

저탄소강의 알루미늄코팅조건에 따른 Nd:YAG 레이저 용접특성

김종도 †·이정한*·김숙환**·김기철**

Welding Characteristics of Low Carbon Steel with Al Coating Condition by Nd:YAG Laser

Jong-Do Kim[†], Jung-Han Lee^{*}, Sook-Hwan Kim^{**} and Ki-Chol Kim^{**}

Key Words: Low carbon steel(저탄소강), Aluminized steel sheet(알루미늄도금강판), Al coating condition(알루미늄 코팅조건), Laser welding(레이저 용접), Mechanical property(기계적 특성)

Abstract

Aluminized steel sheet that Al coated on low carbon steel has a excellent heat resistance, thermal reflection and corrosion resistance. It has applied to fuel tank, automotive exhaust systems, etc. Laser weldability of the aluminized steel for the full penetration welding will be described in this paper. We focused on the effect of Al coating conditions on weld strength. For these objectives, aluminized steel sheets that has various thickness and coating weight were prepared for laser welding. And then, tensile-shear and hardness test were carried out. At that same time, Al content mixed in weld after laser welding was evaluated and investigated a correlation between the mixed Al and mechanical properties. Besides, as removing partially coating layer, weldability has been investigated according to position of coating layer. As a result of this study, as increasing Al content in weld, tensile-shear strength was decreased. Also it was identified that Al of coating layer caused grain growth.

1. 서 론

저탄소강에 알루미늄을 용융도금한 알루미늄도금강판은 강판 고유의 기계적 특성에 알루미늄의 내식성을 조합시킨 고품위 표면처리강이다. 현재 내식성 도금강의 대표적인 재료는 아연계 도금강판으로써 산업계 전반에 걸쳐 폭 넓은 분야에서 사용되고 있다. 그러나 아연은 용점(약 419°C)이 낮아서 고온에서는 사용이 곤란하며, 내식성 이외에 내열성을 요구하는 분야에서는 알루미늄을

도금하여 사용하고 있다.

한편 선진국을 중심으로 실용화가 진행되고 있는 레이저 용접은 기존의 공법에 비해 가열범위가 국부적이며 입열량을 최소화 할 수 있고, 필러메탈의 사용이나 추가적인 후공정의 생략이 가능한 이점을 가지고 있다. 더욱이 고속용접이 가능하기 때문에 박판재의 용접에 큰 장점을 가지고 있으며, 표면처리강판의 적용시 도금 피막의 손실을 최소화 할 수 있는 공법이다.

그러나 아연도금강판의 레이저 용접은 아연의 낮은 물성(비점: 906°C)에 의해 용접이 곤란하며, 이를 해결하기 위해 접침부에 간극을 두거나 하이브리드 용접을 실시하는 등의 연구^(1,2)가 진행되고 있는 상황이다. 이에 반해 알루미늄도금강판은 알루미늄의 비점(2,450°C)이 철의 비점(3,000°C)과 상대적인 차이가 적기 때문에 아연도

† 한국해양대학교 기관시스템공학부

E-mail : jdkim@hhu.ac.kr

TEL : (051)410-4253 FAX : (051)410-4830

* 한국해양대학교 대학원

** 포항산업과학연구원 용접센터

금강관에 비해 건전한 접합부를 얻을 수 있다는 보고⁽³⁾가 있으나, 이에 대한 연구가 많이 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 저탄소강의 알루미늄 코팅조건에 따른 CW Nd:YAG 레이저의 용접특성에 관하여 조사하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료

본 실험에 사용된 레이저 용접용 재료는 저탄소강 기지에 알루미늄이 용융도금되어 있는 표면처리강관으로써 두께는 0.4~1.5mm^t, 도금량은 양면 40~160g/m²이다. Table 1에 그 화학적 조성을 나타내며 탄소함량의 차이가 적기 때문에 도금량에 따른 용접부의 기계적 특성을 평가하는데 적합한 소재라 할 수 있다.

