

아연도금 강재의 용접성에 미치는 돌기 성형 및 피복조건의 영향

김기철* · 이목영*

Effects of Projection Height and Post Treatment on the Resistance Projection Weldability of Zn Coated Sheet Steels

K. C. Kim* and M. Y. Lee*

Key Words : Weldability(용접성), Projection welding(돌기용접), Condenser discharge welding(컨덴서용접), Zn coated steel(아연도금강), Post treatment(후처리), Thin gage sheet steel(박판강재)

Abstract

In this paper resistance projection weldability of Zn coated steels with post treatment has been discussed. Projection welding was performed by a condenser discharge type power source which was equipped with welding parameter monitoring system. Mechanical test results indicated that the effect of post coatings on the weld strength was negligible. However, contamination rate of the block electrode varied depending on the post treatment coatings. Test results also showed that projection height before welding should be kept to be 80-100% of the specimen thickness as far as the surface quality was taken into consideration. Based on the high speed photography, discharge condition at the projection front changed showing very small spattering at the beginning stage of the welding process. It was considered that the spattering reduced the weld strength slightly at the optimum heat input range.

1. 서 론

높은 가공성을 나타내는 도금강재는 고품위 및 고기능을 추구하는 수요가의 요구에 따라 다양한 용도와 기능에 부합되는 제품이 개발되고 있다. 그러나 이러한 성능들을 확보하기 위하여는 소재의 화학성분 조정과 도금방법의 개선을 포함한 도금층의 금속학적 조성 변화가 수반되어야 한다. 그 결과 강재의 표면에는 기본적으로 아연 도금 등의 표면처리를 실시한 다음 인산염 혹은 수지피복과 같은 후처리를 행하고 있는데,

이와같은 표면의 피복층은 내식성 및 표면 품질을 획기적으로 향상시키고 있다. 그러나 소재 표면의 도금 및 후처리층은 통상의 저항 용접에서 전극과의 합금화에 의한 오염과 접촉 단면적 증가에 의한 전류 밀도 하락으로 용접성이 저하한다¹⁻⁶⁾. 뿐만아니라, 용접 후 표면 품질을 중요시하는 분야에서는 전극접촉부의 변색과 용접부 내식성 손실도 완성품의 품질에 큰 영향을 미친다. 한편, 컨덴서 방전을 이용하는 저항 용접법⁷⁾은 이와같은 용접성의 저하를 크게 경감시키는 공정으로서 생산 현장에서 많이 응용되고 있다.

본 연구는 컨덴서 방전형 돌기용접법을 이용하여 제

* 1999년 7월 6일 접수

* 정회원, 포항산업과학연구원 접합가공연구팀

김기철 : kicholk@rist.re.kr

품을 만드는 현장에서, 용접 생산성과 품질을 동시에 높일 수 있는 조건의 제시를 목표로 실시된 것으로서 아연 도금 및 후처리 박판 강재를 대상으로 용접부 특성을 조사한 것이다. 용접성의 평가에서는 돌기용접의 중요 공정 변수인 돌기의 변형과정을 확인하고 돌기 성형 조건이 용접성에 미치는 영향을 검토하였다. 또, 도금 후 피복조건이 돌기용접성에 미치는 영향과 함께 후처리 조건에 따른 전극 오염에 대해서도 실험을 실시함으로써 현장 용접공정의 최적화 방안을 도출하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 시험재

실험에 사용된 소재는 성형성이 우수한 극저탄소강(시험재 A, B 및 C)과 탄소의 함량이 비교적 높은 강재(시험재 D)의 전기 아연도금 소재였다. 아연 도금을 실시한 다음, 후처리에 따른 돌기 용접성을 조사하기 위하여 인산염 처리(시험재 B), 크로메이트 처리(시험재 C) 혹은 수지피복 처리(시험재 D)를 행한 것이 사용되었다. 표 1은 실험에 사용된 강재의 화학조성과 기계적 특성을 나타낸 것이다.

