

研究論文

자동차용 도금강판의 점용접성에 관한 연구

민준기* · 오영근* · 김광수**

A Study on the Spot Weldability of Automotive Steel Sheets

J. K. Min*, Y. K. Oh* and G. S. Kim**

Key Words ; Automotive Steel Sheets(자동차용 강판), Tensile Shear Strength(인장전단강도), Cross Tensile Strength(십자인장강도), Ductility Ratio(인성비), Weldability Lobe(적정용접조건)

Abstract

The spot weldability of coated steels for automobile has been investigated. Coated steels of SPC-Zn DC, SPC Zn-Ni SC, SPC Zn-Ni DC, SPC Zn-Fe DC and OCCS were welded under different conditions of welding current, force and time. Coating thickness at the welded surface was reduced as increased welding current. Tensile shear strength(TSS) and cross tensile strength (CTS) were increased up to expulsion began, then dropped as increased current. Optimum conditions of welding force and time were different, however 200~250kgf and 15~20cycle were optimum for coated SPC (Steel Plate Cold). Weldability lobes were measured for each coated steel and they showed narrow range of working welding current. The organic composite coated steel (OCCS) had the highest current to get $5\sqrt{t}$ nugget size and narrowest working welding current range.

1. 서 론

점용접은 1930년대 미국의 FORD사 등에 의해 자동차 차체 접합에 사용된 이후로 오늘날 승용차 1대의 총 용접수 3400~3800 타점 중 98%나 차지할 정도로 널리 사용되고 있다. 이와 같이 점용접

이 자동차 차체 접합에 널리 쓰이는 이유는 리벳이나 볼트, 너트 등에 의한 결합 대신 강판과 강판을 용가재 없이 접합하므로써 외관의 미려함과 아울러 차량의 경량화가 가능하기 때문이다.

한편 자동차의 차체에 대한 방청규제는 70년대 후반 북미, 구주 지역을 중심으로 더욱 강화되고 있는 실정으로 차체에 도금강판의 사용 비율 또한

* 정회원, 기아자동차(주)

** 정회원, 순천향대학교 재료공학과

크게 증대되고 있다. 도금강판은 내식성이 우수한 아연계통이 널리 쓰이고 있는데 크게 용융아연도금강판과 전기아연도금강판으로 나눌 수 있다. 용융도금강판은 박도금에서 후도금으로, 전기도금강판은 순수아연에서 합금아연, 유기피복에 이르기까지 그 종류가 다양해지고 있다¹⁾. 전기도금강판 중에서 현재 많이 사용되고 있는 Zn-Ni 및 Zn-Fe 합금아연 전기도금강판은 순수아연 전기도금강판으로는 만족할 만한 내식성을 확보하기가 곤란하여 내식성 및 용접성의 향상을 목적으로 개발되었다. 또한 Zn-Ni합금 전기도금강판을 소재로 하여 크로메이트층과 열경화성 수지 또는 실리카층으로 처리한 후 에폭시계의 수지를 약 1~3 μ m 정도로 코팅한 유기피복강판도 사용되고 있다.

도금강판의 뛰어난 방청성에도 불구하고 도금층의 존재로 인하여 용접성이 현격히 떨어진다. 강판의 용접성은 도금강판의 도금층 두께에 반비례할 뿐 아니라 도금층의 성분에 의해 크게 달라진다. 그러므로 용접성을 해치지 않으면서 내식성이 향상된 강판을 개발하는 것이 도금강판의 개발 추세이다. 이와 같이 다양한 강판의 개발로 차체에 적용되는 도금강판의 종류는 더욱 늘어나고 그 사용량도 증가되어 자동차 차체 조립시 용접작업은 더욱 열악해지고 있는 실정이다.

일반적으로 도금강판의 용접부 강도 및 적정용

접조건은 도금층의 종류에 따라 변화하는데²⁾ 도금강판의 용접성에 관한 연구는 이미 국내에서도 많이 보고되었다³⁻⁵⁾. 따라서 본 연구에서는 자동차 차체에 적용되고 있는 도금강판의 도금층 종류에 따른 용접부 강도 및 도금층을 관찰하였으며 이를 토대로 적정용접조건 범위를 조사하였다.

