

**研究論文**

## 박판 강재의 고속 심 용접성에 미치는 Sn 도금의 영향

김기철\* · 이목영\*

### Effect of Tin Coating on the High Speed Seam Weldability of Thin Gage Sheet Steels

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

**Key words** : Coated steel, Tinplate, Weldability, Wire seam welding, Optimum welding condition range

#### Abstract

High speed wire seam weldability of tin coated thin gage sheet steels was investigated. Thickness and coating weight ranges of the test materials were 0.21~0.35mm and 1.1/1.1~2.8/11.2g/m<sup>2</sup>, respectively. Test results indicated that the surface roughness value, Rz decreased as increasing the coating weight. The Rz was thought to be one of the important factors to influence the optimum welding condition range, ΔQ. The ΔQ showed close relationship with welding conditions such as welding pressure and travel speed. Higher welding pressure widened the ΔQ while higher travel speed reduced the ΔQ value. Results also demonstrated that tin coating weight should be optimized based on the weldability or the serviceability after welding. At the HAZ of sheet materials with thinner coating layer, tin depleted zone was produced since molten film of the coating material on the base metal agglomerated by the surface tension, which could result in reducing the corrosion resistance of the HAZ in the service environment.

#### 1. 서 론

Sn도금 박판 강재는 식음료 용기 등의 제조에서 매우 중요한 소재이다. 이러한 용기의 제관 공정

은 전통적인 솔더링법, 전기저항 용접법 및 순수한 성형 가공에 의한 제조법 등이 있으나, 소재의 제한 요소가 비교적 적고 생산성이 높은 전기저항 용접법이 가장 널리 쓰인다<sup>1)</sup>. 그러나, 저항용접 공정에서 강재 표면의 피복 금속은 전극 재료에 대

※ 1998년 4월 18일 접수

\* 정회원, 포항산업과학연구원 접합가공연구팀

하여 높은 고용도<sup>2)</sup>를 가지고 있기 때문에 합금화 작용과 함께 산화작용을 일으키게 되고 그 부착 생성물이 용접전류의 전달 효율을 낮추는 원인이 된다<sup>3)</sup>. 이러한 불편을 해소하기 위하여 개발된 방법이 와이어 심 용접법으로, 용접전류를 공급하는 원판형 전극의 둘레에 구리 와이어를 개입시켜 한번 사용된 와이어 전극을 재사용하지 않는 이른바 소모성 전극 저항용접법이다. 제관 용접에서는 현재 거의 이 용접 방법으로 제품을 생산하고 있는데, 용접 속도 또한 기존의 용접법과는 비교할 수 없이 높기 때문에 용접 생산성을 크게 향상시킬 수 있는 기술이다. 한편, Sn도금용 박판 강재는 통상의 냉연강재 보다도 두께가 얇을 뿐만 아니라 도금 두께 또한 가능한 한 얇은 것을 사용하려는 것이 생산 현장의 요구이다. 그러한 이유는, 캔(can) 제조 공정에서의 제조 원가 절감과 원자재 공급자인 철강 생산 공정의 연속화 및 박도금화로 생산성과 공급 원가 부담을 경감시키자는 목적들이 서로 맞물려 있음에 기인한다. 그러나, 극박 소재의 Sn 박도금 제품과 같이 특수한 제품은 와이어 심 용접을 실시할 경우에도, 용접성이 소재의 두께 및 도금량에 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다<sup>4)</sup>.

본 연구에서는 이러한 점을 감안하여 박판강재 표면에 도금되어 있는 Sn 부착량이 표면 조도에 미치는 영향을 조사하고 그러한 요소가 와이어 심 용접성에 미치는 효과를 용접공정변수, 입열량 및 금속학적 측면에서 고찰하므로써 용접 공정 최적화 방향을 제시하고자 하였다.

## 2. 실험

### 2.1 시험재

실험에 사용된 소재는 연속 풀림 열처리 공정에서 제조된 강재 및 그 표면에 소량의 Sn을 전기도금한 강재였다. Table 1은 시험재의 특성을 표시한 것으로 도금층, 탄소 당량 및 기계적 성질 등을 나타내고 있다. Sn 도금량은 한 쪽 면을 기준으로 1.1-11.2g/m<sup>2</sup> 범위의 제품을 사용 하였다.