2.2 돌기가공 및 상온변형 실험

돌기는 내경 2mm인 성형 장치를 이용하여 냉간가공 하였으며 그 높이는 소재의 두께를 기준⁸⁾으로 하여 60-120%까지 변화시켰다. 돌기의 상온변형 실험은 용접 공정변수의 하나인 용접압력을 결정하기 위한 기초자료 획득을 목적으로 냉간 가압방법을 사용하였는데 최대하중 49kN 용량의 유압식 압축시험기를 이용하였다.

2.3 용접 및 용접부의 특성 실험

표 2는 본 실험에 사용된 용접 조건을 나타낸 것으로

용접 방법은 전술한 바와 같이 컨덴서 방전형 저항용접법을 썼다. 각각의 용접 조건에 따른 특성은 용접부 인장전단 강도 시험방법을 이용하였다⁹⁾. 컨덴서 돌기 용접에서 용접부 크기는 통상의 점 용접에서 얻어지는 용접부 보다 작으므로 시험 방법에 따른 강도 변화가 심할것으로 예상되어 본 실험에서는 그림 1과 같이 5점을 동시에 용접 후 인장 시험을 실시함으로써 실험 결과의 편차를 감소시키고자 하였다. 컨덴서 돌기용접부 특성에 대한 공인 규격은 제정되어있지 않으므로 본 실험에서는 전보¹⁰⁾와 같은 방법으로 적정 용접조건외 범위를 선정하였다.

Table 2 Welding conditions

Charge voltage(V)	100-350
Forging pressure(kN)	3.43
Welding pressure(kN)	2.45
Number of porjections	5
Projection height(%)	60, 80, 100, 120

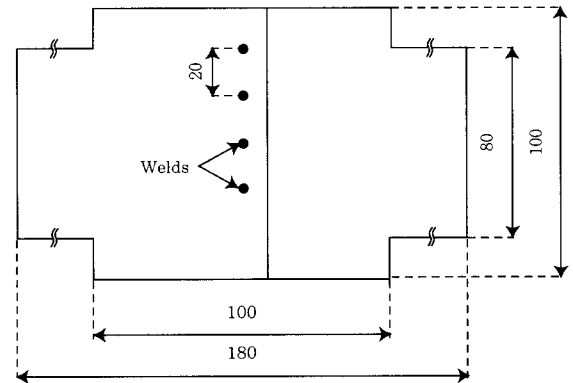


Fig. 1 Dimension of specimen for the tensile shear test

3. 결과 및 고찰

3.1 돌기 높이의 영향

돌기 용접에서 돌기는 용접 압력과 방전에너지의 집중점으로 작용하기 때문에 그 형상 및 변형과정이 용

Table 1 Chemical compositions and mechanical properites of base metals

Steel	C	Si	Mn	P	S	Al	Thick. (mm)	T.S. (MPa)	Y.S. (MPa)
A	0.0030	0.017	0.063	0.015	0.0130	0.050	0.8	290	159
B	0.0036	0.006	0.063	0.010	0.0072	0.054	0.8	305	178
C	0.0040	0.007	0.078	0.011	0.0072	0.058	1.0	301	175
D	0.0380	0.007	0.526	0.092	0.0270	0.033	0.8	417	318