2. 실험 방법

본 연구에 사용된 강판은 국내에서 제작된 전기도금강판(SPC Zn DC, SPC Zn-Ni SC, SCP Zn-Ni DC and SPC Zn-Fe DC)과 Sumitomo Steel Co.에서 개발한 유기피복강판(OCCS)을 사용하였다. 각종 강판의 화학조성은 표 1에 나타내었다. 표 2는 강판의 기계적 성질 및 도금층의 두께를 나타내었다. 인장전단강도 및 십자인장강도 시험편의 치수는 각각 KS-B0851, KS-B0852에 의거하여 제작하였다. 용접기는 최대 허용 전류량이 175kVA인 정치식으로서 최대 가압력이 1000kgf인 수냉식이 사용되었으며, 전극은 RWMA 규정 Class II에 해당하는 0.8Cr-Cu 합금의 외경 16 ϕ , 선단경 6 ϕ dome식 전극이 사용되었다. 용접부의 도금층은 주사전자현미경을 이용하여 관찰하였다.

Table 1. Chemical composition of steel sheets

Elements	C	Si	Mn	P	S	Ni	Al	Fe
SPC Zn DC	0.004	0.022	0.144	0.011	0.011	0.025	0.045	Bal.
SPC Zn-Ni SC	0.011	0.017	0.076	0.001	0.001	0.038	0.040	Bal.
SPC Zn-Ni DC	0.012	0.013	0.066	0.001	0.002	0.037	0.022	Bal.
SPC Zn-Fe DC	0.019	0.024	0.155	0.011	0.009	0.066	0.121	Bal.
OCCS	0.010	0.040	0.110	0.012	0.004	0.037	0.022	Bal.

Table 2. Mechanical properties and coating conditions of steel sheets

Properties Steels	Thickness (mm)	Coating Wt. (g/m ²)	T. S. (kg/mm ²)	Y. S. (kg/mm ²)	Composition of Coating (%)
SPC Zn DC	0.7	20/20	32.0	17.5	100Zn
SPC Zn-Ni SC	0.7	30/0	27.9	16.4	10.5Ni
SPC Zn-Ni DC	0.7	30/30	28.4	15.9	10.5Ni
SPC Zn-Fe DC	0.7	40/40	29.6	14.6	10.5Fe
OCCS	0.7	30/30	31.0	14.0	10.5Ni

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 용접부 도금층

점용접시 도금강판은 도금층의 존재로 인하여 냉연강판과 비교하여 고전류를 요구하게 된다. 이러한 고전류의 사용은 용접부에서 도금층의 용융 증내 및 비산의 발생을 초래하기도 하여서 용접부에서의 도금층 두께 감소를 가져온다. 한편 용접부에서의 임계값 이하의 도금층의 감소는 부식의 원인을 제공하여 자동차 수명을 단축시킨다. 따라서 본 실험에서는 용접부에서의 용접전류 변화에 대한 도금층의 두께 변화를 측정하여 도금층이 급격히 저하되기 직전의 용접조건을 설정하였다.

Fig. 1은 SPC Zn-Ni 양면도금강판에서 용접전류 변화에 대한 용접부 표면의 도금층 두께를 보여

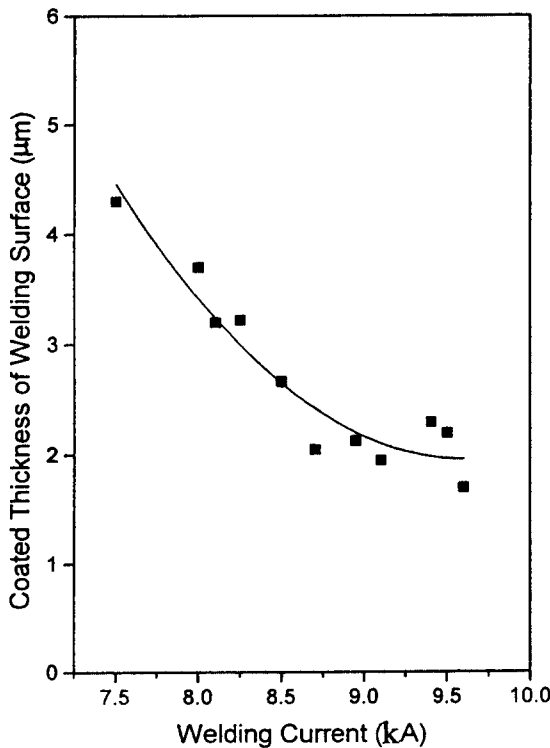


Fig. 1 The effect of welding current on the coated thickness of SPC Zn-Ni DC (welding condition : 200kgf, 18cycle)

