

## 아연도금강판의 CO<sub>2</sub>레이저-마이크로 플라즈마 하이브리드 용접

### CO<sub>2</sub> Laser-micro plasma hybrid welding for galvanized steel sheets

안영남\*, 조정호\*, 김철희\*, 김정현\*

\* 한국생산기술연구원 정밀접합팀

#### 1. 서 론

최근 레이저용접 관련 연구가 활발히 진행되고 있는 가운데 레이저와 아크를 동시에 사용하는 하이브리드 용접공법과 같이 빠른 용접속도, 깊은 용입, 적은 용입 입열량을 가지는 고품위 레이저 용접공정도 함께 개발되고 있다.

아연도금강판은 우수한 성형성 및 내부식성으로 인하여 자동차 차체에 많이 사용되고 있으나 간극이 없는 겹치기이음부(lap joint)에 레이저 용접을 사용할 경우 용접부 품질에 심각한 문제를 발생시킨다. 이것은 모재인 강 용접(1530°C)보다 아연의 비등점(906°C)이 낮기 때문에 발생한다<sup>1)</sup>. 레이저가 조사되면 겹쳐진 면에서의 아연도금층이 기화하면서 부피가 팽창하고 그 압력으로 인해 상대적으로 약한 용융풀을 통해 아연증기가 외부로 분출하게 된다. 이때 용접부에서는 다량의 스파터가 발생하면서 표면에 블로우홀(blow-hole)이 발생하게 되며, 용융풀 내에 아연증기가 잔류하거나 대기가 유입하여 기공(porosity)을 형성하기도 한다. 이렇게 발생한 블로우홀과 기공은 용접부의 기계적 성질에 치명적인 영향을 미치는 용접불량이므로 반드시 발생을 방지하여야 한다.

아연도금강판의 겹치기 이음부를 레이저 용접할 때 발생하는 결함을 방지하기 위해 다양한 연구가 진행되어 왔지만, 생산적용에 적합한 방법은 여전히 개발이 미비한 실정이다. 대표적인 방법으로 모재가 겹쳐진 면에 간극을 주어 아연증기의 통로를 확보하는 방법, 기계적 또는 화학적인 방법을 이용하여 용접부의 도금층을 제거한 후 용접하는 방법, 펄스 레이저를 이용하여 키홀의 형성을 변화시키는 방법, 두 개의 레이저빔을

이용하여 도금층을 제거하면서 용접하는 방법 등이 있다. 기존의 방법 중에서 간극을 조성하는 방법이 생산현장에서 많이 쓰이고 있으나 간극의 제어가 쉽지 않으며 다른 방법들은 생산성의 문제로 많이 사용되고 있지는 않다.

레이저-아크 하이브리드 용접공정은 레이저 용접전원과 아크 용접전원을 동시에 적용하여 하나의 용접부를 형성하는 공정으로 레이저용접의 장점과 아크용접의 장점을 동시에 가지고 있는 용접방법이다. 이때 레이저와 아크간의 배치를 통하여 용접부에 대한 예열 및 후열 처리가 가능한 특징을 가지고 있다<sup>2,3)</sup>.

저자들은 간극의 제어 없이 레이저 용접을 아연도금강판의 겹치기 용접에 적용하기 위해 CO<sub>2</sub> 레이저-티그 하이브리드 용접을 평가한 바 있다<sup>4)</sup>. 그러나 이 경우에 용입을 확보하기 위하여 레이저 단독용접과 동일한 레이저 출력을 이용하면서 아연층의 영향을 제거하기 위한 TIG 아크 입열이 동시에 이용되므로 입열이 증가하는 단점이 있다. 이에 따라 용접부의 품질이 향상될에도 불구하고 변형을 최소화하는 데는 한계가 존재하였다.

따라서 본 연구에서는 저입열 아크용접을 이용하여 변형의 문제를 해결하고자 CO<sub>2</sub> 레이저-마이크로 플라즈마 하이브리드 용접을 적용하여 별도의 간극제어 없이 아연도금 강판의 겹치기 용접부의 용접특성을 평가하였다.

#### 2. 실험 장치 및 방법

본 연구에서는 CO<sub>2</sub> 레이저-마이크로플라즈마 하이브리드 용접을 수행하기 위하여 Fig. 1과 같이 X-Y-Z 3축으로 구성된 용접 시스템과 공

정변수 조절이 가능하도록 구성된 하이브리드 용접헤드를 이용하였다. 레이저용접의 구현을 위하여 12kW급 CO<sub>2</sub>레이저를 사용하였으며 초점위치에서 빔의 지름은 0.4mm이고 초점거리는 250mm이다. 레이저는 모재에 수직으로 조사되었으며, 모재의 표면에 초점을 두어 실험을 진행하였다. 플라즈마 용접을 위하여 80A급 마이크로 플라즈마 용접기와 1.5mm 직경의 텅스텐 전극봉을 이용하였다.