접성에 큰 영향을 미친다. 돌기의 높이가 낮은 경우 돌기 이외 부분의 접촉에 의한 방전전류의 분류로 용접부 형성이 방해받으며, 반대로 지나치게 높은 경우에는 용접 후 접합부의 간극이 과대하여 용접품질의 저하를 초래한다¹²⁾. 그림 2는 시험재 A 및 D의 돌기 높이와 하중에 따른 돌기 선단부 크기 변화를 측정할 결과이다. 하중이 증가함에 따라서 돌기의 선단면적은 시험 하중구간에서 거의 직선적으로 증가하였다. 극저탄소 연강재인 시험재 A의 경우 돌기에 작용한 하중이 2kN 일때 돌기 선단면적은 약 0.6mm²이었으며, 하중이 증가함에 따라 선단면적이 증가하여 5kN에서는 약 1.5mm²가 되었다. 이것은 실제 용접에서 용접압력이 변화하면 방전전력을 그 만큼 높여 주어야 하고 또 용접 전력의 인가 시기도 발열 밀도에 큰 영향을 줄 수 있음을 시사하는 것이다. 시험재 D는 인장강도 417MPa의 고장력강이었으나 이 경우에도 하중에 따른 돌기 선단면적의 변화는 시험재 A와 유사한 양상을 보여 주었다. 그러나, 탄소의 함량이 극히 낮은 시험재 A에 비하여 돌기 선단면적의 증가율이 다소 완만하였다.

한편, 동일한 하중조건에서는 돌기의 초기높이가 증가함에 따라 선단면적도 증가하였는데 그것은 냉간 성형량 증가가 돌기 벽두께의 감소를 일으키기 때문으로

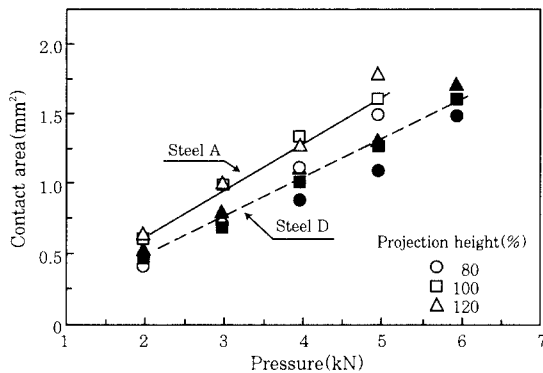


Fig. 2 Relation between contact area and pressure

판단된다. 이러한 결과는 돌기용접 시험편에 단순한 인장력이 작용할 때, 비교적 낮은 하중에서도 플러그형 파단을 일으키는 요인이 될 수 있을 것으로 생각되었다. 그림 3은 시험재 A를 용접압력 2.45kN에서 방전 에너지 110J로 용접을 행하였을 경우의 용접부 단면조직이다. 사진에서 (a)는 돌기 높이 60%일 때의 형상으로 용접전력이 인가되기 전에 돌기가 붕괴되어 에너지 밀도를 낮추었기 때문에 돌기용접의 특성을 나타내지 못하고 있었다. 사진 (b)와 (c)는 각각 돌기높이 80% 및 100% 일 때의 단면조직으로 건전한 용접

부 형상을 나타내고 있다. 사진 (d)는 돌기높이 120% 일 때의 용접부 단면으로 너깃의 형성은 비교적 잘 이루어진 것으로 보이나, 용접 후의 간극 벌어진 양이 크고 과도한 성형에 의한 돌기벽 두께의 감소가 관찰된다. 현장에서 인장하중을 주로 받는 간이시험법으로 용접부 품질을 평가할 경우, 플러그 파단을 보이면 양호한 용접조건으로 간주하고 있는데 이 실험 결과에서는 돌기가 높을수록 플러그 파단형태를 나타낼 확률이 높다는 것을 보여주고 있다.

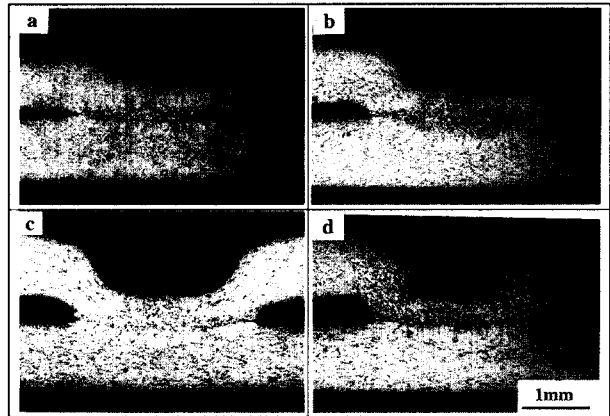


Fig. 3 Microstructure of weld with projection height of 60% (a), 80% (b), 100%(c), and 120% (d)

