

## 아연/아연합금계 이중 전기도금강판의 품질특성

김 영 근

포항종합제철(주) 기술연구소 광양압연연구팀

### The Characteristics of Qualities of Differential Electroplated Steel Sheets

Young-Geun Kim

Kwangyang Rolling Products Research Team, POSCO Technical Research Labs., Kwangyang 545-090

The differential electroplated steel sheets(DESS) are composed of zinc on one side and Zn-Fe or Zn-Ni on the other are developed. The following results are obtained through the test of the formability, welderbility and corrosion resistance. The friction coefficient value of the DESS is ranged from 0.14 to 0.15, having the mean value of Zn and Zn-Fe alloy electroplated steel sheets. The DESS have the same tensile shear strength 340 Kgf as that of cold rolled steel sheets if they have the welding current of 8KA and 10 cycle welding time. The nugget size of DESS is also similar to that of Zn-Fe alloy electroplated steel sheets. If Zn-Fe or Zn-Ni alloy electroplated side of the DESS is applied as an outer side of car body outer panels and the Zn side of the DESS is applied as an inner side of outer panels, the anti-perforation can be improved with the sacrificial coatings of zinc.

### 1. 서 론

자동차용강판의 부식형태는 크게 2가지로 나뉘어 진다. 하나는 주행중 차체 외판의 도장면에 작은 돌이나 모래 등의 외부충격에 의해 도막이 손상을 입으므로서 형성되는 도막하 표면 부식이고 다른 하나는 강판의 접합부 내면에 먼지나 염분을 함유한 수분이 침입하므로서 발생한 부식이 외측까지 진행하는 경우의 구멍부식이다. 구멍부식은 차체의 hem부와 같이 인산염 피막이 형성되지 않고 전착도장도 불충분한 강판의 내외판이 서로 접합된 부위에 수분이나 염분이 스며들어 누적되므로서 생기는 비교적 습한 상태에서의 부식으로 산소농담전지에 의한

부식이 지배적<sup>1)</sup>이라고 알려져 있다.

따라서 자동차용강판의 내식성을 향상시키기 위하여 여러가지 표면처리강판이 개발되어 실용화 되었는데 그 중에서 현재 상용화되어 있는 강판으로는 아연 및 아연계 합금도금강판을 들 수 있다. 아연도금강판은 철에 대한 희생방식력이 뛰어나고 표면이 미려하지만 내 표면부식성,<sup>2-6)</sup> 용접성<sup>7)</sup> 및 가공성은<sup>8-12)</sup> 아연계 합금도금강판보다도 열세이다. 반면 Zn-Ni도금강판은 도금층의 미세균열로 인하여 내 구멍부식성 및 내 표면흡집성에 대하여 열세를 보이고 있으며, Zn-Fe합금도금강판의 내식성은 아연도금강판과 Zn-Ni도금강판의 중간정도를 나타낸다. 이들의 부식전위( $i_{corr}$ )는 Zn-Ni(Zn-Fe/Zn)의 순으로 나

타나기 때문에 도금층의 용해속도 측면에서는 아연보다 귀한 금속을 아연과 합금조성으로 하는 강판이 우수한 특성을 가진다.<sup>13)</sup> 프랑스 SOLLAC에서는 '95년에 자동차용강판의 내식성 향상을 목적으로 한면에는 Zn을 그리고 다른 한면에는 Zn-Ni 혹은 Zn-Ni 도금층 위에 유기피복을 코팅하여 평가한 결과 내식성, 용접성 및 가공성 등의 품질특성과 생산 용이성이 기존 양면 아연도금강판 보다도 우수하다는 것을 보고하였다.<sup>13)</sup>

이와같이 양면이 서로 다른 이종의 금속을 하나의 강판상에 동시에 전기도금할 수 있는 연속도금조는 서로 다른 용액을 각각의 도금조에 별도로 공급할 수 있고 편면도금이 가능한 CAROSEL 설비에서만 가능하다. 따라서 CAROSEL 설비를 이용하여 Zn-Fe/Zn나 Zn-Ni/Zn을 도금하므로써 기존 단일종의 양면도금강판이 가지는 단점을 보완한 전기도금강판의 개발이 가능하며 본 연구에서는 상기와 같은 이종금속의 전기도금강판을 자체 제작하여 기존의 동일 양면제품과 가공성, 용접성 및 내식성의 품질을 비교평가 하였으며 이를 기초로 아연/아연합금계 이종 전기도금강판의 적정조건을 도출하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 전기도금실험

도금용 소재는 0.7mm 두께의 냉연강판(YS 18.2Kg/mm<sup>2</sup>, TS 30.3Kg/mm<sup>2</sup>, El 48%)이었고 이것을 100mm×200mm에 도금될 수 있도록 적당한 크기로 절단하였으며, 전처리 과정인 탈지와 산세를 거친후 Fig. 1에 나타낸 장치를 이용하여 Table 1의 조건으로 도금을 실시하였다. 양극은 도금종류에 관계없이 음극과 같은 크기이고 두께가 10mm인 아연판을 사용하였다. 도금부착량을 조절하기 위하여 전류밀도는 일정하게 두고 시간을 조절하므로써 도금종류에 따라 10~60g/m<sup>2</sup>까지 변화시켰으며 용액의 유속은 모두 2m/sec로 일정하게 유지하였다. 아연과의

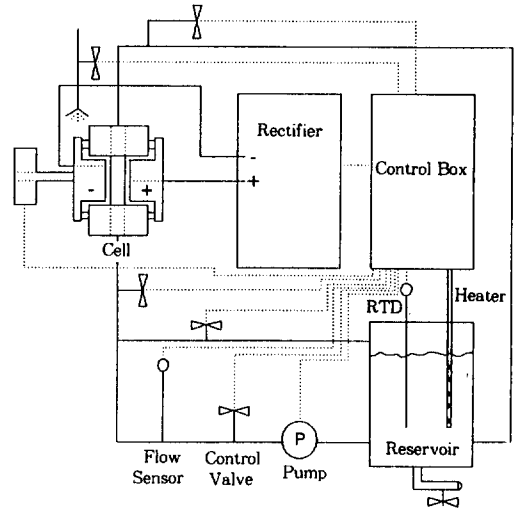


Fig. 1. Schematic diagram of electroplating apparatus.