### 2.2 용접 방법 및 입열량의 계측

용접 전원은 위상제어 형식의 실험용 장치였으며, 입열량의 범위는 7.35-16.8J/mm 이었다. 실험에 쓰인 와이어 전극은 직경 1.5mm의 순동 선이

Table 1. Physical properties of base metals

Steel	Sn coating (g/m <sup>2</sup> )	C <sub>∞</sub>	T.S. (MPa)	Thickness (mm)
A	-	0.078	411	0.21
B	2.0/2.0	0.070	441	0.21
C	2.8/2.8	0.111	418	
D	2.8/11.2	0.071	443	
E	2.8/2.8	0.073	439	0.25
F	2.8/5.6	0.076	403	
G	1.1/1.1	0.030	328	0.35
H	2.8/5.6	0.032	356	

며<sup>4)</sup>, 용접시 양면의 도금량이 다른 시험재는 서로 맞닿는 면의 도금 조건을 동일하게 유지 하였다. 용접 입열량의 계측은 직경 10mm의 공심형 저임피던스 전류 센서, 속도-전압 변환기 내장의 회전 속도계, 고속 A/D 변환기 및 컴퓨터 등으로 구성된 용접 공정변수 측정장치를 사용하므로써 측정의 신뢰도를 높이고자 하였다. 이 측정 장치에서는 용접 전압, 용접 전류 및 용접 속도의 변화를 얻을 수 있고, 그 결과는 다시 입열량 계산 프로그램에 의하여 용접 입열량으로 환산 하였다. 전극간 저항은 용접 공정변수 측정장치에서 얻어진 전류와 전압의 실효값을 기준으로하여 계산하고, 용접 후 각각의 값과 도금 피막과의 관계를 도출 하였다.

### 2.3 용접부의 특성 평가

용접부의 기계적 강도는 KS B 0801에 준하는 시험편을 이용하여 용접부 인장전단 시험 결과를 얻었다<sup>5)</sup>. 용접부의 기계적 성질 이외에도, 소재의 표면 특성을 표면 조도 시험장치, 저배율 광학 현미경 및 SEM을 이용하여 조사 하였다. 용접부의 조직은 사용된 소재가 연질, 극박판이라는 점을 감안하여 다이아몬드 커터로 조심스럽게 절단 및 후처리를 거쳐 관찰 하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 Sn도금 강재 표면의 특성

도금 강재의 저항 용접성은 도금량이 증가함에

따라서 더 높은 용접 전류를 사용하여야 하며 그 결과 전극 수명의 단축을 수반한다. 그러나, Sn도금 극박판 강재의 경우, 일정한 범위 내에서는 도금 두께가 얇을수록 오히려 적정 용접조건의 범위를 좁히는 경향이 있는 것으로 보고되고 있다<sup>6-8)</sup>. 특히, 1.1g/m<sup>2</sup> 내외의 도금층이 형성된 강재의 용접은 매우 까다로운 것으로 알려져 있으며<sup>9)</sup>, 강재 표면의 도금층 특성은 저항용접시 용접부의 전극간 저항에 영향을 미쳐 결과적으로 용접성을 좌우하는 중요한 인자이다.

Fig. 1은 본 실험에서 사용된 시험재들의 표면상태를 나타낸 것이다. 그림에서 좌측의 사진은 시험재의 표면을 광학 현미경으로 관찰한 것이며, 우측은 그 곳의 표면 조도를 나타낸 것이다. (a)에서는 냉간 압연에 의한 롤 전사 무늬와 높은 주파수의 조도 파형이 관찰되지만, 소량의 Sn 도금이 실시된 다음에는 표면 조도가 감소되었음을 (b)에서 알 수 있다. 문헌<sup>7)</sup>에서는 전기도금 소재의 경우, 도금 후 제품 표면의 조도가 도금 전 소재의 조도에 크게 영향을 받는 것으로 나타나 있다. 그러나, 사진에서 알 수 있는 바와 같이 도금 소재의 표면 조도가 도금량의 증가에 따라 감소하고 있었는데, 그것은 사용된 소재가 전기도금 후에 Sn의