그림 4는 용접부의 표면 품질요소인 간극 벌어진 점, 표면에서 돌기 선단까지의 깊이 및 용융폭을 돌기의 초기 성형높이에 대하여 정리한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 간극 벌어진 점은 돌기가 높을수록 증가하였는데 이것은 돌기 높이 증가가 용접후 접합부의 밀착성을 저해하는 요소임을 보여주는 결과이다. 표면으로부터의 돌기 함몰 깊이도 성형 높이가 증가함에 따라 증가하였으며, 용접부의 기계적 성질에 직접적인 영향을

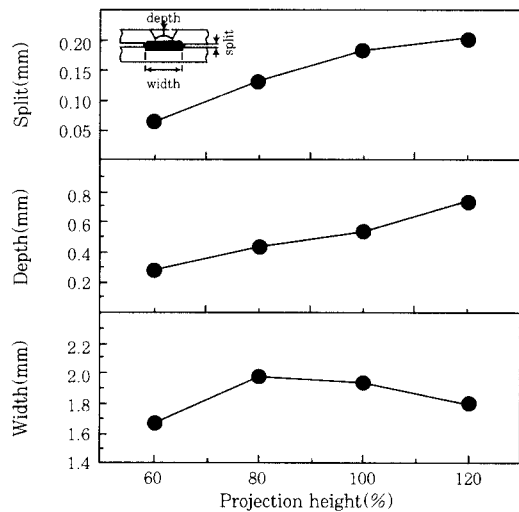


Fig. 4 Effect of projection height on the weld quality

미치는 용융부의 폭은 돌기높이 80%와 100%에서 가장 양호하게 나타났다. 이러한 결과를 종합하여 볼 때, 본 실험 조건의 소재에 대하여는 돌기의 초기 성형 높이를 소재 두께의 80-100%로 설정하는 것이 적당함을 알 수 있었다.

그림 5는 시험재 A를 이용하여 돌기용접부 강도에 미치는 돌기 높이의 영향을 나타낸 것이다. 돌기의 초기 성형높이는 소재 두께의 80, 100 및 120%에 해당하는 0.64, 0.8 및 0.96mm이었다. 이러한 실험 조건에서는 용접부 인장 전단 강도가 방전 에너지량에 따라 일정한 경향을 나타내는데 이 방전 에너지량이 소정의 값 이상으로 증가되면 용접부 강도가 증가한 후 약간 감소하는 영역이 있었고 그 이후 다시 증가하는 형태를 보이고 있다¹²⁾. 용접과정의 고속촬영 실험결과 용접부 강도가 일시적으로 감소하는 영역 부근에서는 통상의 스파터 현상과는 다른 미소한 불꽃이 발견되었다. 이러한 불꽃의 발생은 입열 에너지의 손실에 관계가 있을 것이며 궁극적으로 용접부 강도에 영향을 주는 것으로 추정되었다. 한편, 방전 에너지가 지나치게 높은 경우는 과입열에 의한 스파터가 발생하였으며 이러한 스파터 발생에 따른 에너지 및 용융금속의 손실에 의하여 용접부 강도는 급격히 감소하였다⁸⁾. 그러나, 전단인장 하중 조건에서 돌기높이에 따른 용접부 강도는 실질적으로 유사하였으며 전술한 바와같이 돌기 벽두께 감소에 의한 용접부 강도저하는 불분명하였다.