주고 있다. 8.5kA에서의 도금층 두께가 2.5µm 정도로 약 18g/m²를 나타내고 있다. 한편 도금층의 두께는 8.5kA까지 감소하다가 이후부터는 거의 일정한 값을 나타내고 있다. Zn-Ni 도금강판의 내식성을 유지하기 위한 임계값이 20g/m²(2.8µm)⁶⁾임을 고려할 때, 내식성을 유지하기 위해서는 8.5kA이하의 용접조건에서 용접을 수행하거나 또는, 보다 두꺼운 도금층이 요구됨을 알 수 있다. SPC Zn-Fe 양면도금강판과 유기복합피복강판도 용접전류가 증가할수록 도금층이 감소되는 경향을 보여 주었으며, 도금층의 두께는 8.5kA와 8.7kA에서 각각 1.5µm 및 2.3µm의 일정한 값을 나타내었다⁷⁾.

3.2 용접부 인장강도

Fig. 2는 SPC Zn-Ni 편면도금강판의 용접전류의 변화에 대한 인장강도 및 연성비를 나타내고 있다. 전류가 증가함에 따라 인장강도는 증가하여 비산전의 전류치에서 최대치가 되며, 비산 발생후

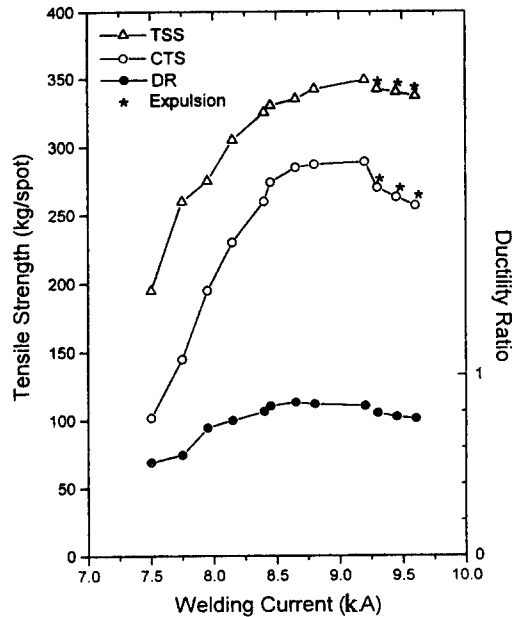


Fig. 2 The effect of welding current on the TSS, CTS and DR OF SPC Zn-Ni SC (welding condition : 200kgf, 18cycle)

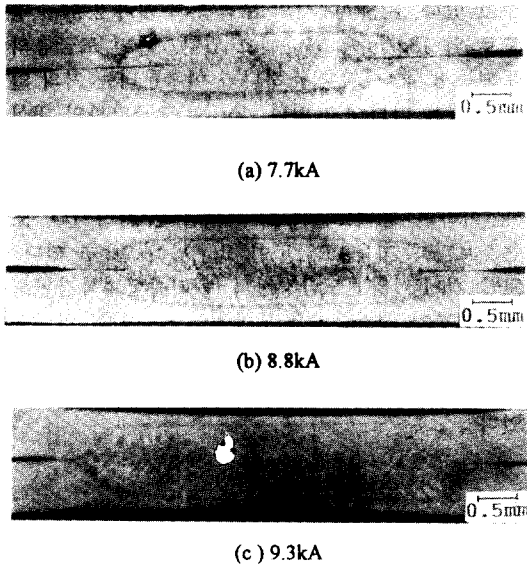


Photo 1. Cross section of spot weld zone under welding current of (a) 7.7kA, (b) 8.8kA, (c) 9.3kA at 200kgf and 15cycle of SPC Zn-Ni SC

다소 강도가 떨어짐을 보여주고 있다. 인장강도는 너깃의 크기와 밀접한 관계를 갖는데, 너깃의 크기는 Photo 1에서 보여주듯이 전류가 증가함에 따라 커졌다. 입열이 극히 부족한 (a) 시험편에서는 너깃이 거의 형성되지 않고 있으며, (b)에서는 너깃경이 형성되었으나 양쪽 끝단에 미압접 상태를 보이고 있다. 최고강도를 나타낸 시험편 (c)에서는 너깃과 함께 열영향부가 충분히 압접되어 양호한 corona bond가 형성되었음을 보여주고 있다.