Table 1. Bath composition and plating conditions

Mode	Bath composition	Plating conditions
Zn	Zn <sup>2+</sup> :80g/l Cl <sup>-</sup> :240g/l Brightener:0.1ml/l	Current density:60A/dm <sup>2</sup> Temp.:55℃ pH:4.5 Coated weight:20~60g/m <sup>2</sup>
Zn-Fe	Zn <sup>2+</sup> :65g/l Fe <sup>2+</sup> :11g/l Cl <sup>-</sup> :240g/l Brightener:2.0ml/l	Current density:60A/dm <sup>2</sup> Temp.:55℃ pH:2.0 Coated weight:10~40g/m <sup>2</sup>
Zn-Ni	Zn <sup>2+</sup> :78g/l Ni <sup>2+</sup> :12g/l Cl <sup>-</sup> :290g/l Brightener:0.5ml/l	Current density:80A/dm <sup>2</sup> Temp.:60℃ pH:2.5 Coated weith:10~40g/m <sup>2</sup>

이종금속을 도금할 경우에는 먼저 Zn-Fe나 Zn-Ni과 같은 합금도금을 실시하고 반대면에 아연도금을 실시하므로써 먼저 도금된면을 도금액으로 부터 보호하였다.

### 2.2 품질특성 평가

#### 2.2.1 가공성 실험

강판의 가공성을 평가하기 위한 실험은 자체 제작한 드로오비이드 마찰시험기에 의한 표면파

찰계수( $\mu$ ) 측정과 컵 드로잉에 의한 최대하중을 측정하여 그 값을 상호 비교평가 하였다. 먼저 표면마찰계수 측정을 위한 드로오비드 실험조건을 Table 2에 나타냈다. 마찰계수 측정은 시편을 30×200mm로 일정하게 절단한 후 시편 가장 자리의 거친부분을 제거한 다음 윤활유(EGL-1 방청유, 점도 28.5cps)를 도포하여 상하 고정비이드를 사용하여 인발하면서 인발하중과 가압하중을 구하고 롤러비이드에 의한 인발하중을 구하였으며 (1)식에 의해 마찰계수를 구하였다.<sup>14)</sup>

$$\text{Friction coefficient}(\mu) = (F_d - R_d) / \pi F_p \quad (1)$$

$F_d$  : Drawing load of fixed bead

$R_d$  : Drawing load of roller bead

$F_p$  : Normal load of fixed bead

강판의 표면특성에 따른 마찰특성의 차이가 실제 가공공정에서 성형성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 도금종류 및 이중금속 도금강판에 대하여 컵 드로잉을 실시하였다. 시험장치는 동경시험제작소에서 제작한 50톤 만능박판성형시험기(USM-50D-02)를 이용하였으며 편치는 직경이 40mm이고 편치와 다이 사이의 간격은 강판의 두께보다 충분히 크게하여 편치와 다이 내부에서 강판에 아이어닝 현상이 일어나지 않도록 하였다. 원형 블랭크의 직경은 84mm로 하였고 블랭크 홀딩력(BHF)은 9.8kN으로 고정시켰으며 편치속도는 500mm/min.로 하였다. 이중금속 도금강판인 경우는 측정하고자 하는 면이 다이와 접촉되도록 윤활유를 도포하여 위로 향하게 놓고 최대하중을 측정하였다.

## 2.2.2 용접성 실험

본 실험에 사용된 용접기는 공기압축식 A.C. 스폿용접기(신일전기, SA-35)로서 최대용량은 17000A이다. Table 3은 시험재의 종류와 접촉방법을 나타낸 것이며 이의 용접조건은 Table 4

Table 2. Experimental conditions for draw bead simulation

Drawing speed : 500mm/min
Lubricant : rust-preventive oil(EGL-1)
Specimen size : 300W×200L(mm)
Drawing length : 60mm
Bead and roller radius : 4.76mm

Table 3. Class and contact process of welding specimen

No.	Contact proc.	No.	Contact proc.
1	CR+CR	6	Z2+F1/Z2
2	Z2+Z2	7	Z4+F4/Z4
3	Z4+Z4	8	Z2+N1/Z2
4	F2+F2	9	Z4+F3/Z2
5	N3+N3	10	Z4+Z2/Z3

\*CR : Cold rolled steel sheet, Z2 : Zn 20g/m<sup>2</sup>, F2 : Zn-Fe 20g/m<sup>2</sup>, N3 : Zn-Ni 30g/m<sup>2</sup>

와 같다. 전단인장강도 측정을 위한 시편의 크기는 25×100mm이며 용접하고자 하는 두 개의 시편을 25mm 지점이 서로 중첩되도록 하여 중간 지점을 스폿용접하였고 용접한 후에는 UTM을 사용하여 5mm/min.로 인장하면서 전단인장강도를 측정하였다. 또한 너겟트 크기는 용접부를 절단한 후 molding하여 연마한 다음 80℃의 피크린산 25g/l와 염산 5ml/용액에 1분간 부식시켜 단면을 관찰하므로써 측정하였다.

## 2.2.3 내식성 실험

실험에 사용한 시편은 CR, Zn, Zn-Fe, Zn-Ni 강판을 부착량 및 도금종류에 따라 서로 적절하게 접촉시킨 동일 양면 및 이중 양면도금강판이다. 시편의 전체 크기는 70mm×100mm이고 마주 보는 면의 30mm×30mm 면적을 제외하고는 페인트로 분사하고 절연테이프를 부착하였으며 측정하고자 하는 30×30mm면은 외면에서 스폿용접하여 두 시편의 접촉을 원활하게 해주었다. 한편 Fig. 2에 나타낸 바와같이 시편의 윗부분은 장치에서 분사되는 용액이 용이하게 시편에 스며들 수 있도록 30mm 지점을 45°로 균

Table 4. Welding conditions

Welding current : 5, 6, 7 8 KA
Welding time : 10cycle
Load : 250Kgf
Holding time : 20cycle
Electrode type : CF
Tip size of electrode : 6mmφ

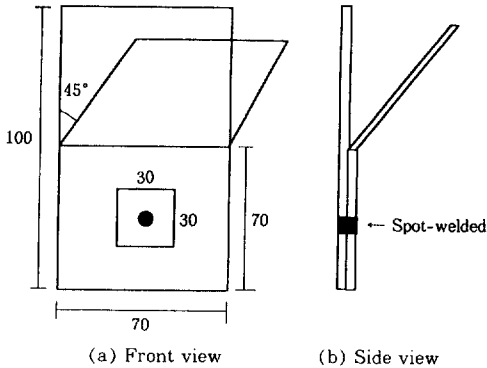


Fig. 2. Configuration of CCT specimen(in mm).