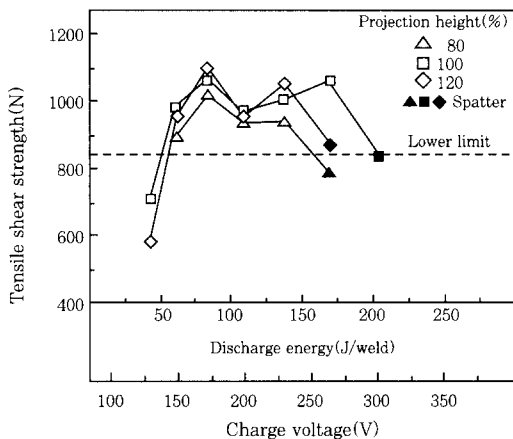


Fig. 5 Effect of projection height on the weld strength

3.2 소재 표면상태의 영향

저항용접에서 방전회로의 전기저항은 용접부 형성에 매우 중요한 역할을 하는데^{13,14)}, 이러한 전기저항은 고유저항과 접촉저항으로 나눌 수 있다. 접촉저항은 소재의 표면상태 및 용접 압력에 따라 변화하며 아연도

금 강재의 경우에는 냉연 강재에 비하여 낮은 값을 나타내고, 인산염 혹은 수지피복 처리 강재는 이 값이 높은 것으로 알려져 있다^{15,16)}. 따라서, 표면처리 강재의 저항 용접(특히 점 용접)은 표면 도금층 및 후처리 조건에 따라 특성이 변화한다.

그림 6은 그림 4의 실험 결과를 바탕으로 후처리 조건이 돌기용접성에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 이 결과에서 도표의 전반적인 형태는 전술한 바와 유사하나 스파터 발생 영역이 시험편에 따라 크게 변화하였다. 즉, 용접 입열량 증가에 따른 스파터 발생 개시 조건은 유기피복 시험편(시험재 D)이 가장 낮았으며, 인산염 처리(시험재 B) 및 크로메이트 처리(시험재 C) 순으로 상향되었다. 그러한 원인에 대하여는 본 실험에서 분명히 밝히지 못하였으나, 고속촬영 사진을 분석하여 본 결과 후처리 강재의 용접시에는 스파터 발생 조건 이하에서도 미세한 불꽃이 연속적으로 발생하였던 것으로 미루어 보아 낮은 도전성 표면피막의 연소와 관련이 있는 것으로 추정되었다. 한편, 이 그림에서 각각의 시험재에 대해서 용접부 강도가 다른 것은 소재의 강도 혹은 두께가 다르기 때문이며 시험재 C의 스파터 발생영역이 다른 시험재에 비하여 특히 높게 나타난 것도 두께차이에 의한 것으로 생각된다.

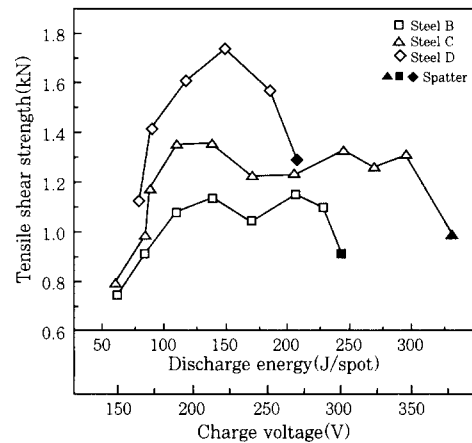


Fig. 6 Effect of post treatment on the weldability

그림 7은 적정 입열조건에서 양호한 용접이 이루어진 후처리 시험편들의 용접부 단면조직을 조사한 것이다. 이 실험 결과에 의하면 너트의 형성은 주로 돌기가 있는 시험편을 중심으로 이루어져 있었다. 특히, 인산염 처리 시험재(B) 및 유기피복 소재(D)의 경우에는 평균 용융 깊이비가 약 0.46으로, 동일한 두께의 다른 시험재 보다 돌기가 없는 시험편에서의 용융량이 많았다. 이러한 원인은 후처리 피막이 용접시 시험편-전극 사이의 열전달 특성 차이를 부여하였기 때문으로 생각되었으나 향후 정밀한 실험이 필요한 부분이다. 한편,