2.2 실험방법

시험편은 CW Nd:YAG 레이저를 사용하여 완전용입의 조건으로 용접을 실시했으며 주요 공정 변수로는 레이저 출력과 용접속도로 한정하였다. Table 2에 본 연구의 용접조건을 나타낸다.

인장전단시험편은 Fig. 1에서 나타낸 것처럼 도금량에 따른 용접부의 접합강도를 평가하기 위해 시험편 좌·우를 가공하였으며, 용접시 도금층으로부터 용접부로 혼입된 알루미늄의 정량분석을 위해 면적계산법과 습식분석을 실시하였다.

면적계산법이란 알루미늄과 철의 비점 차이가 아연에 비해 크지 않다는 점에 착안하여, 레이저 용접시 증발되어 소모되는 알루미늄량을 무시하고 용접부로 모두 혼입된다는 가정하에 “용접부

Table 1 Chemical compositions of aluminized steel

Thick-ness (mm ^t)	Al coating weight (g/m ²)	Chemical compositions(wt%)					
		C	Si	Mn	P	S	Fe
0.4	80	0.002	0.000	0.110	0.0013	0.005	bal.
	120	0.003	0.010	0.080	0.012	0.008	bal.
0.6	80	0.0024	0.001	0.090	0.120	0.007	bal.
	120	0.002	0.000	0.090	0.015	0.007	bal.
	160	0.0016	0.002	0.080	0.012	0.005	bal.
1.2	40	0.002	0.000	0.190	0.010	0.007	bal.
	80	0.0026	0.002	0.090	0.012	0.007	bal.
	120	0.0026	0.002	0.090	0.012	0.007	bal.
1.5	80	0.0030	0.000	0.080	0.008	0.009	bal.
	120	0.0025	0.002	0.080	0.009	0.006	bal.

Table 2 Laser welding conditions

Welding parameters	Ranges
Laser power, P (kW)	1.5~2
Welding speed, v (m/min)	0.6~6
Gap of lap joint, G (mm)	0
Defocused distance, f_d (mm)	0
Shield gas	Ar
Flow rate of shield gas, Q (ℓ/min)	15

단면적 당 혼입된 알루미늄량”을 2차원적으로 평가한 것이다. Fig. 2의 단면 모식도에서 나타낸 것처럼 상부비드폭(W_i), 접합부폭(W_j), 하부비드폭(W_b)를 광학현미경으로 측정하여 용접부 단면적을 구했으며, 알루미늄도금층면적은 도금두께와 비드폭의 곱으로 구했다.

습식분석은 면적계산법을 비교·검증하기 위한 방법으로 시험편 두께 0.6mm^t, 도금량 80g/m², 120g/m² 및 160g/m²에 한하여 ICP장비를 사용하여 분석하였다. ICP시료는 Fig. 3과 같은 방법으로 용접부 만을 채취하였다.

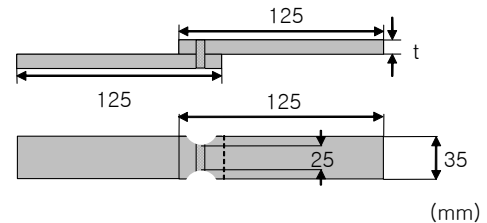
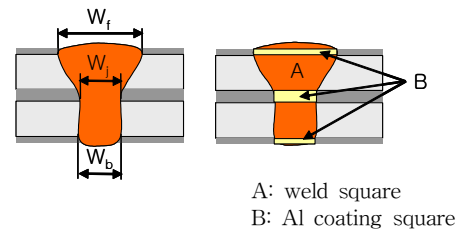


Fig. 1 Specimens for tensile-shear test



$$\ast (B/A) \times 100 = (\text{Al coating square} / \text{weld square}) \times 100$$