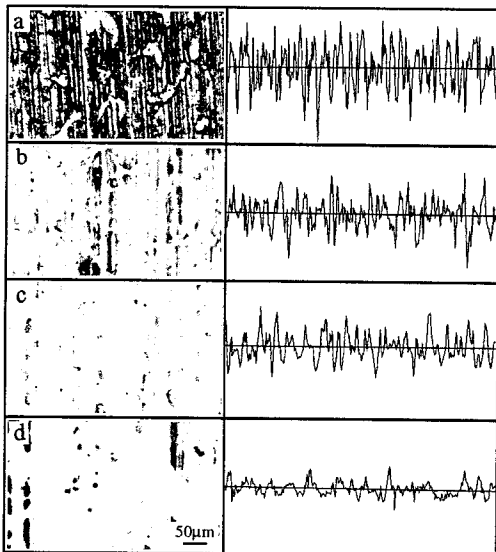


Fig. 1 Surface profiles of test materials. Coating weights are 0 (a), 2.8 (b), 5.6 (c) and 11.2 g/m<sup>2</sup> (d)

용융점 바로 위에서 베이킹 열처리를 받았기 때문이다. 한편, 도금량이 증가할수록 압연 무늬의 소멸 정도도 증가하고 있었는데, 도금량 11.2g/m<sup>2</sup>에서는 특히 거칠었던 일부 영역을 제외하고는 대부분 평탄한 표면을 나타낸다. Fig. 2는 실험에 쓰인 재료들의 표면 조도 측정 결과로 Ra 및 Rz는 각각 평균 조도값 및 첨두값을 의미한다<sup>10)</sup>. 그림에서 도금 전 소재의 Ra와 Rz는 각각 0.6 및 3.0µm 근처이나, 도금량이 높은 11.2g/m<sup>2</sup>의 조건에서는 그 값이 각각 0.16 및 1.1µm이다.

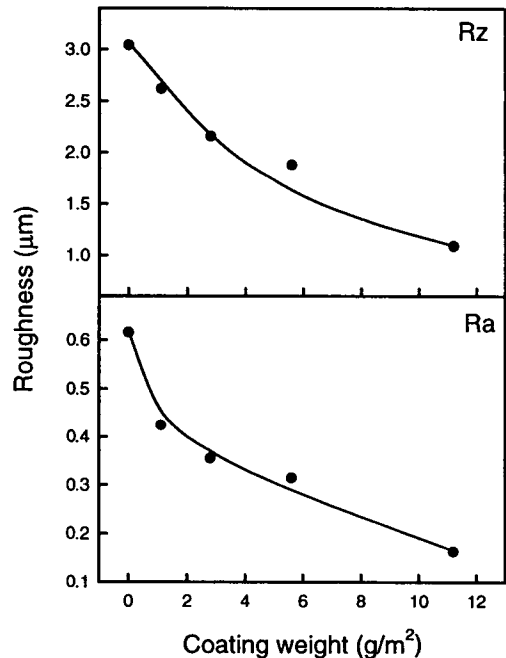


Fig. 2 Surface roughness values as a function of coating weight.

내식성만을 고려한다면 강재의 표면을 Sn으로 완전히 입히는 후도금이 유리하겠으나, 소재의 가격상승과 용접성의 손실을 초래한다. 따라서, 실용적으로 내식성을 크게 저하시키지 않으면서 용접성을 확보할 수 있는 임계도금량의 산출이 필요하다. Fig. 3은 도금 전, 후 소재의 표면조도를 개념적으로 보인 것이다. 그림에서 도금 두께를 Rz/2로 제어하면 특히 높은 일부를 제외한 거의 모든 산들이 Sn으로 피복되며, 도금 두께를 Ra로 관리하면 많은 산들이 미도금 상태로 노출된다. 따

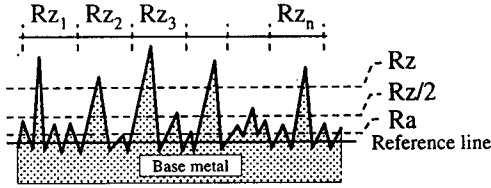


Fig. 3 Schematic illustration of Ra, Rz and Rz/2

라서, 용접성과 내식성을 고려한 입계도금량은 아래의 식과 같이 Rz/2와 Ra 사이에 존재함을 유추할 수가 있다.