일하게 구부렸으며 CCT장치(ITABASHI사, TQ-3)를 이용하여 Table 5에 나타낸 조건으로 내 구멍부식성을 시험하였다.<sup>15-17)</sup> CCT가 완료된 시편에 대한 도금층의 최대 부식깊이를 측정하기 위하여 측정부위(30×30mm)만 남기고 절단하여 염산 500ml/l와 핵사메틸렌 3.5g/l를 혼합한 24℃ 용액에 20분간 침지하여 소지철의 부식생성물을 완전히 용해시켰다. 그 다음 포인트 마이크로메타를 이용하여 부식이 심한 3~4개 부위에 대하여 한 부위당 10 포인트 이상 각각 30 포인트 이상의 부식깊이를 측정하여 그 중 최대인 부위의 부식깊이를 시편의 두께에서 빼주고 그 값을 최대 부식깊이로 취하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 도금층의 조직 및 조도

Fig.3은 Table 1에 나타낸 육조성 및 도금조건으로 도금한 강판의 표면을 주사전자현미경으로 관찰한 것이다. 일반적으로 육조성 및 도금

Table 5. CCT conditions

→ Salt spray	35℃ 5% NaCl	4hr
↓	Humidify	50℃ RH 95% 18hr
↓	Cooling	-23℃ 1.5hr
↓	Drying	70℃ RH 30% 6hr
↓	Dipping(water)	40℃ 16.5hr
↓	Cooling	℃23℃ 2hr

조건이 일정한 상태에서 부착량을 변화시키면 일정량까지는 부착량 증대에 따라 결정립이 약간 조대해 지는 경향을 가진다. Fig.3에서 볼 수 있는 바와같이 어느 도금층의 경우도 저부착량에 비하여 높은 부착량을 가지는 도금층의 조직이 약간 조대해 졌다. 이는 저부착량인 경우는 도금시간이 짧기 때문에 핵의 성장 보다는 생성속도가 상대적으로 빠르기 때문에 나타나는 현상이다. Zn-Fe는 10g/m<sup>2</sup>인 경우가 40g/m<sup>2</sup>에 비하여 결정립은 미세하나 유속방향으로 도금층에 굴곡이 보이며, Zn-Ni은 둥근 형태의 결정립을 가지고 있으며 역시 낮은 부착량에서는 미세하나 높은 부착량에서 조대해졌고 도금층의 내부응력이 크기 때문에 부착량에 관계없이 미세균열이 다량 존재하고 있다. 합금도금층의 조성은 Zn-Fe가 18.4wt.%Fe를 나타냈으며 Zn-Ni은 부착량에 따라 약간의 차이는 있으나 약 10.6wt.%의 Ni을 함유하였다.

Fig. 4는 소지인 냉연강판(CR)과 도금강판의 부착량에 따른 표면조도를 나타낸 것으로 도금강판에서 “Z2”는 Zn 20g/m<sup>2</sup>을, “F1”은 Zn-Fe 10g/m<sup>2</sup>, “N1”은 Zn-Ni 10g/m<sup>2</sup>을 각각 의미한다. CR의 조도가 1.22를 나타내고 Zn-Fe는 Ra 0.94~0.98, Zn-Ni은 Ra 1.03~1.1, 순수 Zn은 Ra 1.09~1.31을 각각 나타내고 있다. 조도의 크기 순서는 Zn > CR > Zn-Ni > Zn-Fe로 나타났으며 부착량에 따른 영향은 Zn 60g/m<sup>2</sup>에서인 소지강판 보다 큰 Ra 1.31로 나타났고 나머지는 모두 CR강판 보다 작은 조도를 나타냈다.

