

## 자동차용 아연도금강판의 CO<sub>2</sub> LASER-TIG 하이브리드 용접 CO<sub>2</sub> LASER-TIG hybrid welding of zinc-coated steel sheets

최용용\*, 김정학\*, 김철희\*, 김정현\*, 이세현\*\*

\* 한국생산기술연구원 정밀접합용접팀

\*\* 한양대학교 정밀기계공학과

### 1. 서 론

레이저 용접은 고밀도 열원 용접으로서 빠른 용접속도, 깊은 용입, 적은 용입입열량을 가지는 고품위 용접공정이다. 레이저 용접을 기존의 저항 점용접을 대체하여 자동차 차체의 용접에 적용할 경우 고속 용접이 가능할 뿐 아니라 전극마모 및 압흔으로 인한 문제가 없으며 유연한 용접 설계가 가능한 장점을 가지고 있다.

아연도금강판은 높은 방청 효과로 인하여 자동차 차체에 많이 사용되고 있으며, 차체 부품의 용접부는 주로 맞대기 이음(butt joint) 또는 겹치기 이음(lap joint)으로 구성되어 있다. 그러나 아연도금강판을 간극이 없는 겹치기 이음으로 레이저 용접을 할 경우에는 용접부 품질에 심각한 문제가 발생한다. 이것은 모재인 강 용접(1510°C)보다 아연 도금층의 비등점(907°C)이 낮기 때문에 발생한다. 레이저가 조사되면 겹쳐진 면에서의 아연 도금층이 기화하면서 부피가 팽창하고 그 압력으로 인해 용융물을 통해 외부로 분출하게 된다. 이때 용접부에서는 다량의 스파터가 발생하면서 표면에 블로우홀(blow-hole)이 발생하게 되며 용융물 내에 아연 증기가 잔류하거나 대기가 유입하여 기공(porosity)을 형성하기도 한다. 이렇게 발생한 블로우홀과 기공은 용접부의 기계적 성질에 치명적인 영향을 미치는 용접불량이다.

아연도금강판의 겹치기 이음부를 레이저 용접할 때 발생하는 결함을 방지하기 위해 다양한 방법이 연구되었다. 대표적인 방법으로, (1)모재가 접촉되어 있는 이음부에 간극을 주어 아연증기의 통로를 확보하는 방법, (2)용접부를 기계적 또는 화학적인 방법을 이용하여 도금층을 제거한 후 용접하는 방법, (3)펄스 레이저를 이용하여 keyhole의 형성을 변화시키는 방법, (4)두 개의

레이저빔을 이용하여 도금층을 제거하면서 용접하는 방법 등이 있다.[1]-[4]

간극을 조절하는 방법의 경우 가장 이상적인 결과를 얻을 수는 있으나 양호한 용접품질을 확보하기 위한 적절한 간극의 단위가 수십  $\mu\text{m}$ 로 실제 생산에 적용하기가 어렵다. 전처리를 통해 도금층을 제거한 후 용접하는 방법은 좋은 용접 품질을 얻을 수 있으나, 실제 생산에 적용할 경우 도금층 제거 공정의 추가로 생산비용이 증가하게 된다. 펄스 레이저를 이용하는 방법은 용접속도가 상대적으로 느리기 때문에 레이저 용접 적용에 의한 생산성 증가의 측면과는 다소 거리가 멀다. 두 개의 레이저를 이용하는 방법은 한 개의 발진장치를 분기하여 사용할 경우에는 각각의 레이저 출력의 조절이 쉽지 않고, 두 개의 레이저 발진장치를 이용하는 경우는 설비비용이 증가한다는 약점을 갖고 있다.

레이저-아크 하이브리드 용접공정은 레이저 용접전원과 아크 용접전원을 동시에 적용하여 하나의 용접부를 형성하는 공정으로 레이저용접의 장점과 아크용접의 장점을 동시에 가지고 있는 용접방법이다. 레이저와 아크간의 배치를 통하여 용접부에 대한 예열 및 후열 처리가 가능한 특징을 가지고 있다[5]-[8].

따라서 본 연구에서는 아연도금강판의 겹치기 용접에 레이저-아크 하이브리드 용접의 일종인 CO<sub>2</sub> LASER-TIG 하이브리드 용접을 적용하여 별도의 간극제어 없이 아연증기에 의한 결함을 방지하고자 하였다.

### 2. 실험 장치 및 방법

본 연구에서는 12kW급 CO<sub>2</sub> 레이저를 이용하였다. 빔의 지름은 0.4mm이고, 초점거리는 250mm이며 모재의 표면에 초점을 두어 실험하

였다. TIG 용접을 위하여 300A급 인버터 용접기와 □□1.6 텅스텐 전극봉을 이용하였다. Fig. 1의 (a)는 본 연구에서의 하이브리드 용접의 개념을 나타내었고 Fig. 1의 (b)는 설치된 하이브리드 헤드를 보여주고 있다.