Fig. 2 Schematic illustration of weld

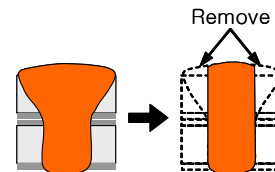


Fig. 3 Preparation of ICP specimens



Fig. 4 Schematic of surface treatment before welding

또한 도금층 위치에 따른 용접성을 평가하기 위해 용접 전에 Fig. 4에서 나타낸 것처럼 도금층 조건을 변화시켜 용접을 실시하였다. 알루미늄도금층 제거는 80% 염산수용액을 이용하였으며 상부 도금층만 제거한 경우(Sample 2), 겹침부의 도금층만 제거한 경우(Sample 3), 양면도금을 모두 제거한 경우(Sample 4)의 3가지 시험편을 양면도금이 되어있는 시험편(Sample 1)과 비교·분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 도금량과 접합강도의 관계

Fig. 5에 시험편 두께 증가에 따른 접합강도의 관계를 나타내며, 모재강도와 비교하였다. 그래프에서 알 수 있듯이 모재강도는 시험편 두께 증가에 따라 비례하여 증가하는 반면, 용접부의 접합강도는 시험편 두께 1.2mm^t를 기점으로 그 증가폭이 감소하는 경향이 발견되었다. 이는 시험편의 파단형상과 관련이 있다고 사료된다. Fig. 6에서 나타낸 것처럼 0.6mm^t 시험편은 HAZ에서 파단이 일어났으며, 0.4mm^t도 동일한 경향을 보였다. 반면 1.2mm^t는 겹치기 용접부에서 파단이 일어났으며, 1.5mm^t도 동일한 위치에서 발생했다. 이는 시험편 두께 대비 접합부폭의 관계(W_j/t)에서도 확인할 수 있는데, Fig. 7에서 나타내듯이 0.4mm^t와 0.6mm^t의 경우에는 W_j/t 값이 큰 것에 반해, 1.2mm^t와 1.5mm^t는 W_j/t 값이 작다. 따라서 파단형상 차이는 용접부 형상과 관련이 있다고 사료되며, 부수적으로 도금층에서 혼입된 알루미늄이 용접부 강도에 영향을 미친다고 판단된다.