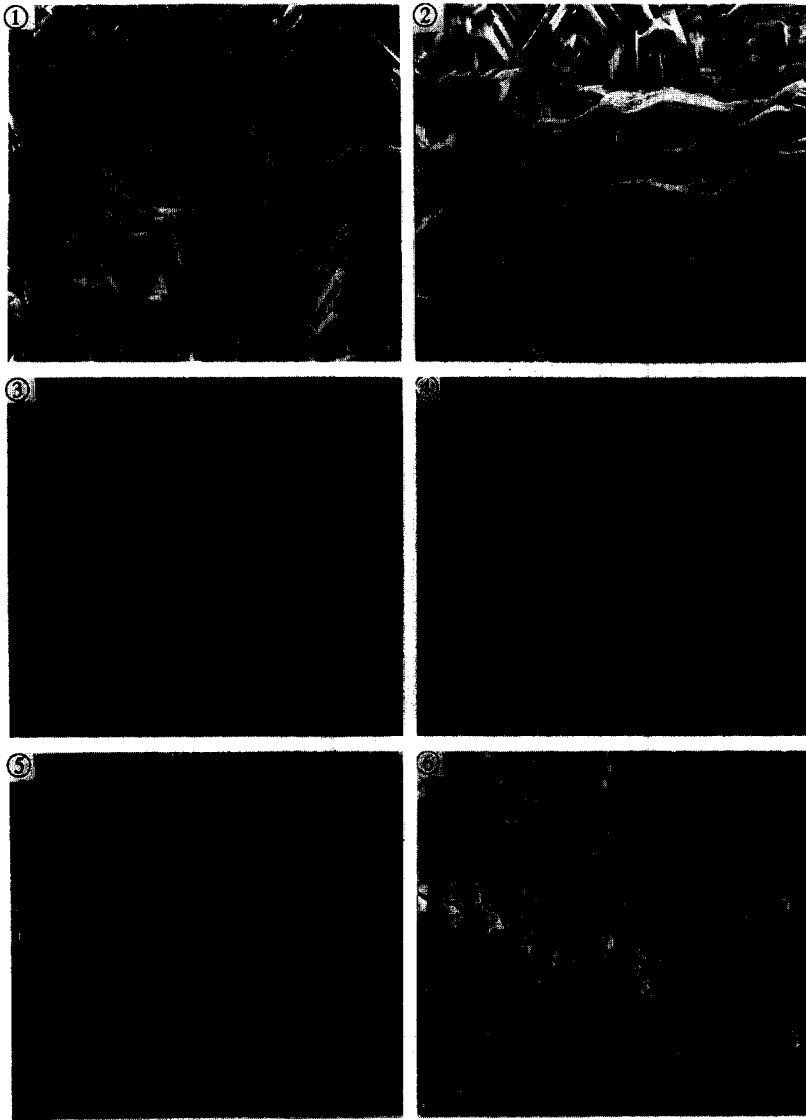


Fig. 3. SEM surface morphologies of Zn, Zn-Fe and Zn-Ni electroplated steel sheets with coating weight. ① Zn 20g/m<sup>2</sup>, ② Zn 60g/m<sup>2</sup>, ③ Zn-Fe 10g/m<sup>2</sup> ④ Zn-Fe 40g/m<sup>2</sup>, ⑤ Zn-Ni 10g/m<sup>2</sup> ⑥ Zn-Ni 40g/m<sup>2</sup>.

### 3.2 가공성

Fig. 5는 드로오비이드 마찰실험을 통하여 CR 및 동일 양면도금강판에 대한 표면마찰계수의 측정결과를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와같이 CR강판과 합금도금강판의 마찰계수는 부착량에 관계없이 약 0.16~0.17을 나

타내고 있으나 아연도금강판은 부착량에 따라 증가하는 경향을 가지며 0.12~0.13의 상대적으로 낮은 마찰계수를 나타내고 있다. 강판의 표면마찰계수에 영향을 미치는 인자로는 윤활유, 표면경도 및 조도, 인발속도, 다이의 가압력 등을 들 수 있으며 아연도금층과 같이 표면이 연질인 재료의 마찰계수는 외부 인자에 의해 영향

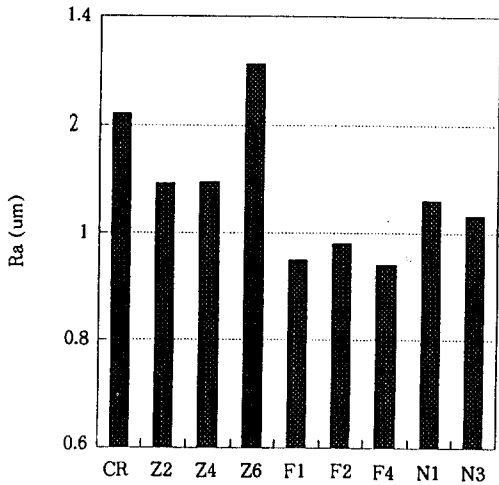


Fig. 4. Surface roughness of CR and both sides electroplated steel sheets with coating weight.

을 크게 받는다. 즉 표면이 연질인 재료는 다이의 가압력이 증가한다거나 가압력이 일정하여도 인발속도가 증가하면 마찰특성은 유체윤활이나 혼합윤활(유체윤활+경계윤활)적인 거동을 하기 때문에 마찰계수가 크게 감소하는 경향을 가지나 표면이 경질인 재료는 가압력이나 인발속도가 마찰계수에 미치는 영향이 적다.<sup>8)</sup> 따라서 아연도금층의 마찰계수가 가장 낮은 이유는 중간 정도의 점도(28.5 cps)를 가지는 방청유의 사용과 500mm/min.의 비교적 빠른 인발속도에 의하여 도금층의凸부가 쉽게 평탄해지면서 다이와의 접촉부위가 서로 연결되어 윤활유가 凹부에 유입되기 쉽기 때문에 혼합윤활 작용에 의해 마찰계수가 감소한 것으로 생각된다.

Fig. 6은 한면은 Zn, 반대면은 Zn-Fe나 Zn-Ni의 합금도금층으로 구성된 이중의 양면 도금강판에 대한 표면마찰계수의 측정 결과이다. 도금강판의 종류나 부착량에 관계없이 약 0.14~0.15의 마찰계수를 나타내는데 이 값은 양면 아연도금보다는 높고 합금도금강판보다는 낮은 단일종의 양면도금강판에 대한 중간 값을 나타내고 있다. 이는 아연도금층으로 이루어진 한면은 혼합윤활 작용을 하고 합금도금층은 경계윤활 작용을 하기

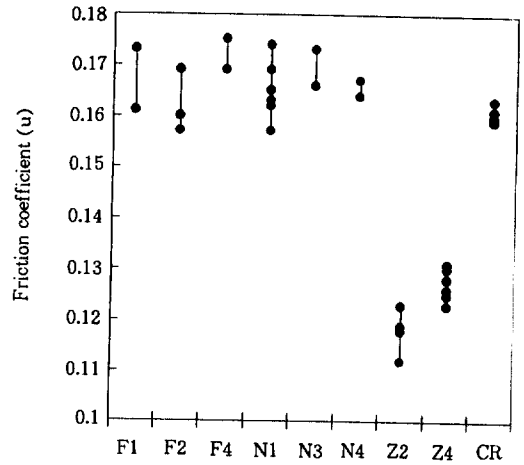


Fig. 5. Friction coefficient of both sides coated sheet with coating weight(Lubricant : rust-preventive oil, Drawing rate : 500mm/min).

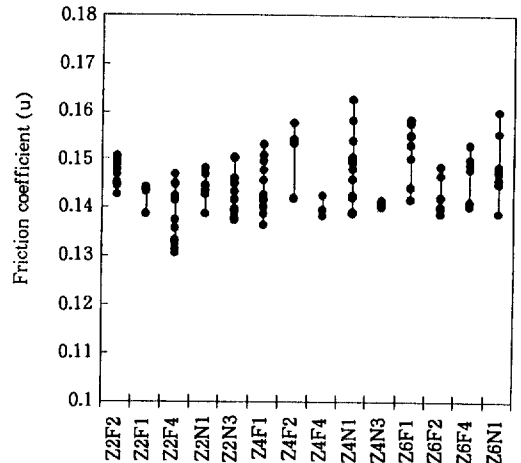


Fig. 6. Friction coefficient of both side differential electroplated steel sheets.(Lubricant : rust-preventive oil, Drawing rate : 500mm/min).