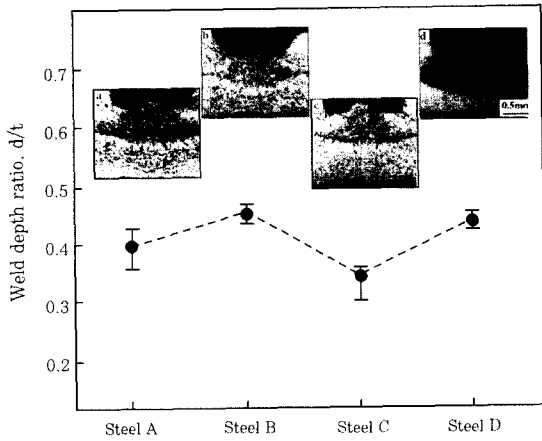


Fig. 7 Weld depth ratio change on the surface condition

크로메이트 처리를 행한 시험재(C)의 경우는 약 0.34의 평균 용융깊이비를 보였는데 이것은 원소재의 두께 효과에 기인하는 것으로 사료되었다.

3.3 전극의 표면오염과 반복 용접특성

통상의 저항용접에서는 용접 조건에 따라서 차이는 있으나 전극과 접촉하는 시험재의 표면도 변태온도 이상으로 가열되지만¹⁷⁾, 돌기용접에서는 조직 사진에서 보인바와 같이 너깃을 포함한 열영향부가 시험편 두께의 50%정도를 유지한다. 따라서, 가열에 의한 산화 및 합금화가 원인이 되는 전극의 오염은 거의 없었다. 그러나, 표면에 도포되어 있는 후처리 피복물질의 연소 또는 증발에 따른 오염은 용접 조건이 적절하지 않을 경우 심각하게 나타났다. 그림 8은 입열량에 따른 용접부 표면 품질을 나타낸 사진으로 돌기가 가공되지 않은 시험편의 용접부 반대쪽 표면을 관찰한 것이다. 사진의 (a)는 적정 입열량으로 용접된 것으로 표면 도금층의 일부가 용융된 정도의 매끈한 표면을 나타내고 있다. 따라서 돌기가 가공되지 않은 부위가 제품의 바깥쪽을 향하도록 배치하면 용접 후 도장처리를 실시할 경우에도 별도의 후가공이 필요없다. 그러나, 과도한 입열량 조건에서는 사진 (b)에서 볼 수 있는 바와같이 용접부 표면의 도금층뿐만 아니라 소재의 일부도 용융 및 분출되어 표면 흠 발생과 함께 전극의 오염을 초래하였다.

그림 9는 용접 후 전극의 오염 정도를 보기 위한 실험 결과의 예로서, 적정 용접조건의 상한에서 용접을 실시하고 용접이 진행됨에 따라 스파터 발생에 의한 전극의 오염으로 용접이 불가능할 때까지 반복 용접을 실시한 것이다. 실험 과정을 관찰하여 본 결과 용접 회수의 증가에 따라 전극 오염과 함께 스파터 발생량도 점차 증가하는 경향을 나타내고 있었다. 이 도표에 의하면 아연도금강을 행한 시험재 A는 전극의 오염 정도

가 가장 경미하였으나 크로메이트 처리재(시험재 D), 유기피복재(시험재 C) 순으로 오염도는 증가하였고 인산염 처리재(시험재 B)의 경우 전극 오염도가 가장 심하였다. 그러나, 본 실험 조건 범위 내에서는 용접 반복회수에 따른 용접부 강도 저하를 확인할 수 없었