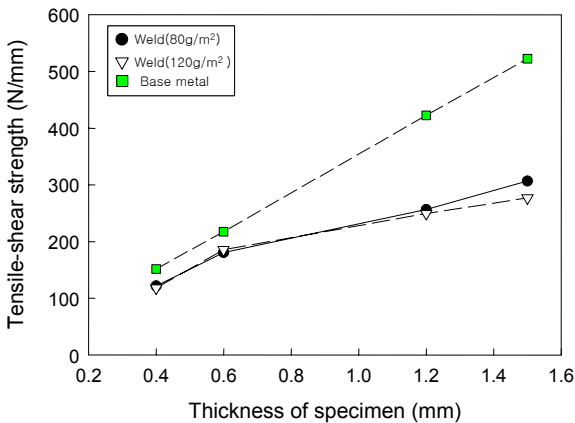


Fig. 5 Variation of tensile-shear strength with thickness of specimen

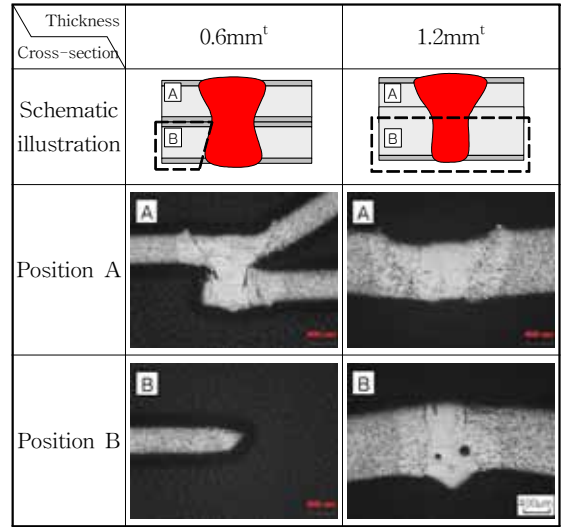


Fig. 6 Cross-section of fracture

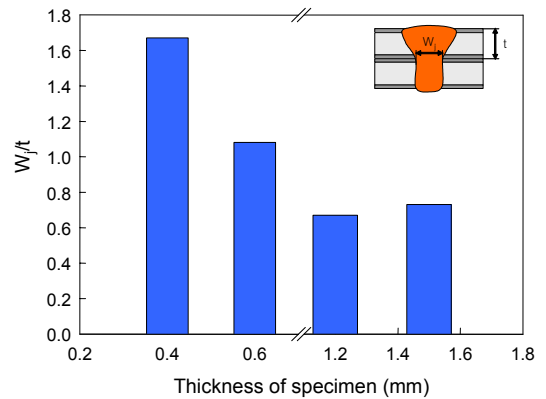


Fig. 7 Variation of W_j/t with thickness of specimen

3.2 도금량과 경도의 관계

알루미늄도금강판의 용접시 혼입된 알루미늄이 용접부의 기계적 특성에 미치는 영향을 파악하기 위해 인장전단시험 외에 경도시험을 실시하였다. 시험에 사용된 비커스경도의 하중은 0.3kgf이며 상부 시험편의 가운데 지점에서 0.2mm간격으로 측정하였다. 대표적인 시험편 0.6mm^t의 경도분포를 Fig. 8에 나타내었으며 용접부(weld), 열영향부(HAZ) 및 모재(base metal)의 평균 경도값을 병행하여 도시하였다. 그 결과 용접부의 경도값은 150.7Hv, 열영향부의 경도값은 112.5Hv 그리고 모재는 96.3Hv를 기록하였다.

또한 도금량 120g/m² 시험편의 두께별 용접부 경도값을 나타낸 Fig. 9에서 알 수 있듯이, 시험편 두께가 증가할수록 용접부의 경도값은 하락하는 경향이 확인되었다. 이는 용접부에 혼입되는 알루미늄과 연관이 있다고 판단된다. 즉 시험편

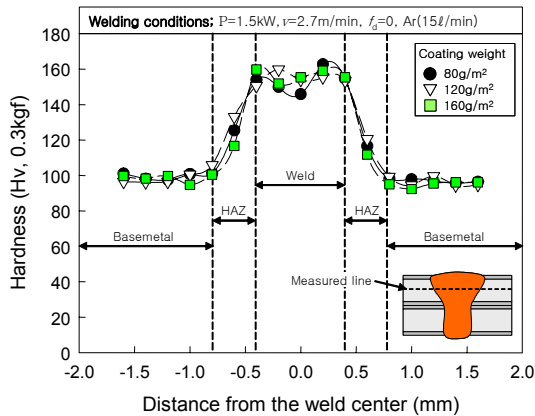


Fig. 8 Hardness distribution of aluminized steel sheet(0.6mm)

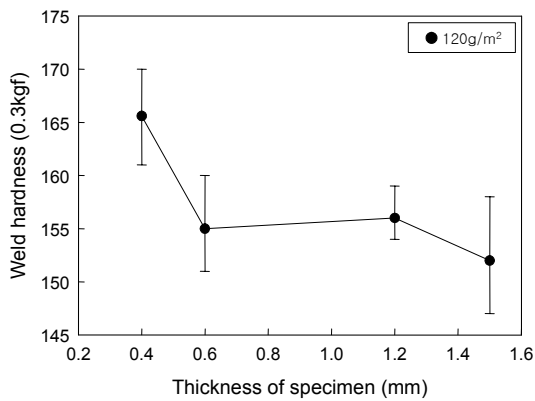


Fig. 9 Variation of weld hardness with thickness of specimen

의 두께가 증가할수록 용접부 내 혼입되는 알루미늄량은 감소하게 되며, 상대적으로 높은 알루미늄 혼입율을 나타내는 0.4mm^t와 0.6mm^t 시험편의 경도값이 높다는 것을 고려하여 볼 때, 혼입된 알루미늄이 용접부를 경화시키는 원인으로 사료된다.

