

# Nd:YAG 레이저를 이용한 알루미늄도금강판의 용접특성

## -용접부내 알루미늄의 거동-

### Nd:YAG Laser Weldability of Aluminized Steel

#### - Behavior of Al in the weldmetal -

이정한\*, 김종도\*\*, 김기철\*\*\*, 김숙환\*\*\*

\* 한국해양대학교 대학원

\*\* 한국해양대학교 기관시스템공학부

\*\*\* 포항산업과학연구원 용접센터

## 1. 서 론

알루미늄도금강판은 높은 성형성과 강도 등 강판 고유의 기계적 특성에 알루미늄의 내식성을 조합시킨 고품위 표면처리강이다. 내식성 도금강의 대표 재료는 아연도금강판이며 자동차 부품, 건축재료 또는 가전용 소재로 널리 사용되어 왔다. 그러나 아연도금강은 고온에서 사용이 곤란하며 알루미늄 대비 내식성도 열세로 알려져 있다. 따라서 자동차 배기계, 주방기기, 보일러 등과 같이 고온(약 550°C)에서 내식성이 요구되는 부분과, 건물 외벽과 같이 고내식성을 요구하는 부분에는 알루미늄도금강판의 사용이 증가되는 추세이다.

레이저 용접은 용접부의 투입열량이 적고 가열 범위가 국부적이며 고속용접이 가능하기 때문에 박판재의 용접에 큰 장점이 있으나 아연계 도금강에는 적용이 매우 어렵다. 한편 알루미늄도금강판의 레이저 용접에서는 용접시 도금 피막의 손실이 거의 없고 용접 공정의 안정성이 높기 때문에 아연도금강과 비교할 수 없을 정도의 장점이 있는 것으로 보고되고 있다<sup>1)</sup>.

그러나 알루미늄 도금강의 레이저 용접에서는 도금층이 용접부로 혼입되어 강도를 낮추거나 응고조직 조대화를 유발하는 문제점이 있다<sup>2,3)</sup>.

따라서 본 연구에서는 이러한 문제점 규명의 일환으로 용접부에서 알루미늄 도금층의 거동을 조사함으로써 알루미늄 도금강의 레이저 용접성 향상에 기여하고자 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 시험재

두께 0.6mm, 도금량이 양면 80~160g/m<sup>2</sup>인 알루미늄도금강을 사용하였으며 이음형태는 겹치기 용접이었다. Table 1에 본 연구에 사용된 시험재의 화학조성을 나타낸다.

Table 1 Chemical compositions of test steels and coating weight

Test steel	C	Si	Mn	P	S	Coating weight (g/m <sup>2</sup> )
steel A	0.0024	0.001	0.090	0.120	0.007	80
steel B	0.002	-	0.090	0.015	0.007	120
steel C	0.0016	0.002	0.080	0.012	0.005	160

### 2.2 실험방법

시험편은 Nd:YAG 레이저를 이용하여 비초점 거리( $f_d$ ) 0mm에서 레이저 출력(P) 1.5kW, 이송 속도( $v$ ) 2.7m/min으로 완전용입용접을 실시하였다. 이때 용접부를 Ar으로 실드하였다. Table 2에 본 연구의 용접조건을 나타낸다.

Table 2 Laser welding conditions

Laser power, P(kW)	1.5
Welding speed, $v$ (m/min)	2.7
Gap of lap joint, G(mm)	0
Defocused distance, $f_d$ (mm)	0
Shield gas	Ar
Flow rate of shield gas, Q( $\ell$ /min)	15

도금층의 알루미늄이 용접부에 미치는 영향을 평가하기 위해 용접 전에 Fig. 1과 같이 도금층 조건을 변화시켜 용접을 실시하였다. 알루미늄도금층 제거는 80% 염산수용액을 이용하였으며 상부 도금층만 제거한 경우(Sample 2), 겹치기 계면의 도금층만 제거한 경우(Sample 3), 양면 도

금을 모두 제거한 경우(Sample 4)의 3가지 시험재를 양면도금이 되어있는 시험재(Sample 1)와 비교·분석하였다. 용접부 단면은 절단, 연마 후 나이탈 5%로 부식하고 광학현미경 관찰을 실시하였다. 용접부 내의 조성 및 특성 등을 분석하기 위해서는 EPMA를 이용하였다. 용접부 내 알루미늄 농화부는 미소경도기로 측정하여 기지와 비교하였으며 그 결과는 경도분포도로 만들었다. 또한 알루미늄농화부에서 TEM실험을 실시하여 Fe-Al 금속간화합물의 존재를 확인하였다.

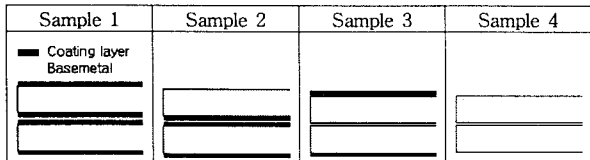


Fig. 1 Schematic of surface treatment before welding

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 도금층위치에 따른 용접부의 변화

Fig. 2는 도금층위치에 따른 용접부 단면조직의 예이다.