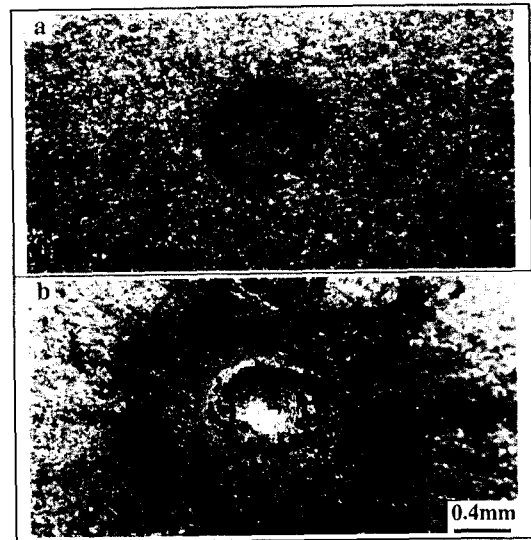


Fig. 8 Photographs showing weld surface at optimum (a) and excessive heat input (b)

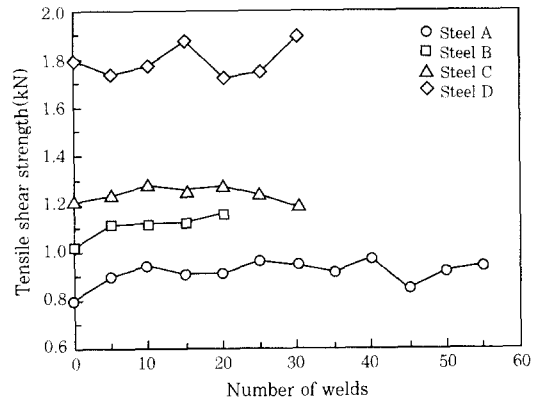


Fig. 9 Relation between tensile shear strength and number of welds

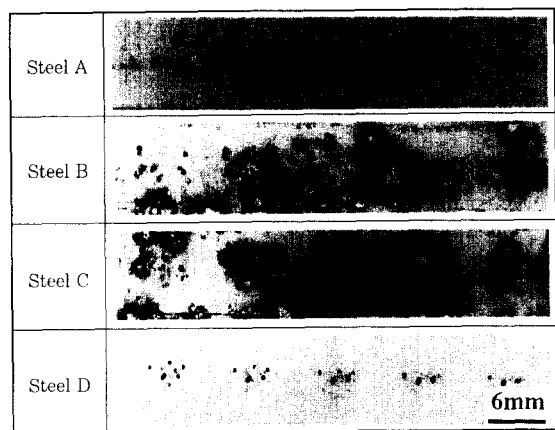


Fig. 10 Photographs showing electrode surface

다. 한편, 그림 10은 각각의 시험재에 대하여 그림 9의 조건으로 20회 반복용접을 실시한 다음 전극 표면을 촬영한 것으로 시험재 B와 C의 오염도가 상대적으로 높음을 알 수 있다.

4. 결 론

자동차 또는 가전제품의 외장용으로 쓰이는 고성형성 극저탄소 전기 아연도금 강재의 후처리 조건에 따른 컨테서 돌기 용접성을 조사하여본 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 돌기의 상온 변형 특성에 의하여 용접압력에 따른 돌기 선단의 접촉면적을 측정하고 이러한 접촉면적의 변화로부터 돌기 용접시의 에너지 밀도가 방전 전류뿐만 아니라 용접압력에 의해서도 변화되므로 통전시기 선정의 기초 자료를 얻을 수 있었다.

2) 돌기 높이는 용접부의 품질에 영향을 미치는 것으로 나타났는데, 돌기가 지나치게 낮은 경우에는 용접부의 형성량이 부족하였고 그 변화도 심하였다. 반면, 돌기가 지나치게 높은 경우에는 용접부의 간극 벌어짐과 함몰깊이가 모두 증가하여 용접 품질을 낮추는 것으로 평가되었으나, 인장전단 강도의 변화는 현저하지 않았다.