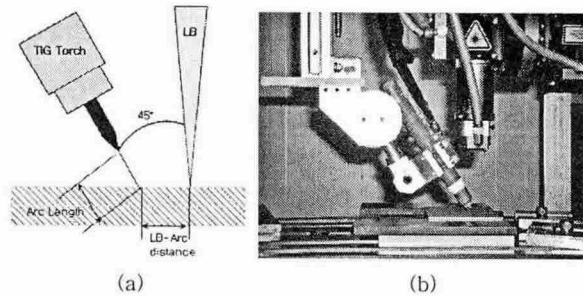


Fig. 1 Experimental setup for hybrid welding

두 모재를 겹치기 이음으로 용접할 때, 간극이 없도록 밀착시키기 위하여 두 가지 형태의 지그를 이용하였다. Fig. 2와 같이 다수의 볼트를 이용하여 용접부의 좌우에서 고정하는 볼트 체결 형식의 지그와 일정한 힘으로 용접이 진행되는 부분을 누르면서 이동하는 롤러 형식의 지그를 이용하였다.

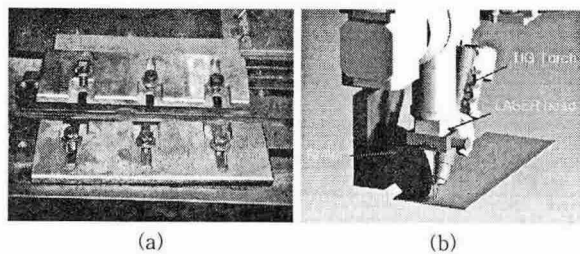


Fig. 2 Welding jig systems for lap joint ; (a) Screw type jig, (b) Roller type jig

사용된 모재는 규격 KS D 3506의 SGCD1으로 1mm 두께의 강판을 사용하였고 그 기계적 특성과 화학 조성은 Table 1과 같다. 도금층은 아연이 54/54(g/m<sup>2</sup>)으로 도금되어 있고 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

레이저의 출력은 4kW로 고정하였고, 레이저는 모재에 수직으로 입사하고 아크는 레이저와 45°

의 각도를 유지하며 레이저에 선행하였다. 용접 속도, 용접전류, 아크길이, 레이저-아크간 거리를 변화시키면서 용접성을 평가하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 레이저 단독 용접의 결과

아연도금강판의 간극이 없는 겹치기 이음을 3.0m/min의 속도에서 레이저 단독으로 용접할 경우 아연증기가 분출하면서 다량의 스패터가 발생하여 Fig. 3과 Fig. 4와 같이 용접 비드 표면 및 비드 내부에서 심각한 결함이 생김을 확인하였다. 결함은 상면비드 및 이면비드에서의 블로우홀과 계면에서의 기공이 주로 발견되었다.

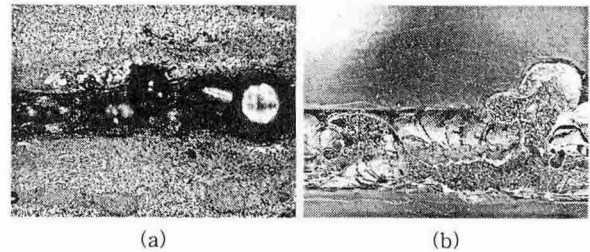


Fig. 3 Weld defects for autogenous laser lap welding of zinc-coated steel sheets ; (a) Top view of weld, (b) Longitudinal cross-section

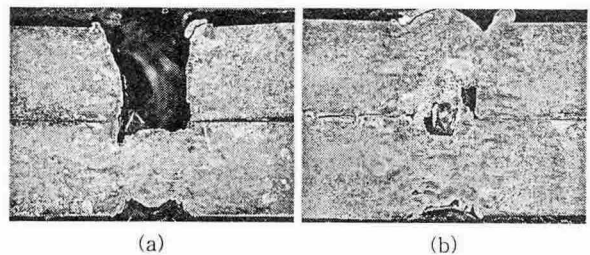


Fig. 4 Transverse cross-section of autogenous laser lap joining of zinc-coated steel sheets ; (a) Blow-hole, (b) Porosity

#### 3.2 하이브리드 용접의 결과

아크 선행의 CO<sub>2</sub> LASER-TIG 하이브리드 용접 방법을 이용하여 Fig. 2에 나타난 두 가지 형태의 지그에서 각각 용접을 실시하였고, 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. CO<sub>2</sub> LASER-TIG 하이브리드 용접은 두 가지 지그 모두에서 레이저 단독 용접과 비교하여 월등히 좋은 용접 품질을 얻을 수 있었다. 볼트 체결 형식의 지그를 이용한 경우에는 부분적으로 블로우홀이 발생하였으나, 롤러 형식의 지그를 이용한 경우에는 표면결함이 발생하지 않았고 가장 양호한 용접 품질을 얻었

다. 롤러 형식의 지그를 사용하여 용접한 결과를 Fig. 6에 보였다. 이때의 용접조건은 Table 2와 같다.