$$W_{Ra, Rz/2} = d_{Sn} \times R \text{ ---- (식 1)}$$

여기서,  $W_{Ra, Rz/2}$  : Ra 또는 Rz를 기초로 한 입계도금량 (g/m<sup>2</sup>)

$d_{Sn}$  : 도금층의 밀도 (g/cm<sup>3</sup>)

R : 도금 전 소재의 Ra 또는 Rz/2 (μm)

한편, Fig. 4는 도금량에 따른 용접시의 전극간 저항변화를  $W_{Ra}$  및  $W_{Rz/2}$ 와 함께 나타낸 것이다. 그림에서는 Fig. 2의 표면조도 측정 결과와 유사하게 도금량이 증가함에 따라 전극간 저항도 감소하고 있으며, 도금량이 적은 조건에서는 접촉저항값이 높게 나타났을 뿐만 아니라 그 변화도 심하였다. 도금량이 일정값 이상으로 증가하면 전극간 저항이 안정되는 부분이 있었는데  $W_{Ra}$ 는 안정영역의 시작점 부근이었으나  $W_{Rz/2}$ 는 그 후반부에 존재하고 있었다.

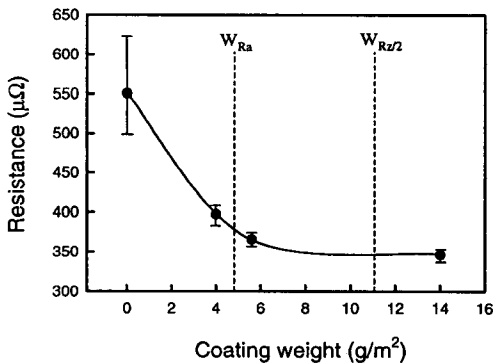


Fig. 4 Effect of coating weight on the resistance between welding electrodes

### 3.2 용접성에 미치는 도금층의 영향

Fig. 5는 Sn도금 강재의 용접 특성을 알아보기 위한 실험의 하나로 양면 도금 총량이 5.6 및 14.0g/m<sup>2</sup>인 시험재 C 및 D를 이용하여 입열량과 인장전단 강도와의 관계를 구한 것이다. 실험 결과에 의하면 입열량의 하한에서의 강도 상승에 대한 요구 에너지 변화량 ( $\delta_{sn}$ )은 30.1N/J로 매우 급격하다. 이것은 두께 1mm 내외의 전기 아연도금 강재를 이용하는 점 용접 결과<sup>9,11)</sup>의 경우,  $\delta_{zn}$ =3.62N/J 정도임을 볼 때 큰 차이를 보이는 것으로 극박판 Sn도금 소재의 저항용접에서 입열량의 하한 조건 설정이 쉽지 않음을 나타내고 있다. 이러한 이유는 극박 소재의 용접에 필요한 입열 에너지는 상대적으로 적게 요구되며 용융 금속의 질대량이 또한 적기 때문에 용접 과정에서 온도의 상승 속도와 함께 냉각 속도도 매우 큰 것에 기인한다. 한편, 도금량 증가에 따라 적정 입열 조건의 하한값도 증가하여 도금량과 소요 에너지와의 관계는 통상의 실험 결과<sup>6,12)</sup>와 유사함을 알 수 있었다.

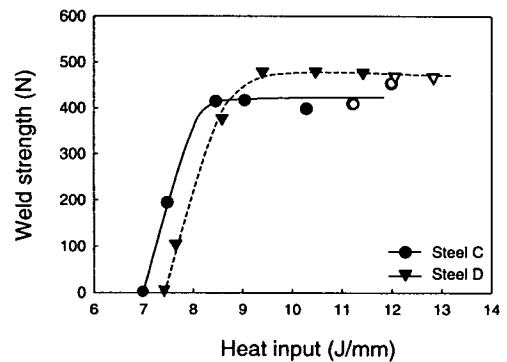


Fig. 5 Effect of coating weight on the weld strength

한편, 적정 용접전류의 상한치 즉, 과도한 용접 에너지에 의하여 스패터가 발생하는 입열량은 시험재 C 및 D에서 각각 10.92 및 11.83J/mm로, 도금량이 많을수록 상한 에너지의 소요도 높게 나타났다.