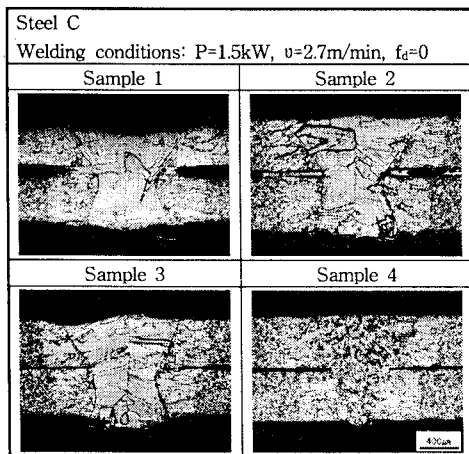


Fig. 2 Weld cross-section of surface pre-treated specimens

사진에서 알 수 있듯이 양면도금이 되어 있는 시험재와 상부 및 접합계면의 도금층을 제거한 시험재에서는 미세조직 차이를 발견할 수 없었다. 그러나 양면도금을 모두 제거한 시험재와 비교하면 용접부 조직은 큰 차이를 보였다. 즉 알루미늄이 도금되어 있는 강판의 용접부조직은 조대하고 용접부와 열영향부의 경계가 뚜렷한데 반해, 양면도금을 제거한 강판의 경우는 용접조직이 미세하고 그 경계가 불분명하였다. 따라서 도

금층의 알루미늄이 용접부 조직을 조대화시키는 원인이라는 것을 알 수 있다.

#### 3.2 용접부 내 알루미늄의 거동

Fig. 3은 도금부착량에 따른 용접부 단면사진이다. 용접부 내에는 기지조직과 완전히 용합 및 균질화하지 못하고 도금층이 뭉쳐있는 것으로 판단되는 영역이 발견되며 도금량이 증가할수록 그 면적도 넓어지고 있다.

Fig. 4는 도금량 160g/m<sup>2</sup>인 시험재 용접부 단면을 EPMA로 분석한 것으로 용접부 전체에 미량의 알루미늄이 분포하고 있으며 접합계면 주위에서 알루미늄 농화부가 확인되고 있었다.

이는 레이저 용접의 특징인 급열-급랭 공정에 의해 용융되었던 알루미늄이 용융부와 완전히 섞이지 못하였으며 잉여의 도금물질이 접하기 계면을 통하여 밀려나가는 상태에서 응고가 종료되었기 때문이라고 사료된다.

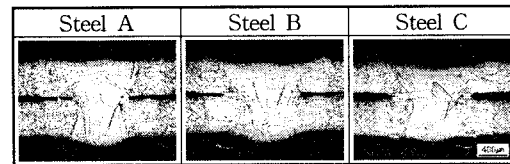


Fig. 3 Weld cross-section of Al coated steels(without surface pre-treatment)

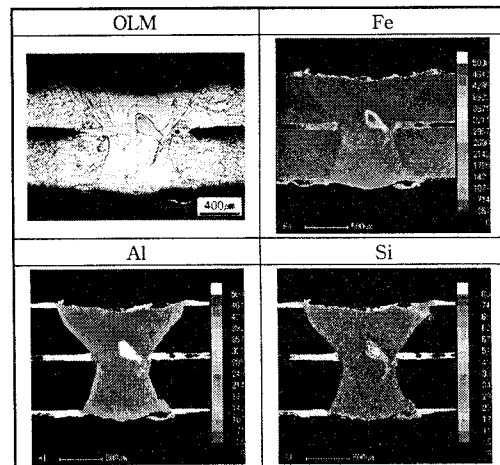


Fig. 4 EPMA analysis results showing Al concentrated region at weld metal

#### 3.3 용접부의 미소경도프로파일

전술한 바와 같이 알루미늄 도금강판의 용접에서는 도금층이 용접부로 혼입되면서 알루미늄 농화부를 만들었다. 이러한 알루미늄농화부가 용접부의 강도에 미치는 영향을 평가하기 위해 미소

경도 실험을 실시하였으며 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 실험결과를 살펴보면 용접부의 평균 경도(2.94N)는 156.3Hv였으나 알루미늄 농화역에서는 2~5배 정도 높은 경도값을 나타내었다. Fig. 6은 경도분포도를 작성하기 위하여 미소경도(0.098N)로 정밀 측정된 위치와 EPMA결과이며 Fig. 7에 경도분포를 도식화하였다. 그 결과 EPMA분석에서 알루미늄이 높게 검출되는 부분이 경도값 또한 높다는 것을 확인할 수 있었다.