또한 비산 발생 후 인장전단강도 (TSS)는 약간 감소하는 반면, 십자인장강도 (CTS)는 큰 하락폭을 보여주고 있다. 이는 인장시험시 파단이 주로 비산이 일어난 부위에서 발생하는데 인장전단강도 시험시에 비산이 인장축과 항상 평행하게 위치하는 것이 아니므로 비산의 발생방향에 따라 인장전단강도값에 상당한 편차를 보여 평균적으로 약간 감소된다. 반면 십자인장강도 시험시에는 용접부 경계면을 따라 응력이 집중되므로 인장축과 무관하게 비산이 발생한 부위에서 파단이 일어나서 십자인장강도가 현저하게 저하된 것으로 생각된다. Photo 2는 비산이 발생한 부위의 단면사진으로서

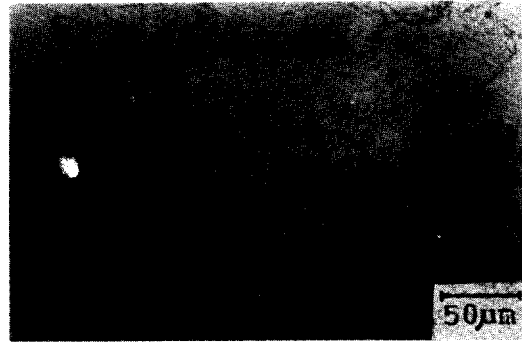


Photo 2. Macrostructure showing expulsion at the edge of weld zone of SPC Zn-Ni at welding condition of 9.6kA, 18cycle and 200kgf

비산에 의해서 생성된 상, 하부가 날카로운 notch 형상을 이루고 있음을 보여주고 있다.

점용접부의 경화정도를 판단하는 척도로 사용되는 연성비는 (십자인장강도)/(인장전단강도)의 비율로 표시된다. 연성이 양호하면 십자인장 하중시 강도에 좋은 영향을 미치는데⁶⁾ Fig. 2에서 보여주듯이 전류가 증가함에 따라 연성비가 증가함을 알 수 있다. SPC Zn-Fe 양면도금강판과 유기피복강판도 SPC Zn-Ni 편면도금강판과 유사한 경향을 보여주었으며 전류가 증가함에 따라 인장강도 및 연성비가 증가되었다⁷⁾.

3.3 적정용접조건

3.3.1 가압력

가압력의 변화에 따른 인장전단강도의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 강도는 가압력의 증가와 더불어 점차 증가되어 200kgf 이상에서 최대치를 나타낸 후 감소되는 경향을 보여주고 있다. 이와 같은 현상은 도금강판의 표면이 불균일하여 가압력이 낮으면 강판 표면의 일부에서만 접촉이 이루어지며 그 곳에서 전류가 집중적으로 흐르게 되어 전류밀도의 증가로 비산 발생이 용이하며 너깃 형성이 어렵기 때문이다. 한편 가압력이 높으면 접촉면적이 커지게 되므로 전류밀도를 저하시키고 그 결과 너깃 형성이 어려워 강도는 저하된다. 적정 가압력은 도금강판의 종류에 따라 차이는 있지만

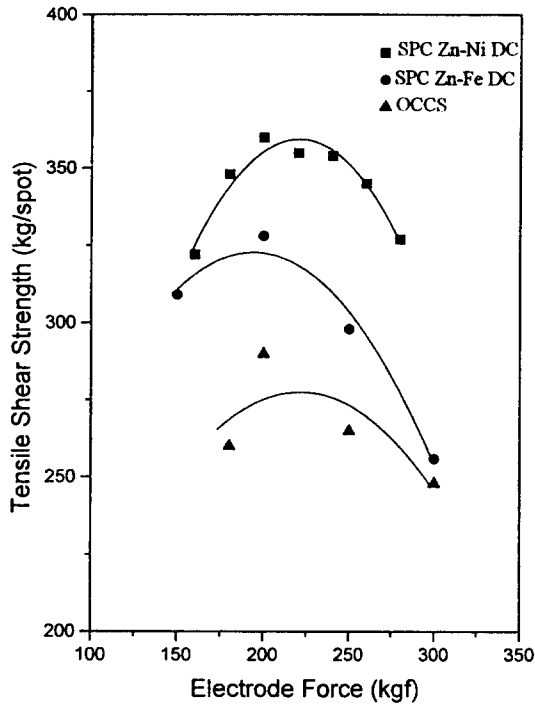


Fig. 3 The effect of electrode force on the TSS of SPC Zn-Fe DC and OCCS (welding condition : 8.5kA, 15cycle)

200~250 kgf가 가장 적절하였다.