Fig. 6은 중간 정도의 도금량을 갖는 시험재 E 및 F에 대하여 용접속도 13m/min인 조건에서 적정 용접입열 범위 ( $\Delta Q$ )에 미치는 용접압력 및 도금량의 영향을 나타낸 것이다. 용접압력 감소에

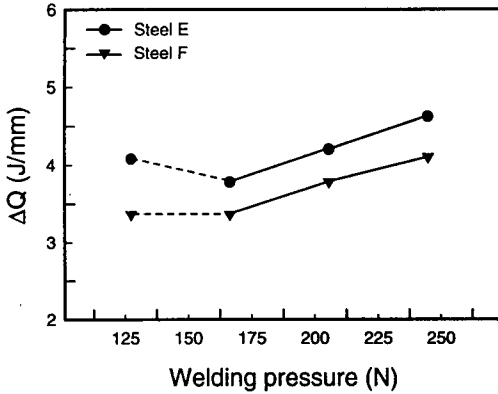


Fig. 6 Effect of welding pressure on the optimum welding heat input range,  $\Delta Q$

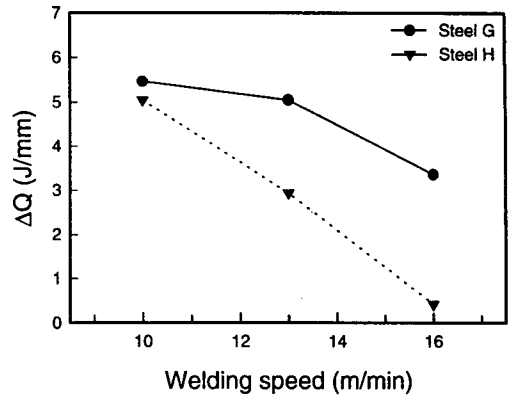


Fig. 7 Effects of welding speed and coating weight on the optimum welding heat input range,  $\Delta Q$

다른  $\Delta Q$ 의 변화는 전체적으로 감소하는 경향이었으나, 시험재 E 보다 F에서 예상보다 약간 둔감한 것으로 판단되었다. 이러한 결과는 도금 후 시험재 표면의 거칠기 변화에 의한 것으로 가압력이 낮은 조건에서는 표면상태가 스파터 발생에 민감한 영향을 준 반면, 가압력이 높은 경우는 그 영향이 상대적으로 감소하였기 때문으로 생각되었다. 한편, 이 실험 결과에서는 서로 접촉하는 면의 도금 조건이 같을 때 그 반대편 도금량의 경미한 차이는 용접성에 큰 영향이 없음을 추측할 수 있었다. 용접압력을 170N 이상으로 관리하였을 경우는 전체적으로 압력의 증가에 따라서  $\Delta Q$ 도 넓어지는 경향을 보였다. 이러한 사실은 적정 용접 조건의 설정에서 용접 압력의 중요성을 말하여 주는 것으로 생산성 측면에서는 높은 압력이 유리하겠지만, 압력의 증가는 용접 후 표면 품질의 저하와 밀접한 관계가 있으므로 주의가 필요하다. 또, 압력이 지나치게 낮은 조건(그림에서 점선 표시)에서는 용접부 품질 안정성이 낮아지고 있었다.

Fig. 7은 시험재 G와 H를 이용하여 가압력 200N으로 용접을 실시하였을 때,  $\Delta Q$ 에 미치는 용접속도 및 도금량의 영향을 나타낸 것으로, 용접속도 증가에 따라  $\Delta Q$ 는 현저하게 저하하고 있다. 이것은 용접속도의 증가가 통전시간을 변화시키는 효과에 기인하는 것으로 사료되었다. 또, 용접속도의 증가는 통전 단면적과 단위 길이당 투여 에너지를 동시에 감소시키므로 스파터 발생 한계전류와  $\Delta Q$ 의 감소를 수반하는 것으로 생각할 수 있었다. 한편, 도금량이 상대적으로 많은 소재 H(8.4g/m<sup>2</sup>)에서는 용

접 속도 증가가  $\Delta Q$ 를 더 크게 감소시키고 있었는데, 이러한 결과를 토대로하여 볼 때 도금량이 많은 소재는 가능한 한 낮은 속도로 용접을 행하는 것이 바람직 함을 알 수 있었다<sup>8)</sup>.