때문에 중간 값을 갖는다고 생각된다.

Fig.7은 CR강판과 동일 양면도금강판에 대하여 가공윤활유를 사용하여 블랭크 홀딩력 9.8 KN(1ton), 펀치속도 500mm/min.로 컵 드로잉을 하면서 측정한 최대인발하중을 나타낸 것이다. Zn-Ni 합금도금강판은 컵이 성형되기 전에

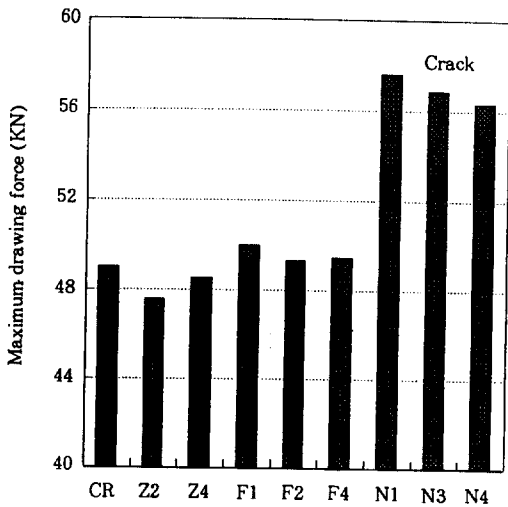


Fig. 7. Maximum drawing force of both side coated sheets with coating weight(Lubricant : Drawing oil, BHF : 9.8KN, Punch speed : 500mm/min).

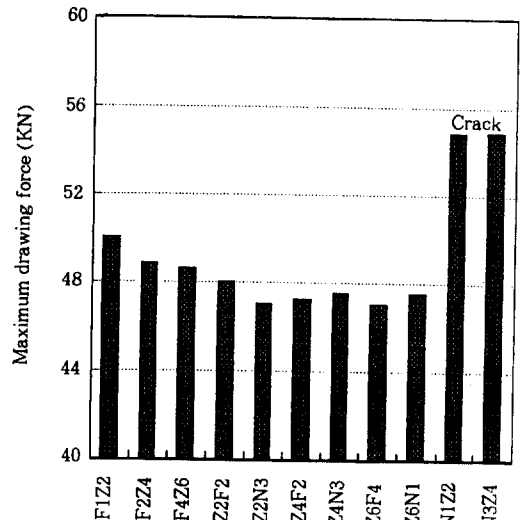


Fig. 8. Maximum drawing force of differential electroplated steel sheets(Lubricant : Drawing oil, BHF : 9.8KN, Punch speed : 500mm/min).

이미 균열이 발생하였는데도 최대하중이 56KN을 넘어 다이와의 마찰하중이 가장 큰 것으로 나타났고 다음이 Zn-Fe, CR, Zn 순으로 마찰이 작은 것을 알 수 있다. 드오로비이드 마찰시험기를 이용한 표면마찰계수는 재료의 재질이나 크기(두께, 폭) 등은 배제되고 단순히 표면의 마찰특성만이 고려되지만 컵 드로잉은 표면의 마찰은 물론 소지금속의 재질, 시편크기 등에 의해서도 크게 영향을 받기 때문에 단순 표면마찰계수와는 차이가 있다. 따라서 앞에서 언급한 바와같이 CR강판과 합금도금강판의 표면마찰계수는 유사한 값을 가지지만 컵 드로잉에서는 Zn-Ni 도금층이 가장 큰 최대인발하중을 나타내는 것은 시험한 강판 가운데 Zn-Ni은 내부용력 및 경도가 가장 크기 때문에 소재가 변형하려고 하는 것에 대하여 저항체로 작용하고 이로 인하여 소재의 인장강도는 상승하고 연신율은 떨어지기 때문이다. 본 실험에서 동종의 양면도금강판에 대한 인장실험 결과 Zn과 Zn-Fe는 거의 소재인 CR강판과 유사한 값을 나타냈으나 Zn-Ni만이 인장강도는 CR보다 0.6Kg/mm<sup>2</sup> 정

도 상승하였고 연신율은 3~6% 감소하였으며 부착량에 따라 그 폭이 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 Zn-Ni은 도금층의 Ni함량이 11wt.% 이상 되지 않으면 도금층에 연질의  $\eta$ 상이 존재하기 때문에 다이와의 접촉면적이 증대하면서 마찰계수가 커지는 것으로 알려져 있다.<sup>14)</sup>

Fig. 8은 한면은 Zn, 반대면은 합금도금층으로 구성된 이중금속 도금강판에 대한 컵 드로잉시 최대인발하중을 나타낸 것이다. 그림에서 "F1Z2"인 경우 다이와 접촉하는 면이 Zn-Fe 10g/m<sup>2</sup>이고 펀치와 접하는 면이 Zn 20g/m<sup>2</sup>을 의미하는 것으로 Zn이 다이와 접촉하는 경우에서 반대면의 도금종이나 부착량에 관계없이 최소하중 값을 나타내고 Zn-Fe 도금층이 다음으로 높은 값을 가지며 Zn-Ni이 다이와 접촉하는 강판에서만 부착량에 관계없이 모두 균열이 발생하였으며 최대하중도 55KN으로 가장 높게 나타났다. 그러나 Zn-Ni도 양면이 동일한 경우는 최대하중이 모두 56KN을 넘었으나 반대면에 아연도금층으로 구성된 이중도금인 경우는 동일양면재 보다 낮은 최대인발하중을 나타내는 것

으로 미루어 다이와 접촉하는 면만이 마찰에 영향을 미치는 것이 아니고 펀치와 접촉하는 면도 마찰에 약간 영향을 주는 것을 알 수 있다.

지금까지 살펴본 동일양면 및 이중양면 도금강판에 대한 표면마찰계수 및 최대인발하중은 아연양면, 이중양면, 동일양면 합금도금강판 순으로 작게 나타나 아연을 한면으로 하는 이중금속도금강판의 마찰특성은 중간 정도의 우수성을 가지는 것으로 평가되었다.