3.3.2 통전시간

Fig. 4는 용접시간에 따른 인장전단강도의 변화를 조사한 것으로 통전시간이 증가함에 따라 강도가 최대치에 도달하였다가 감소됨을 보여주고 있다. 이와 같은 현상은 용접시간의 변화에 따른 용접부의 단면 변화를 보여주고 있는 photo 3으로 설명 될 수 있다. 최고강도를 나타낸 (b) 시험편과 비교해서 용접시간이 짧은 시험편 (a)의 경우는 너깃의 성장이 불충분함을 알수 있으며, 또한 급격한 온도상승으로 인하여 전극과 용접물 표면에 손상을 일으키게 된다. 그러나 (c) 시험편의 경우에는 용접시간이 과다하여 강판 표면에 발생하는 압흔 자국과 강판분리현상이 나타났다. 특히 강판분리 현상은 다음 용접의 비산 발생의 원인이 되는 등

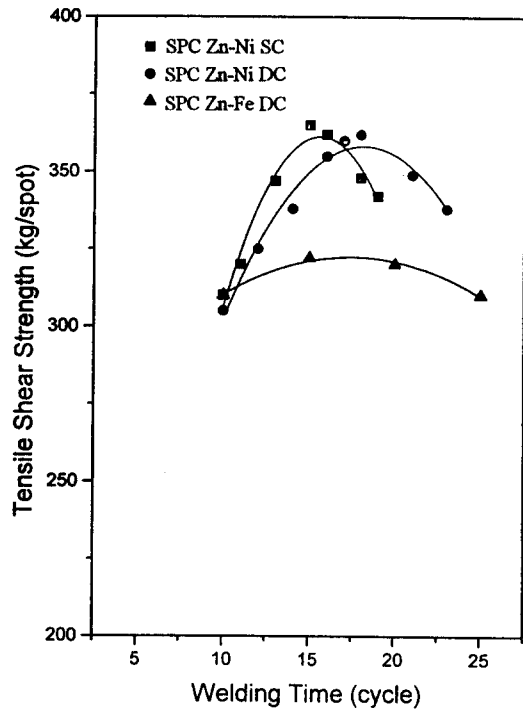


Fig. 4 The effect of welding time on TSS of SPC Zn-Ni SC and SPC Zn-Ni DC and SPC Zn-Fe DC (welding condition : 8.5kA, 200kgf)

나쁜 영향을 끼치게 되므로 과다한 용접시간은 좋지 않은 것으로 사료된다. SPC Zn-Ni의 편면도금강판은 15cycle에서 양면도금강판은 18cycle에서 각각 최고강도를 보이고 있다. 여기서 편면도금강판의 점용접부 접촉면은 도금층과 비도금층으로 조합되어졌다. 편면도금강판이 더 빠른 용접시간에서 최고강도 값을 나타내는 이유는 강판 사이의 접촉저항이 양면도금강판 보다 더 크므로 적정 너깃이 더 일찍 형성되기 때문이라 사료된다. SPC Zn-Fe양면도금강판은 15~20cycle에서 최대치를 나타내고 있다.