Fig. 8은 같은 두께의 시험재들(B, C 및 D)을 용접속도 10m/min 및 용접 압력 176N의 조건에서 와이어 심 용접을 실시할 때 도금량 변화가  $\Delta Q$ 에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 이 실험 결과에 의하면 Ra를 기초로 구한 임계 도금량 부근에서  $\Delta Q$ 는 최대값을 보이고 있다. 따라서, 용접성을 중요시할 경우에는 임계도금량의 하한을  $W_{Ra}$ 로 설정 가능하겠지만, 용접성과 함께 내식성도 검토의 대상으로 할 때에는 최대 도금 두께를  $W_{Rz/2a}$ 에 맞게 설정하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다. 그러나, 극히 낮은 도금량은 용접성과 내식성 모

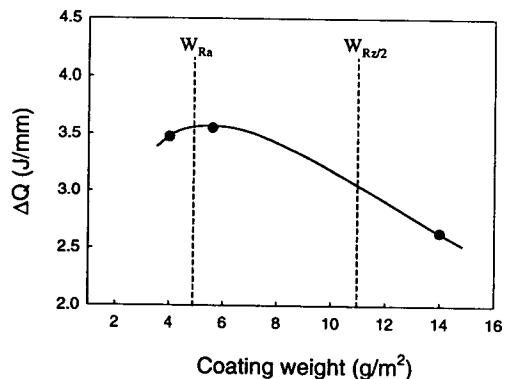


Fig. 8 Effect of coating weight on the optimum welding heat input range,  $\Delta Q$

두에서 바람직하지 않음을 알 수 있었다.

### 3.3 열영향부에서의 도금층 거동

Fig. 9는 용접부를 포함한 열영향부의 대표적인 표면 상태를 나타낸 것이다. 사진(a)의 상부(weld)는 전극과 접촉하여 실제로 발열과 함께 용융이 이루어진 곳으로 용접의 진행과 함께 일정한 간격으로 너깃이 형성된 흔적을 관찰할 수 있다. 여기서, 너깃의 표면이 매끈하지 않는 것은 용접 전원의 공급 방식의 영향이다<sup>13)</sup>. 한편, 열영향부는 도금된 Sn 피막의 연소 영역(HAZ-1)과 밝은 띠 모양으로 보이는 재용융 영역(HAZ-2)으로 나눌 수 있었다. HAZ-2는 용접시 Sn의 용점인 230℃ 근처까지 재가열 후 냉각된 곳으로, 도금량이 충분한 경우에는 용접 후에도 표면에 균일한 도금층을 다시 형성하지만 도금량이 적으면 국부적으로 도금 피막의 불연속이 발견되는 곳이다. 사진(b)~(d)는 이러한 사실을 확인하기 위한 실험의 예로서 (b)는 HAZ-2 표면의 SEM 영상이다. 또, (c)와 (d)는 그 부분에 대한 Sn 및 Fe 분석 결과로, 사진(b)의 중앙 부위에서 보였던 불규칙한 표면은 Sn보다 Fe가 상대적으로 많이 검출되고 있다. 이 실험 결과는 용접과정에서 용융된 Sn 도금층이 표면 장력 및 젖음성에 의하여 불균일하게 재분포되므로 도금층 고갈영역의 형성과 함께 소재인 Fe가 그대로 노출됨을 알 수 있었다. 이 시험재의 도금층 두께는 0.15μm로 도금부착량 1.1g/m<sup>2</sup>에 상당