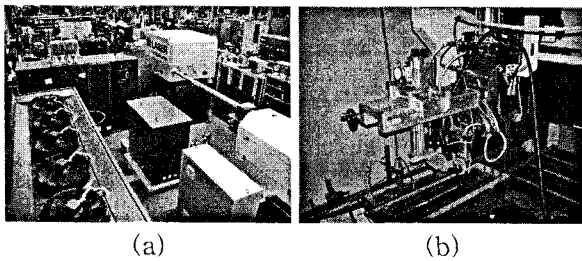


Fig. 1 Experimental apparatus: (a) CO<sub>2</sub> Laser-micro plasma hybrid welding system, (b) CO<sub>2</sub> laser-micro plasma hybrid welding head(b)

사용된 시편은 KS D 3506 "용융 아연도금강판 및 강대"에 관한 규격에서 규정한 SGCD1 강판으로 그 기계적 특성과 화학 조성을 Table 1에 나타내었다. 시편의 두께는 1mm이고 너비와 길이는 각각 100mm, 300mm이며, 용접선의 길이는 200mm 이다. 도금층은 아연이 전면과 후면 모두 54g/m<sup>2</sup>로 도금되어 있고 이때의 경도는 HRB 35.5이다.

Table 1 Property of SGCD1 steel used

Mechanical Property	YP(MPa)	TS(MPa)	EL(%)		
	147	292	48		
Chemical Composition (%)	C	Si	Mn	P	S
	0.0028	0.009	0.129	0.0079	0.0097

접이기 조성한 시편은 롤러 형식의 지그를 이용하여 고정한 다음 실험을 수행하였다. 롤러를 이용하여 일정한 힘으로 용접부 근방을 고정하여 부재사이의 간극이 존재하지 않도록 유지하였다.

기존 실험결과와의 비교를 위하여 레이저 출력은 4kW, 용접속도는 3m/min로 고정하였으며<sup>4)</sup>, Fig. 2와 같이 토치각도는 60°로 설정하였다.

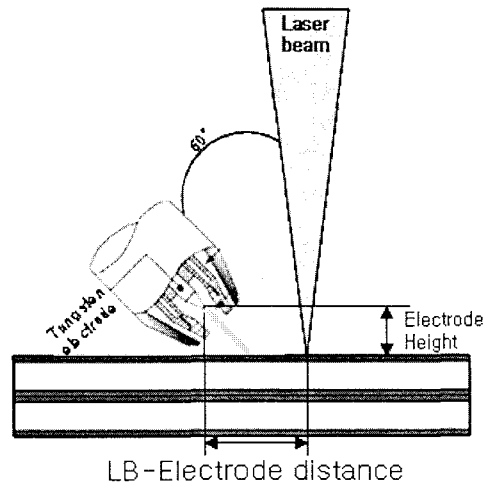


Fig. 2 Schematic diagram of laser-micro plasma welding

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 레이저 단독용접 결과

아연도금강판의 간극이 없는 접이기 이음을 레이저 출력 4kW와 3m/min의 속도로 레이저 단독으로 용접을 진행할 경우 아연증기가 분출하면서 다량의 스패터가 발생하게 되는데 Fig.3은 비드 표면과 가로방향의 사진이며 Fig.4는 아연도금강판에 흔히 발견되는 블로우 홀과 기공이 나타난 모재의 단면 사진이다<sup>4)</sup>.

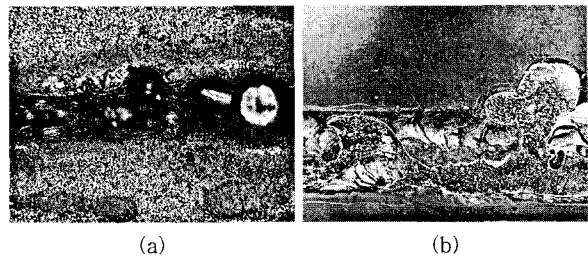


Fig. 3 Weld defects for autogenous laser lap welding of zinc-coated steel sheets : (a) Top view of weld, (b) Longitudinal cross-section

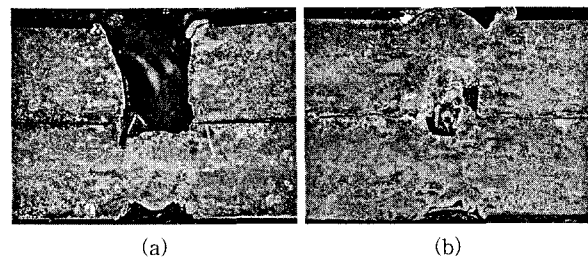


Fig. 4 Transverse cross-section of autogenous laser lap joining of zinc-coated steel sheets : (a) Blow-hole, (b) Porosity