3.3.3 통전전류

전류의 변화에 따른 적정용접조건은 너깃의 크기가 5√에 이르기 시작하는 전류를 최저 값으로 하고 최대 한계 전류는 판과 판 사이에 비산이 발

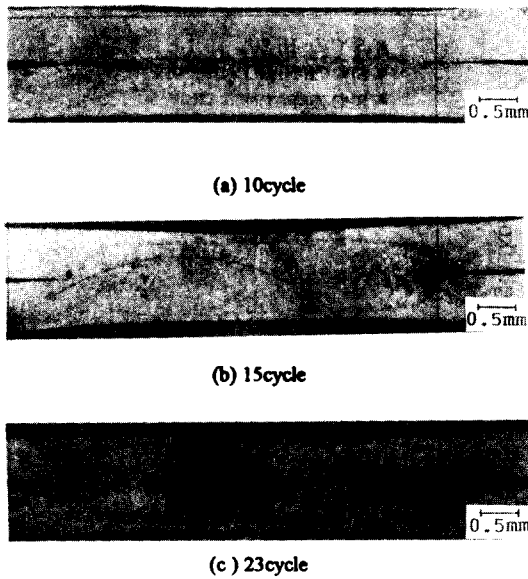


Photo 3. Cross section of spot weld zone under welding time of (a) 10cycle, (b) 15cycle, and (c) 23cycle at 200kgf and 9.3kA of SPC Zn-Ni SC

생하거나 전극용착이 일어나는 전류를 채택하였다.

3. 3. 3. 1 SPC Zn-Ni전기도금강판

Fig. 5는 SPC Zn-Ni양면 및 편면 전기도금강판의 weldability lobe를 나타낸 것이다. 양면도금강판은 편면도금강판에 비하여 높은 전류를 필요로 하며 그 범위도 상당히 좁은 것을 알 수 있다. 이는 판과 판 사이에 존재하는 도금층의 양에 기인하는 것으로서 도금층의 용융에 따른 통전면적의 증가가 크기 때문이다. 따라서 적정 너깃 생성에 필요한 전류밀도를 얻기 위해서는 높은 전류가 필요하게 된다⁹⁾. 한편 너깃이 생성되기 시작하면 고전류이기 때문에 비산의 발생이 용이하게 되어 적정용접조건의 범위는 좁게 된다.

3. 3. 3. 2 SPC Zn-Fe전기도금강판

Fig.6은 SPC Zn-Fe 양면 전기도금강판과 SPC Zn 양면 전기도금강판의 weldability lobe를 나타낸 것이다. SPC Zn-Fe양면전기도금강판의 적정용접

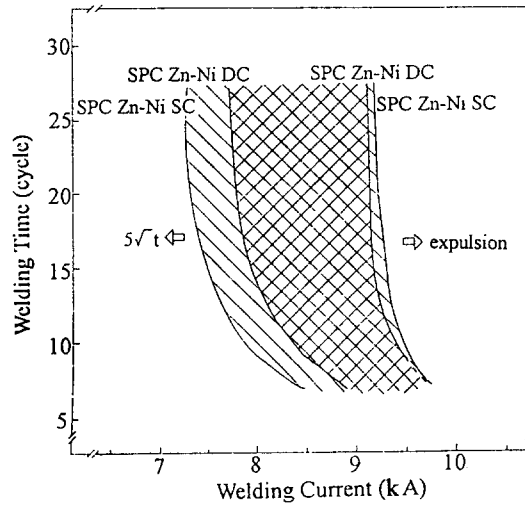


Fig. 5 The weldability lobe of spot welding of SPC Zn-Ni SC and SPC Zn-Ni DC

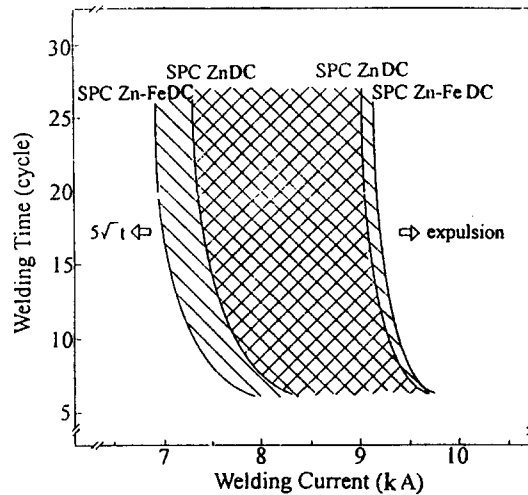


Fig. 6 The weldability lobe of spot welding of SPC Zn DC and SPC Zn-Fe DC

범위는 SPC Zn 양면 전기도금강판에 비해서 저 전류 측으로 넓어지는 현상은 도금층의 용점 차이에 기인한 것으로 생각되어 진다¹⁰⁾. Zn-Fe상태¹¹⁾에 의하면 Fe 15%의 경우 용점이 약 1000℃정도로서 순수 Zn 전기도금강판의 420℃에 비해서 높다. 즉 SPC Zn 양면 전기도금강판의 경우 용접 초기단계

에 Zn이 용융되어 판과 판사이의 용융면적이 넓어 지므로 너깃 생성에 필요한 전류밀도를 얻기 위해서는 높은 전류가 필요하다.