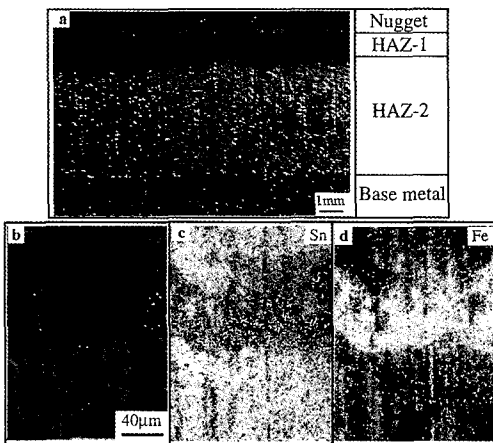


Fig. 9 SEM micrographs(a, b) near the nugget and analytical results(c, d) of HAZ

하는 시험재 G였는데, 이와같이 도금량이 극히 적은 소재를 용접할 때 열영향부에서는 용접 과정에서 용융되었던 도금층의 Sn이 표면 장력에 의하여 물방울 형태를 형성하였기 때문으로 추정된다. 또, 이러한 HAZ-2는 Sn 고갈에 따라 소재 금속이 그대로 대기 중 또는 부식 환경에 노출될 경우 내식성을 확보하기가 어렵기 때문에 적절한 후처리가 요구되는 영역이다.

### 3.4 용접부 단면 조직

Fig. 10는 극박 도금재인 시험재 G를 사용하여 용접을 실시한 다음 입열량 변화에 따른 용접부 단면 조직을 나타낸 것이다. 사진(a)는 입열량 10.5J/mm의 조건으로 용접된 시험편의 단면 조직이며 입열량 부족에 의하여 용접부의 형성이 불충분한 냉접 현상을 보이고 있었다. 사진(b)는 14.7J/mm의 입열량으로 용접된 경우이며 접합부에 일부 불연속선이 발견되기도 하지만 다른 부분에서는 건전한 용접부를 보였다. 이러한 용접부는 시험편 채취 위치에 따라 기계적 강도의 편차가 발생한다. 즉, 이 조건은 용접부 강도의 천이점으로 용접부 인장 전단 강도가 크게 변화하는 영역에 해당한다. 한편, (c)는 입열량이 충분한 18.9J/mm 조건으로 용접을 실시한 것으로서 용접부 계면의 불연속선이 없는 완전한 용접부임을 알 수 있다.

Fig. 11은 와이어 심 용접시 발견되는 결함의 하

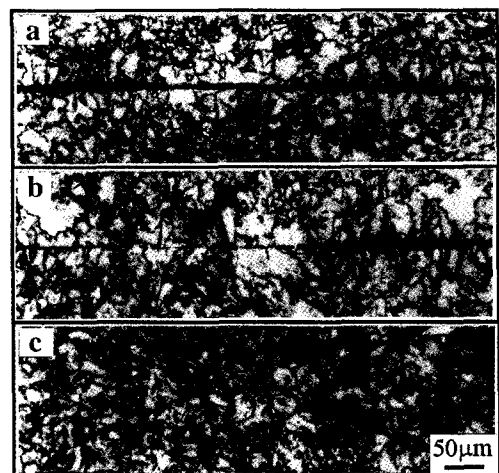


Fig. 10 Micrographs showing weld cross-section with heat input of 10.5(a), 14.7(b) and 18.9 J/mm(c)

나인 용접부 기공이다. 용접부의 중심에 생기는 기공은 표면의 Sn 층이 용접 중 완전히 배출되지 못하여 생긴것으로 알려져 있다<sup>14)</sup>. 또, 이러한 기공은 사진의 (b)에서 알 수 있는 바와 같이 용기 제조에서 소성 가공을 받은 후에도 그대로 남아 있다. 이러한 형태의 내부 결함은 용기의 기밀성에 영향을 주지는 않는다고 하더라도 용접부 안에서 열린 상태로 남아 있기 때문에 기공 내부에 존재하는 공기와의 산화 반응 등으로 부식을 촉진할 가능성이 있음을 예측할 수 있다.