3.3 용접부 내 알루미늄 혼입량의 정량분석

Fig. 10은 면적계산법과 ICP분석으로 구한 알루미늄 혼입량의 비교결과이다. 실험에 사용된 시험편의 두께는 0.6mm^t, 도금량은 80g/m², 120g/m² 및 160g/m²이었다. 그 결과 도금량이 80g/m²인 시험편은 3.8%, 120g/m²은 22.3% 그리고 160g/m²은 22.8%의 차이를 나타내었다. 이는 ICP분석시료를 채취하는 과정(Fig. 3참조)에서 발생하는 오차 때문이며, 실질적인 차이는 크지 않을 것이라 판단된다. 또한 알루미늄도금강관의 용접부 내에 기공이 없다는 것은 증발되어 소모되는 알루미늄량 또한 크지 않다는 것을 나타내므로, 면적계산법

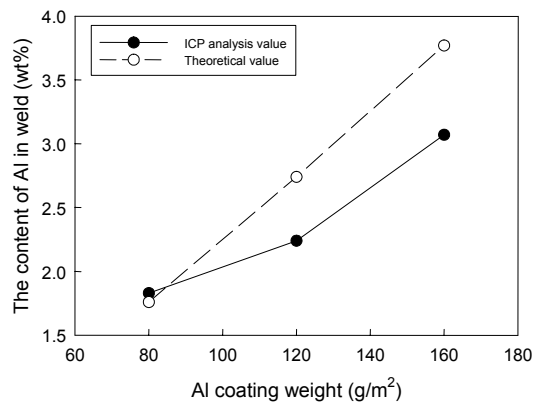


Fig. 10 Comparison of ICP and theoretical value with Al content in weld

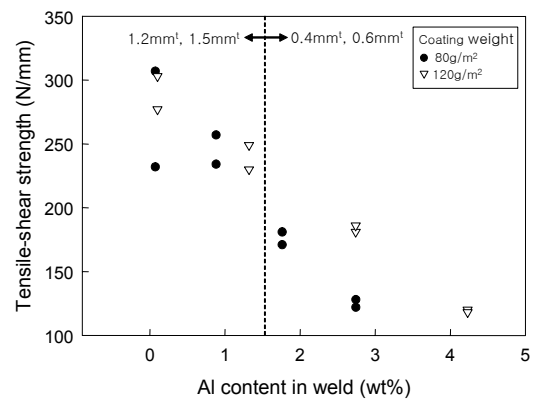


Fig. 11 Variation of tensile-shear strength on Al content in weld

을 통해 용접부로 혼입된 알루미늄량의 개략적인 평가를 할 수 있다고 판단된다.

Fig. 11은 면적계산법으로 구한 알루미늄의 정량값과 접합강도의 관계를 도시한 것이다. 용접부 내 알루미늄량이 증가할수록 접합강도가 감소하는 사실을 확인할 수 있다.

3.4 도금조건에 따른 용접특성의 변화

도금층의 알루미늄이 용접부로 혼입되면서 접합강도를 떨어뜨린다는 것을 앞서 확인할 수 있었다. 본 절에서는 알루미늄도금강관의 겹치기 레이저 용접시 도금층 위치에 따른 알루미늄의 영향을 평가하기 위해 도금층을 부위별로 제거한 후 용접을 실시하였으며, Fig. 12에 그 결과를 나타내었다. 단면조직을 관찰하여 보면, 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.