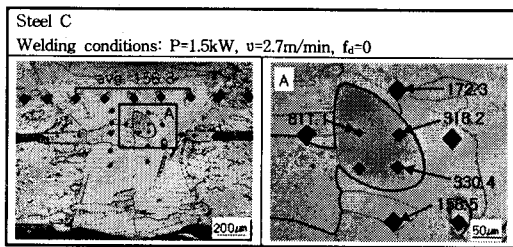


Fig. 5 Weld hardness test results

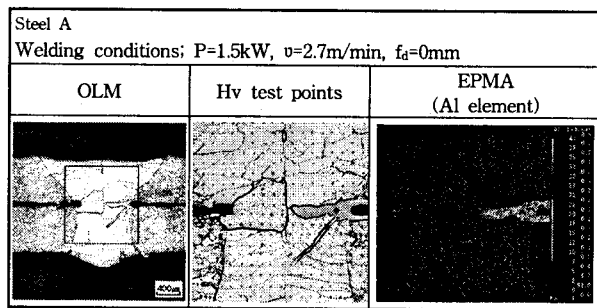


Fig. 6 Weld cross-section showing Hv test points and EPMA analysis result

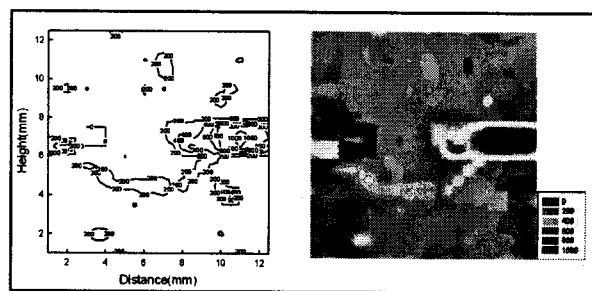


Fig. 7 Micro-hardness profile at weld metal(steel A)

### 3.4 용접부의 Fe-Al 금속간 화합물

알루미늄 농화부가 경도값이 높은 것은 Fe와 Al이 금속간 화합물을 만들기 때문이라 사료되어 TEM으로 확인한 결과를 Fig. 8에 나타낸다.

실험결과에 의하면 알루미늄농화부에서 몇 종류의 취성이 강한 Fe-Al의 금속간화합물을 발견할 수 있었다. 이러한 화합물이 접합부 주위에 많이 분포하고 있다는 사실은 용접부 인장강도를 낮출 가능성이 높을 뿐만 아니라 용접부 인성 확

보에도 영향을 미칠 것으로 사료된다.

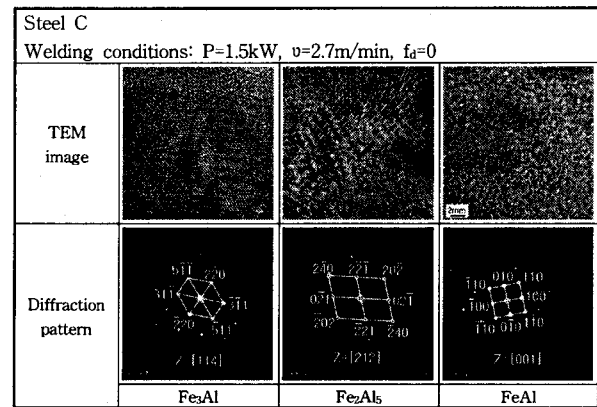


Fig. 8 TEM image and diffraction pattern of Al concentrated region

## 4. 결 론

1) 도금층을 각 부위별로 제거한 시험편과 양면도금강판의 용접부를 비교하여 보았을 때, 알루미늄이 용접부 조직 조대화의 원인이라는 것을 확인하였다.

2) 레이저 용접과정에서 알루미늄 도금층은 용융과 함께 용접부로 혼입되지만 용융금속에 완전히 용합되지 못한 알루미늄 농화영역이 존재하며 접합계면 근처에서 그 정도가 뚜렷하였다.

3) 알루미늄 농화부의 경도는 용접부 평균경도 대비 2~5배 높은 값을 나타내며 경도분포도를 작성하여보았을 때, 알루미늄의 거동과 경도값의 일치성을 확인할 수 있었다.

4) 알루미늄 농화부에서는 Fe<sub>3</sub>Al, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>, FeAl 등을 확인할 수 있었으며 접합계면 근처에서 금속간 화합물 발견 빈도가 많다는 것을 고려하여 볼 때 이들이 용접강도와 인성의 저하의 요인으로 판단되었다.

## 참 고 문 헌

1. K.C. Kim, J.H. Cha: Effect of Coating Weight on the Laser Weldability in the Welding of Aluminized Steels, Korean Journal of Materials Research, Vol. 14, No. 1, (2004), p1-8
2. 이정환, 김기철, 김종도: Nd:YAG 레이저를 이용한 알루미늄도금강판의 용접특성(I), 대한용접학회 추계 학술발표대회 논문집(2005), 249-251
3. 公開特許公報 特開2002-103072