### 3.3 용접성

스프팅용접은 저항발열을 이용하여 금속의 접합을 행하는 저항용접이며 용접시 가장 크게 저항으로 작용하는 인자는 피용접물 상호간의 접촉에 의해 발생하는 저항이다. 그리고 피용접물이 가지는 고유저항은 순수한 금속일 수록 작고 불순물이 혼합되던가 합금이 되면 저항치는 증가하며 강간과 같이 온도가 증가해도 저항치가 거의 변화없는 특수한 경우를 제외하고는 모든 금속이 온도가 증가하면 저항치도 함께 증가하는 경향을 가진다. 철의 고유저항은  $10\mu\Omega\text{-cm}$ 인 반면 아연은  $5.75\mu\Omega\text{-cm}$ 를 가지며 열전도율은 철이  $0.18\text{cal/cm.sec.}^\circ\text{C}$ 이고 아연이  $0.27\text{cal/cm.sec.}^\circ\text{C}$ 를 나타낸다.<sup>7)</sup> 따라서 소지인 철과 아연도금층 및 합금도금층에 대하여 열전도율을 상호 비교하면 아연도금층>합금도금층>소지철의 순서로 크고 고유저항은 역순인 것을 예측할 수 있다.

Fig. 9는 용접시간 10cycle 및 가압력 250Kgf는 일정하게 하고 용접전류를 변화시키면서 측정된 CR강판 및 동종의 양면도금강판에 대한 전단인장강도를 나타낸 것이다. 모든 강판이 용접전류가 증가함에 따라 강도도 증가하는 경향을 가지며 전류가 증가함에 따라 CR강판과 도금강판 사이의 강도 차이가 좁아져 전류 8KA에서는 모두 약 340Kgf/spot의 용접강도를 나타내고 있는 것을 볼 수 있다. 특히 CR강판은 용접전류가 가장 낮은 5KA에서도 230Kgf의 높은 강도를 나타내지만 부착량  $40\text{g/m}^2$ 인 아연도금

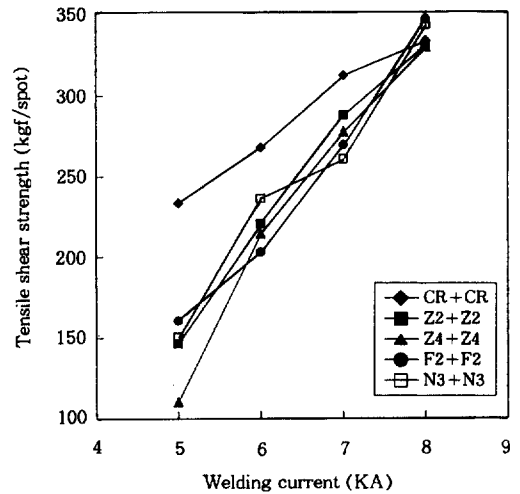


Fig. 9. Effect of welding current on tensile shear strength of CR and both sides coated sheets (Welding time : 10 cycle).

강판이 110Kgf 정도의 가장 낮은 것을 제외하고는 나머지 도금강판은 용접전류에 관계없이 유사하게 150Kgf의 값을 나타내고 있다. 용접전류가 낮으면 순간적인 발열량이 적어 접촉하고 있는 피용접물의 고유저항이나 열전도도에 의해 용접특성이 지배되기 때문에 도금강판의 경우 용접강도가 낮게 나타나나 용접전류가 8KA로 증가하면 접촉면의 도금층이 높은 열에 의해 순간적으로 용해증발되어 그 때 부터는 모재의 성질에 따라 용접특성이 결정되기 때문에 모든 강판이 동일한 용접강도를 나타내는 것으로 생각할 수 있다.

Fig. 10은 아연양면재와 이중금속 도금강판을 상호 접촉시킨 상태에서 용접전류의 변화에 따른 용접부 전단인장강도를 측정된 결과이다. 앞의 Fig. 9에서 나타낸 동일 양면도금강판의 용접강도 거동과 유사한 것을 볼 수 있으나 상이한 것은 도금부착량이  $40\text{g/m}^2$ 인 경우만 7KA의 전류에서 약간 낮은 값을 나타내고, 역시 8KA의 전류에서는 모든 강판이 CR강판과 같은 약 340Kgf/spot의 균일한 용접강도를 나타내고 있다.



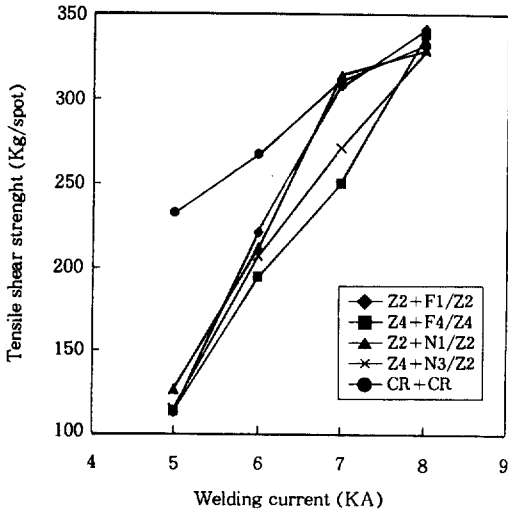


Fig. 10. Effect of welding current on tensile shear strength of CR and differential electroplated steel sheets,

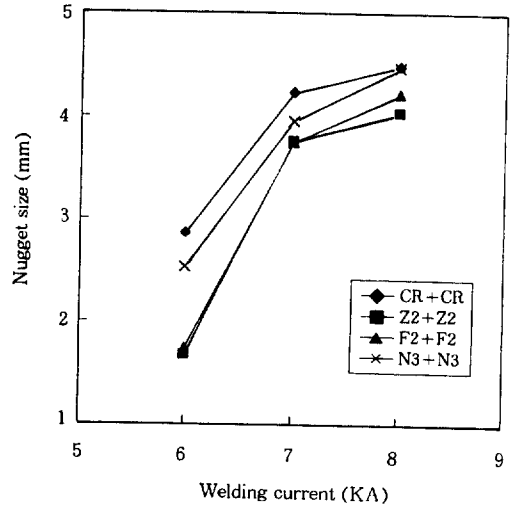


Fig. 11. Effect of welding current on nugget size of CR and both sides coated sheets(Welding time : 10 cycle).