3.3.3.3 유기복합 피복강판

유기피복강판은 피복층이 절연물이기 때문에 용접작업과 전착도장시 통전저항이 발생하여 용접성이 떨어진다. Fig.7에 보여주는 바와 같이 SPC Zn-Ni 양면 전기도금강판보다 유기복합피복층의 형성으로 인한 절연물 때문에 높은 전류를 필요로 하게 되며 적정용접범위도 좁음을 알 수 있다. 표 3은 각 강판별 적정 용접범위를 요약하였다.

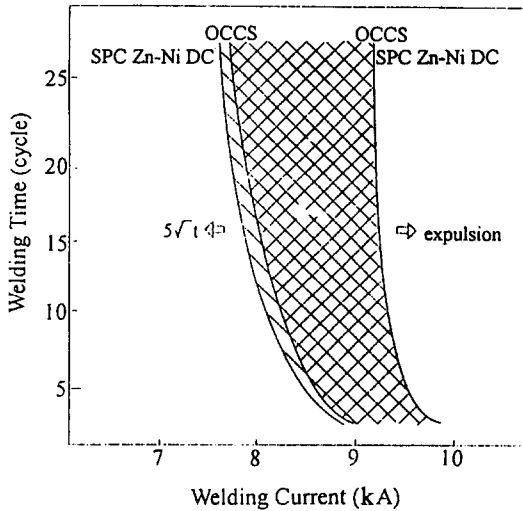


Fig. 7 The weldability lobe of spot welding of SPC Zn-Ni DC and OCCS

Table 3. Summary of optimum welding current at welding time of 15 cycles and electrode force of 200kgf

Sheet Steels	Min. Current (A)	Max. Current (A)
SPC Zn DC	7500	9100
SPC Zn-Ni SC	7500	9300
SPC Zn-Ni DC	8000	9200
SPC Zn-Fe DC	7100	9200
OCCS	8100	9200

4. 결 론

SPC Zn DC, SPC Zn-Ni SC, SPC Zn-Ni DC, SPC Zn-Fe DC 전기도금강판 및 유기복합피복강판(OCCS)의 점용접성 평가 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 도금강판의 용접부에서의 도금층 두께는 전류가 증가함에 따라 감소하였으며 8.5kA 이상에서는 내식성을 위한 임계값 이하로 감소하였다.
2. 도금강판의 인장전단강도 및 십자인장강도는 도금층의 종류와 관계없이 전류의 증가에 따라 비산 직전까지 증가 하다가 비산 발생 후 떨어짐을 보여주었다. 인성비도 전류가 증가함에 따라 증가하였다.
3. SPC 전기도금강판의 적정용접조건은 강판에 따라 다소 차이는 있지만 가압력 200~250kgf, 통전 시간 15~20cycle이 적정하였다. 적정용접전류 범위는 도금층으로 인하여 좁으며 특히, 유기피복강판은 절연 피복층으로 인하여 높은 전류를 필요로 하고 가장 좁은 적정용접전류 범위를 보여주었다.

5. 참고문헌

1. 진영술 외 : 대한금속학회회보, Vol. 5, No. 3, (1992), p. 285
2. 진억용 외 : "도금강판별 최적 SPOT 용접 조건 선정", 상공부 공업기반기술개발과제 최종 보고서(1993)
3. 이준수 외 : 대한금속학회지, Vol. 32, No. 2(1996), p. 261
4. 신현일 외 : 대한용접학회지, Vol. 12, No. 3(1994), p. 349
5. 신원철 외 : 대한금속학회지, Vol. 28, No. 11(1990), p. 1010
6. 高 未 외 : 溶接技術, Vol. 4(1984), p. 57
7. 민준기 : 박사학위 논문, 성균관 대학교 (1992)
8. 三井 俊彦 외 : 住友 金屬, Vol. 26, No. 2(1974), p. 182
9. J. G. KAiser, et al : Welding J., June (1982), p. 176-s
10. 井上正三 : 日本 金屬表面技術, Vol. 39(1988), p. 36
11. TB. Massalski : Binary Alloy Phase Diagram, Vol. 3(1989), p. 1979