3) 전기 아연도금 강재의 후처리 조건들은 컨테서 돌기 용접부의 강도를 저하시키지 않았으며, 무처리 아연도금 강재에 비하여 스파터 발생 영역이 동등하거나 오히려 상향되므로 적정 입열조건을 범위를 넓히는 효과가 있었다. 또, 후처리 시험재에서는 용접부 형성 깊이의 증가 효과가 있는 것으로 나타났는데, 이러한 이유는 접촉 계면에서의 열전달 특성이 변화하였기 때문으로 추정되었다. 그러나, 보다 정확한 근거는 향후 구체적인 연구로 밝혀져야 할 분야로 생각되었다.

4) 적정한 입열량으로 용접이 실시되었을 경우 돌기가 가공되지 않은 시험편의 표면 품질은 우수하여 용접 후 도장처리를 실시할 경우에도 별도의 후공정이 필요 없는 것으로 판단되었다. 그러나, 입열량을 과다하게 부여하면 용접부 표면의 도금층 뿐만 아니라 소재의 일부도 용융 및 분출되어 표면 흠 발생과 함께 전극의 오염을 초래하였다. 또, 아연도금만을 행한 시험재의 용접에서는 전극의 오염 정도가 경미하였고 인산염 처리재의 경우에는 전극 오염이 심하였으나 본 실험조건 범위에서 용접 반복회수 증가에 따른 용접부 강도 저하는 나타나지 않았다.

참 고 문 헌

1. G. E. Gould: An examination of nugget

- development during spot welding using both experimental and analytical techniques, *Welding Jour.*, 1 (1987), pp. 1-10s
2. P. Howe and S. C. Kelley: Coating weight effect on the resistant spot weldability of electrogalvanized sheet steels, *Welding Jour.*, 12 (1988), pp. 271-280s
3. 帝藤 亨, 高橋 靖雄: 表面處理鋼板のスポット溶接, 溶接技術, 4 (1983), pp. 27-32
4. H. F. Greer and M. L. Begeman: Resistance seam welding of terne plate, *Welding Jour.*, 6 (1960), pp. 247-254s
5. Kyoza Torii, Youji Kadono and Yukio Tamura: A study on the defects in seam welds of metal coated steel sheets, *Trans. of the Japan Welding Society*, 4 (1971), pp. 77-85
6. 松山 一: 亞鉛めつき鋼板の抵抗溶接, 溶接技術, 3 (1984), pp. 27-31
7. KS C 9629-1993: 커패시터식 스폿 용접기
8. 抵抗溶接研究委員會: 抵抗溶接現象とその應用(II), 溶接學會技術資料 No. 9 (1981), pp. 13-126
9. KS B 0850-1991: 점 용접부의 검사방법
10. 김기철, 이목영, 임태진: 박판강재의 컨테서 용접성에 미치는 용접 변수의 영향, *대한용접학회지* 15-6 (1997), pp. 535-542
11. H. S. Chang and H. S. Cho: A study on the shunt effect in resistance spot welding, *Welding Jour.*, 8 (1990), pp. 308-317s
12. 臭田瀧夫, 町田一道, 馬場利彦, 出田吾朗: 衝擊電流壓接法の開發と壓痕レス接合の實現, 溶接技術, 3 (1986), pp. 25-30
13. American Welding Society: *Welding Handbook*, 8th Edition (1990), pp. 532-579
14. M. Vogler and S. Sheppard: Electrical contact resistance under high loads and elevated temperatures, *Welding Jour.*, 6 (1993), pp. 231-238s
15. D. W. Dickinson, J. E. Franklin and A. Stanya: Characterization of spot welding behavior by dynamic electrical parameter monitoring, *Welding Jour.*, 6 (1980), pp. 170-176s
16. 장래용, 김기철, 이기호, 강문진, 이창희: RIST-1237C (1991), pp. 1-22
17. 中村 孝: 抵抗溶接用電極材料の動向と技術的課題, 溶接技術, 3 (1988), pp. 58-63