모재의 인장강도가 28~38Kg/mm<sup>2</sup>이고 두께가 0.7mm인 일반강을 본 실험조건으로 용접하였을 경우 7KA 이상의 용접전류에서는 강판의 종류나 접착방법 및 도금부착량에 관계없이 JIS7)에서 제시하는 A급(특별히 강도를 요하는 용접부)의 최소 용접강도 250Kgf을 확보할 수 있고 8KA의 전류를 부여하면 10cycle의 짧은 시간으로도 강판 종류나 접착방법에 관계없이 균일한 용접강도가 확보될 수 있다는 것을 알 수 있다.

Fig. 11은 CR강판과 동일 양면도금재에 대하여 용접시간 10cycle 및 가압력 250Kgf는 일정하게 하고 용접전류를 변화시키면서 너겟트의 크기를 측정 한 것이다. 역시 CR강판의 너겟트가 가장 큰 것을 볼 수 있으며 모든 강판에서 용접전류가 증가하면 너겟트의 직경도 커지고 8KA의 전류에서는 4mm 이상의 크기를 가진다.

Fig. 12는 양면 아연도금강판과 이중금속 도금강판을 상호 접착시킨 상태에서 용접전류를 변화시키면서 측정 한 너겟트 크기를 나타낸 것이다. 앞의 동일양면재와 유사한 거동을 나타내지

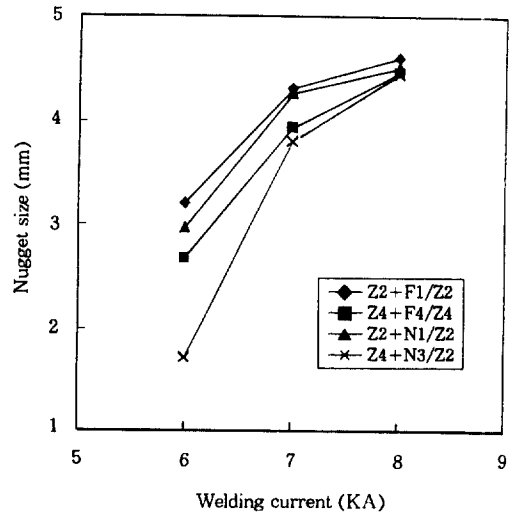


Fig. 12. Effect of welding current on nugget size of differential electroplated steel sheets.

만 도금부착량이 40g/m<sup>2</sup>인 경우에는는 비교적 너겟트 크기가 작지만 전류 8KA에서는 모든 강판의 너겟트 크기가 4mm 이상의 동일한 크기를 나타내고 있다. 용접전류 6, 7KA에서 도금부착량이 많은 경우 너겟트 크기가 작은 것은

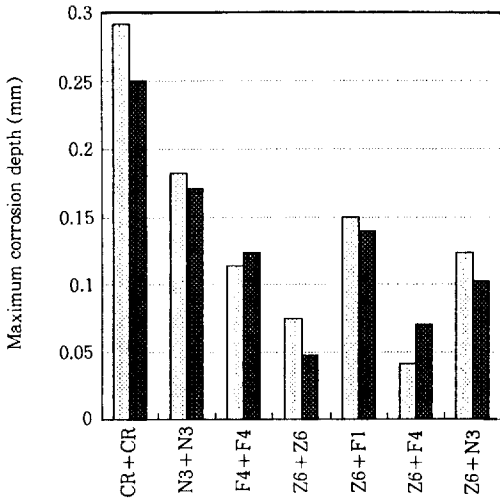


Fig. 13. Maximum corrosion depth of CR and both sides coated sheet after CCT 20 cycles.

용접시 도금층의 전기전도도 및 열전도도가 접촉저항 및 발열량에 영향을 미치기 때문이다. 용접전류에 따른 너겟트 크기도 앞의 판단인장강도 측정결과와 마찬가지로 용접전류 8KA에서는 도금강판의 종류나 접촉방법에 관계없이 안정적인 용접이 가능하다는 것을 알 수 있다.

### 3.4 내식성

Fig.13은 동일 양면도금강판을 상호 접촉시켰을 경우와 양면의 아연도금층과 합금도금층을 접촉시킨 상태에서 내 구멍부식성을 평가하기 위하여 CCT 20cycle 후 최대부식깊이를 측정 한 결과이다. CR강판을 서로 접촉시켰을 경우의 최대부식깊이가 0.25mm 이상인 것에 반하여 동일 양면도금강판은 Zn-Ni 30g/m<sup>2</sup>이 0.17mm, Zn-Fe 40g/m<sup>2</sup>은 0.13mm 그리고 Zn 60g/m<sup>2</sup>은 0.07mm의 순서로 부식깊이가 작은 것을 알 수 있다. 아연 및 아연계합금도금층은 구멍부식과정에서 염기성염화아연(ZnCl<sub>2</sub>·4Zn(OH)<sub>2</sub>), 산화아연(ZnO) 및 무정형물질(amorphous)의 부식생성물이 형성되어 이것이 소지금속인 CR강판을 부식으로 부터 보호하고 일반적으로 도금층의 종