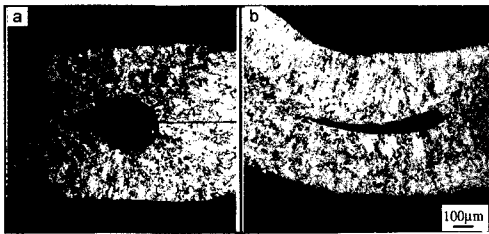


Fig. 11 Blowhole defect in the weld interface before (a) and after (b) cold forming

#### 4. 결 론

Sn도금 박판 강재의 와이어 심 용접성에 미치는 도금층의 영향을 조사하여 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) Sn도금 강재의 표면은 도금 두께가 증가할수록 표면 조도( $R_z$ )가 낮아지고 있었으나, 도금량이 증가하여도 표면 조도가 거의 변하지 않는 한계 도금량이 존재하였다. 표면 조도의 차이는 용접시 접촉 면적을 변화시켜 결과적으로 접촉저항에 영향을 미치며, 도금량이 특히 적은 조건에서는 용접성도 저하하는 것으로 나타났다.

2) 용접 조건과 용접성과의 관계를 종합하여 볼 때, 적정 입열 범위( $\Delta Q$ )는 전극 가압력이 증가함에 따라 넓어지는 경향을 보이므로, 생산성을 위하여는 용접부 표면 품질을 떨어뜨리지 않는 범위에서 높은 가압력을 사용하는 것이 유리하게 판단되었다. 한편, 용접 속도의 증가는  $\Delta Q$ 를 줄이는 효과가 있었는데, 특히 도금량이 많은 경우 더 심하였으므로 후도금 소재는 용접 속도를 일정값 이하로 관리하는 것이 바람직하였다.

3) Sn 도금 부착량은 극박도금 소재의 용접성에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 즉, 용접 조건을

일부 고정된 상태에서 용접을 실시하여 본 결과, 소정의 값보다 도금량이 많거나 적은 경우 용접성의 저하가 현저함으로 용도에 따라 적정 도금량의 설정이 필요하였다.

4) 박도금 소재의 용접에서는 용접 열에 의한 도금층의 용융이 열영향부에 Sn 고갈 영역을 만들기 때문에 내식성을 확보하기 위하여는 적절한 용접 후처리가 요구되었다. 한편, Sn 고갈 영역의 형성 원인은 용융 Sn과 소재 금속과의 젖음성 및 표면장력에 관계가 있는 것으로 판단되었으나 향후 정밀한 연구가 필요한 부분으로 생각되었다.

#### 참 고 문 헌

1. E. Morgan: Tinplate and Modern Can Making Technology, Pergamon Press (1985)
2. T. B. Massalski, J. L. Murray, L. H. Bennett, H. Baker: Binary Alloy Phase Diagrams, Vol. 1, ASM (1986)
3. 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, Mar. (1983), 58
4. E. A. Anderau, J. Opprecht: Resistance Seam Welding of Coated Steel Sheets, Technical Report, Soudronic Ltd.,
5. KS B 0801-1981, 금속재료 인장시험편
6. 김기철, 이기호, 이목영: 용접조건이 소형 용기용 TP 소재의 와이어 심 용접성에 미치는 영향, 대한용접학회지 15-5 (1997), 448
7. 小原昌弘, 齊藤 享: 表面處理鋼板の溶接, 溶接學會誌, 63-4 (1994), 277
8. 田中甚吉, 樺澤眞事: 薄めつきふりきの抵抗シム溶接性, 日本鋼管技報, No. 98 (1983), 1
9. 선우정호, 신정철, 노경준: 냉연/도금 제품의 광택성 제어기술 개발, RIST 95A044 (1996), 78
10. KS B 0161-1988, 표면 거칠기의 정의 및 표시
11. 小野守章, 樺澤眞事, 田中甚吉: 薄めつきふりきのシム溶接性, 鐵と鋼, 68-12 (1982), s1170
12. 抵抗溶接研究委員會: 抵抗溶接現象とその應用(I), 溶接學會技術資料 No. 7 (1982), 76
13. M. Sodeik, Rasselstein, Neuwied: Influences of Material Properties on Side Seam Welding of Cans made of Tinplate, Proc. of 2nd International Tinplate Conference (1982), 112
14. G. F. Norman: Welding of Tinplate Containers-An Alternative to Soldering, Proc. of 1st International Tinplate Conference, (1976), 239