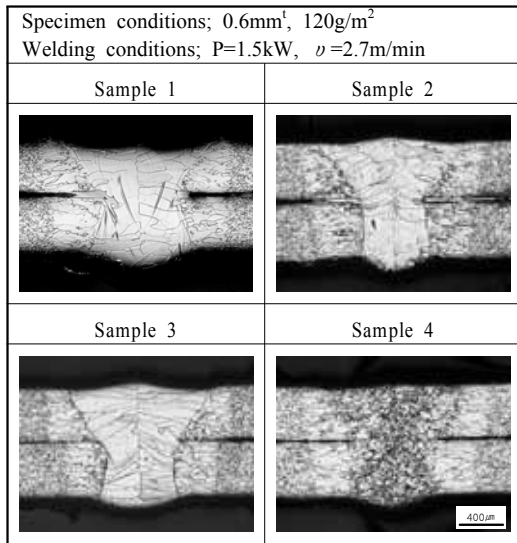


Fig. 12 Weld cross-section of surface pre-treated specimens

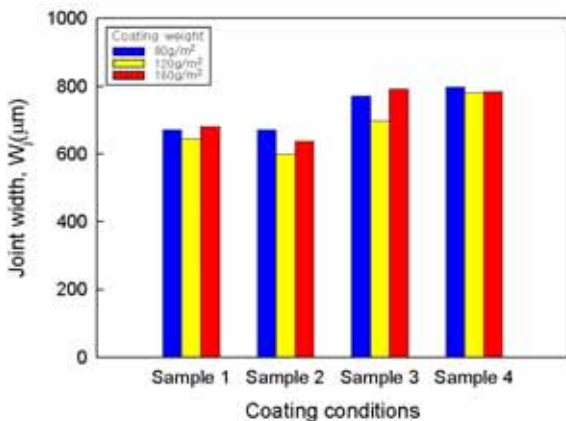


Fig. 13 Effect of coating conditions on formation of joint width

즉 알루미늄이 도금되어 있는 강판의 용접부 조직은 조대하고 용접부와 열영향부의 경계가 뚜렷한데 반해, 양면도금을 제거한 강판의 경우는 용접조직이 미세하고 그 경계가 불분명하였다. 따라서 도금층의 알루미늄이 용접부 조직을 조대화시키는 원인으로 사료된다.

이와 같은 알루미늄의 효과에 관해 알루미늄이 탈산제 및 오스테나이트 안정화원소로서 페라이트조직을 조대화시킨다는 보고⁽⁴⁻⁶⁾가 있으며, 조대한 용접부 조직이 접합강도 저하를 유발하는 원인 중 하나라 판단된다.

Fig. 13은 도금층을 부위별로 제거한 후, 용접한 시험편의 접합부폭(W_j)변화를 도시한 것이다. 양면도금층을 갖는 시험편과 상부도금층을 제거

한 시험편은 겹침부와 양면도금층을 제거한 경우에 비해 접합부폭이 좁다는 사실을 확인할 수 있다. 이는 겹침부 사이의 알루미늄도금층이 용접시 접합부의 열을 빠르게 외부로 전달하기 때문에 판단되며 도금량 차이에 따른 특별한 경향은 확인되지 않았다. 따라서 접합부의 도금층을 제거하거나 편면도금강판을 사용하여 겹치기 용접을 실시하면 강도에 영향을 미치는 접합부폭을 증가시킬 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결론

저탄소강 기지의 알루미늄 도금조건에 따른 Nd:YAG 레이저 용접성을 평가한 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 인장전단시험 결과, 용접부 강도에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 용접부 형상이었으며, 시험편 두께에 따라 파단형상을 달리하였다.
- 2) 두께별 용접부의 경도값을 비교하여 보았을 때, 혼입된 알루미늄이 용접부를 경화시키는 원인으로 사료된다.
- 3) 용접부 내 알루미늄의 정량분석 결과, 알루미늄 혼입량이 증가할수록 접합강도는 하락하였다.
- 4) 도금층을 각 부위별로 제거한 시험편과 양면도금강판의 용접부를 비교하여 보았을 때, 알루미늄이 용접부 조직 조대화의 원인이라는 것을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- (1) Hongping Gu, 2000, "A New Method of Lap Welding of Zinc-coated Steel Sheet", *Section C-ICALEO*, pp. 1-6
- (2) Claus Bagger, Isamu Miyamoto, Flemming OSEN, 1992, "Process Behaviour during High Power CO₂ Laser Welding of Zinc Coated Steel", *Proceedings of LAMP*, pp. 553-558
- (3) Ki Chol Kim, Joon Ho Cha, 2004, "Effect of Coating Weight on the Laser Weldability in the Welding of Aluminized Steels", *Korean Journal of Materials Research*, Vol. 14, No. 1, pp. 1-8
- (4) Japan Pat, No. 10-230363(1988)
- (5) Japan Pat, No. 7-157883(1995)
- (6) Japan Pat, No. 2002-103072(2000)