3.2 하이브리드 용접 결과

레이저 선행 및 아크선행의 CO<sub>2</sub>레이저-마이크로 플라즈마용접 방법을 이용하여 용접을 진행하였다. Fig. 5~7은 레이저 선행과 아크선행 각각에 대하여 비드의 표면 및 횡단면, 종단면을 촬영한 사진이다. 이때의 용접조건을 Table 2에 나타내었다. Fig. 3과 4와 비교할 때 레이저 선행 및 아크 선행 모두에서 블로우홀 및 기공이 감소한 양호한 용접부를 얻을 수 있었다. 동일한 레이저 출력 및 시편에서 레이저-TIG 하이브리드 용접시에 양호한 용접품질을 위하여 80A 이상의 아크 전류가 요구됨과 비교할 때 아크로 인한 입열이 75% 이상 감소되는 효과를 확인할 수 있었다<sup>5)</sup>.

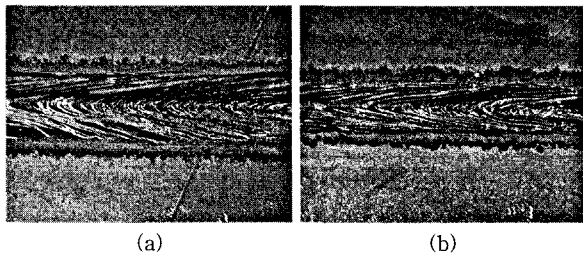


Fig. 5 Weld bead surfaces for CO<sub>2</sub> Laser-micro plasma hybrid welding: (a) with laser preceding, (b) with arc preceding

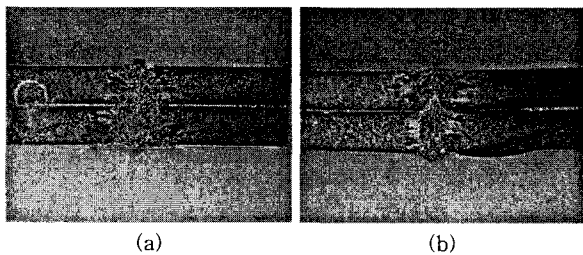


Fig. 6 Transverse Cross-sections for CO<sub>2</sub> Laser-micro plasma hybrid welding (a) with laser preceding, (b) with arc preceding

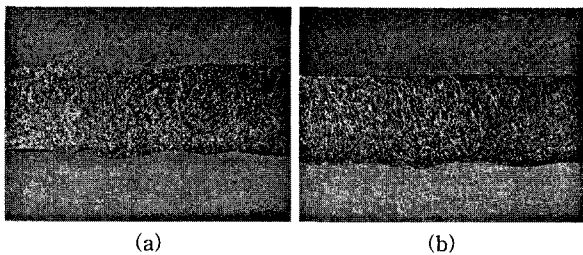


Fig. 7 Longitudinal Cross-sections for CO<sub>2</sub> Laser-micro plasma hybrid welding (a) with laser preceding, (b) with arc preceding

Table 2 Welding conditions used for hybrid welding

Laser power	4kW
Welding current	20A
Welding speed	3m/min
LB-arc distance	4mm
Torch height	2mm
Shielding gas	He, 25ℓ/min

4. 결 론

CO<sub>2</sub>레이저-마이크로 플라즈마 하이브리드 용접을 아연도금강판의 겹치기 용접에 적용하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- 1) 아연도금강판의 간극이 없는 겹치기 이음에 레이저 선행 및 아크 선행의 CO<sub>2</sub> 레이저-마이크로 플라즈마 하이브리드 용접을 적용하여 결함이 없는 양호한 용접 품질을 얻었다.
- 2) CO<sub>2</sub> 레이저-TIG 하이브리드 용접과 비교하여 아크 입열이 75% 이상 저감된 조건에서도 양호한 용접이 가능하여 용접변형 저감 및 용접 품질 향상이 모두 가능함을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. G. S. Brady and H. R. Clauser: Materials Handbook(12<sup>th</sup> Edition), McGraw-Hill Book Co., 1989
2. N. Abe and H. Hayashi: Trends in Laser Arc Combination Welding Methods, Welding International, 16-2 (2002), 94-98
3. C. Bagger and F. O. Olsen : Review of Laser Hybrid Welding, Journal of Laser Applications, 17-1 (2005), 2-14
4. C.-H. Kim, W.-Y. Choi, J.-K. Kim, J.-H. Kim and S. Rhee: A Study on CO<sub>2</sub> Laser-TIG Hybrid Welding of Zinc-coated Steel Sheet, Part 1: Analysis of Welding Phenomena, Journal of KWS, 24-4 (2006), 306-310
5. C.-H. Kim, W.-Y. Choi, N.-H. Kang, J.-H. Kim and S. Rhee: A Study on CO<sub>2</sub> Laser-TIG Hybrid Welding of Zinc-Coated Steel Sheet, Part 2: Relationship between Welding Parameters and Weldability, Journal of KWS, 24-4 (2006), 311-315