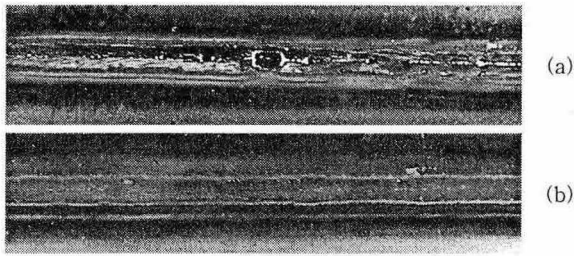


Fig. 5 Weld bead surfaces for CO<sub>2</sub> LASER-TIG hybrid welding with different jigs ; (a) With screw type jig, (b) With roller type jig

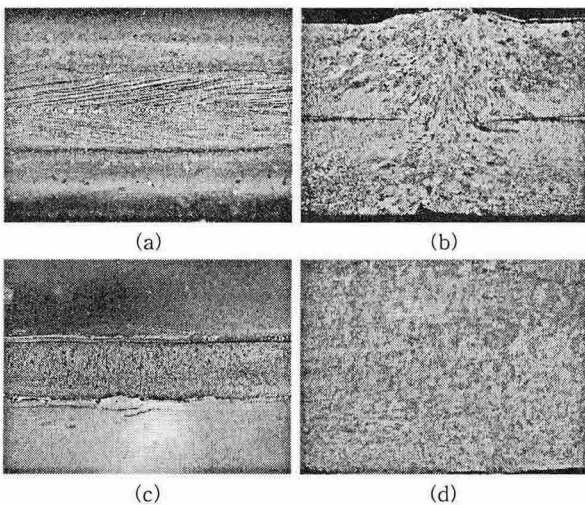


Fig. 6 Bead shapes for CO<sub>2</sub> LASER-TIG hybrid welding ; (a) Top surface, (b) Transverse cross-section, (c) Longitudinal cross-section, 40X, (d) Longitudinal cross-section, 100X

Table 2 Welding conditions used for hybrid welding

Welding current	100 A
Arc length	1.4 mm
LB-arc distance	7 mm
Travel speed	3.0 m/min
Shielding gas	He, 15 ℓ/min

동일한 용접조건에서 지그의 형태에 따라 다른 결과가 나타난 이유는 아연증기가 배출되는 통로의 크기의 차이 때문으로 사료된다. 롤러 형식의 지그가 볼트 체결 형식의 지그에 비하여 상대적으로 모재를 밀착시키고 있는 구간이 작아서 용융물의 생성 이전에 아연증기가 방출될 수 있는 충분한 틈을 확보하기 때문에 보다 좋은 품질의 용접부를 얻을 수 있었다.

#### 4. 결 론

CO<sub>2</sub> LASER-TIG 하이브리드 용접을 아연도금강판의 겹치기 용접에 적용하여 다음과 같은 결론을 도출했다.

- 1) 아연도금강판의 간극이 없는 겹치기 이음에 아크 선행의 CO<sub>2</sub> LASER-TIG 하이브리드 용접을 적용하여 결함이 없는 양호한 용접 품질을 얻었다.
- 2) CO<sub>2</sub> LASER-TIG 하이브리드 용접에서 선행하는 아크입열에 의해 계면의 아연도금층이 제거되므로 아연증기에 의한 용접부 결함을 방지할 수 있었다.
- 3) 볼트 고정방식과 롤러 방식의 지그를 이용하여 용접을 수행한 결과 롤러 방식의 지그를 사용한 경우 아연증기의 배출이 더 쉽게 일어나 더 나은 용접 품질을 보여주었다.

#### 참 고 문 헌

1. R. Akhter, W. M. Steen and Cruciani : Laser welding of zinc coated steel, Proceedings of the 6th International Conference on Lasers in Manufacturing 1989
2. P. Denny and J. Xie : The welding of galvanized steel, International Congress on Applications of Laser & Electro-Optics 2000
3. Y-F. Tzeng : Toward process optimization in pulsed Nd:YAG laser seam welding of zinc coated steel, JSME international journal, 43-1(2000), 47-54
4. M.M.S. Gualini and, F. Grassi : Experimental result of laser welding of zinc coated steel sheets with a new method, International Congress on Applications of Laser & Electro-Optics 2003
5. W. M. Steen and, M. Eboo : Arc augmented laser welding, Metal construction, 11-7(1979), 332-335
6. W. M. Steen : Arc augmented laser processing of materials, J. Appl. Phys., 51-11(1980), 5636-5641
7. J. Alexander and W. M. Steen : Penetration studies on arc augmented laser welding, International Conference on Welding Research in the 1980's, 121-125
8. Hongping Gu and Robert Miller : Hybrid welding of galvanized steel sheet, International Congress on Applications of Laser & Electro-Optics 2001