional Characteristics of Galvanized Steels Evaluated with a Draw Bead Simulator," SAE Paper No. 860433.
- (9) yasuda, A., Yasuda, K., Tobiyama, Y., Isobe,

- M. and Yamato, K., 1989, "Qualities of Galvannealed Steel Sheet with Fe-P Coating for Automotive Use," Proc. of Int. Conf. on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet (GALVATECH), Tokyo, p. 321.
- (10) Wanheim, T. and Bay, N., 1978, "A Model for Friction in Metal Forming Process," Ann. of CIRP, Vol.27, p.189.
- (11) Bowden, A.P. and Tabor, D., 1964, "The Friction and Lubrication of Solids," Oxford Press, Part II.
- (12) Shaffer, S.J., Philip, A.M. and Morris, J.W., 1989, "The Micromechanisms of Surface Friction in Zinc electrogalvanized Steel Sheets," Proc. of Int. Conf. on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet (GLVATECH), Tokyo, p.338.
- (13) Rangarajan, V., 1989, "Effects of Coating Properties on the Formability of Coated Sheet Steels," Ph.D thesis, Colorado School of Mines, Golden, Colorado.