류에 따라 부식생성물의 양과 혼합비율이 달라 지지만 도금부착량이 증대하면 부식생성물의 양도 증가하기 때문에 방청기간이 길어진다.<sup>4)</sup> 또한 아연 및 아연합금도금층의 용해속도는 Zn) Zn-Fe)Zn-Ni의 순서로 크기 때문에 아연이 가장 비하고 Zn-Ni이 가장 귀한 부식전위를 가진다. 따라서 소지 금속인 철과 아연의 전극전위 차이는 -0.32V로 가장 크고 갈바닉전지를 형성하는 부식환경에서 아연은 자신이 전부 용해될 때 까지 소지금속을 보호하는 역할이 크기 때문에 내 구멍부식성에서는 가장 우수한 특성을 가지고 있다. 그러나 아연합금도금층은 소지철과의 부식전위 차이가 작고 자신의 용해속도가 아연보다 느리기 때문에 일단 도금층의 자체부식이 진행되어 소지철이 노출되면 구멍부식으로부터 소지금속을 보호할 수 있는 능력이 떨어진다. 한편 아연도금층은 합금도금층에 비하여 전기화학적으로 비하기 때문에 내 표면부식성에서는 열세를 나타낸다. 다음은 양면재로서 아연도금층과 합금도금층을 상호 접촉시킨 경우에는 아연의 희생방식 작용에 의해 동종의 합금도금층을 접촉시킨 경우 보다 내 구멍부식성이 크게 개선된 것을 볼 수 있다. 동일 양면재인 Zn-Fe 40g/m<sup>2</sup>을 상호 접촉시킨 경우 최대부식깊이가 0.13mm를 나타냈으나 Zn 60g/m<sup>2</sup>과 Zn-Fe 40g/m<sup>2</sup>을 접촉시키면 부식깊이는 0.07mm를 나타내 0.05mm가 감소하였음을 볼 수 있으며 이와 같은 현상은 Zn-Ni의 경우도 마찬가지로 현상으로 나타나고 있다.

Fig. 14는 이종금속 도금강판을 상호 접촉시켜 CCT 20 cycle 실시 후 최대부식깊이를 측정 한 결과이다. 앞의 결과와 마찬가지로 동종의 합금도금층을 접촉시킨 경우 보다 아연도금층과 합금도금층을 접촉시킨 경우에서 최대부식깊이가 감소하여 내 구멍부식성이 우수한 것을 볼 수 있다. 결국 동일 부착량일 경우 CR강판이나 합금도금층을 서로 접촉시키는 것보다 아연도금층과 접촉되도록 하면 아연의 희생방식 작용에 의

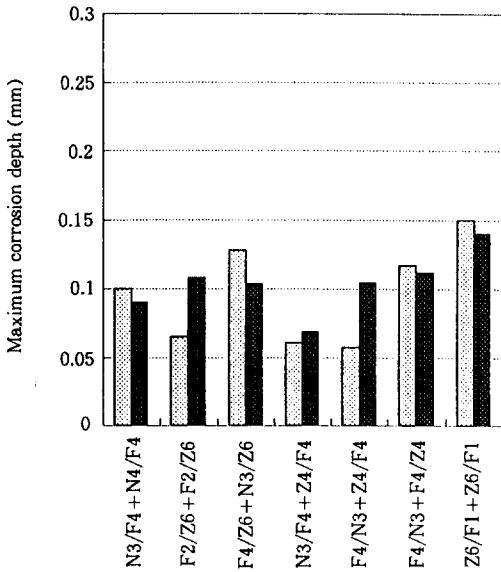


Fig. 14. Maximum corrosion depth of both sides differential electroplated sheets with contact process after CCT 20 cycles.

해 내 구멍부식성이 향상될 수 있다는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

한면은 아연도금층이고 다른 한면은 아연과의 합금도금층으로 이루어진 아연/아연합금계 이중 전기도금강판에 대하여 부착량 및 접촉방법별로 가공성, 용접성 및 내식성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 이중금속도금강판의 표면마찰계수( $\mu$ )는 0.14~0.15로 양면 아연도금강판과 합금도금강판의 중간 값을 가지며 컵 드로잉시 최대인발하중은 다이와 접하는 면에 따라 다르게 나타나 아연도금층이 가장 낮고 Zn-Fe, Zn-Ni 순으로 높게 나타났다.

2) 용접전류 7KA 이하에서는 도금강판의 용접강도가 CR강판 보다 낮으나 용접전류 8KA에서는 도금층의 종류나 부착량 및 접촉방법에 관

계없이 340Kgf/spot의 동일한 용접강도를 나타냈고 너겟트의 크기도 유사하였다.

3) 동종의 합금도금층을 상호 접촉시킨 경우보다 부착량 60g/m<sup>2</sup>의 아연도금층을 합금도금층과 접촉시키면 아연도금층의 희생방식작용에 의해 내 구멍부식성을 크게 개선시킬 수 있다.

#### 참 고 문 헌

1. 黒川重男, 番 典二, 大和康二, 市田敏郎: 鐵と鋼, 72 (1986) 1111-1118.
2. 林 公隆, 伊藤陽一, 加藤忠一, 三吉康彦: 鐵と鋼, 76 (1990) 1317-1324.
3. 藤田榮, 梶山浩志, 山下正明: CAMP-ISIJ Vol.9 (1996) 1283.
4. 内田守重, 黒川重男, 望月一雄, 加藤俊之: CAMP-ISIJ Vol.9 (1996) 475.
5. 藤田榮, 梶山浩志, 山下正明: CAMP-ISIJ Vol.9 (1996) 474.
6. 本田和彦, 西村一實, 林公隆, 伊藤陽一: CAMP-ISIJ Vol.9 (1996) 1282.
7. 김명준: 저항용접, 기문사 (1993) 127-249.
8. T.Hira, I.Yarita, A.Yasuda, H.Abe: Journal of the JSTP, Vol.34, No.34 (1993) 1141-1146.
9. M.Kimoto, T.Sakane, T.Tsuda, Y.Hayashi: Journal of the JSTP, Vol.30, No.347 (1989) 1639-1645.
10. Y.Hishida: CAMP-ISIJ Vol.2 (1989) 1695.
11. T.Nakamura: Journal of the JSTP, Vol.34, No.393 (1993) 1082-1089.
12. S.Semoto, T.Okamoto: Journal of the JSTP, Vol. 34, No.393 (1993) 1100-1105.
13. H.Babitch, P.Fatrez: Galvatech '95 Conference Proceedings(1995)263-268.
14. 김영석, 장래웅, 최원집: 대한기계학회지, Vol. 16, No.4 (1992) 658-666.
15. 岩井正敏, 有村光史, 野村伸吾: CAMP-ISIJ Vol.5 (1992) 634.
16. 北山 實, 三吉康彦, 伊藤陽一, 小屋原英雄: 鐵と鋼, 70 (1984) A104.
17. 黒川重男, 望月一雄, 森戸延行, 市田敏郎: CAMP-ISIJ Vol.5 (1992) 642.