

아연도금강판의 CW CO₂ 레이저 용접 및 성형성

서 정* · 한유희* · 윤충섭* · 방세윤**

CW CO₂ Laser Beam Welding and Formability of Zn-Coated Steel Plates

J. Suh*, Y. H. Han*, C. S. Yoon* and S. Y. Bang**

Abstract

Continuous wave CO₂ laser beam welding and formability of zinc coated steel plates were investigated. First, the optimal welding condition could be obtained in lap configuration by using the data for heat input, gap size and fracture behaviour. The gap size for fully-penetrated bead could be predicted by the gap model by Akhter et al. Also, it was found that the joining efficiency was constant. Secondly, the butt welding of dissimilar materials (zinc coated steel plate and cold rolled steel plate) with different thicknesses was investigated. In the thickness range of 0.8-2.0 mm, the maximum welding speed of 10m/min was obtained. In the butt welding of two plates with thickness 2.0mm and 1.6mm, the maximum welding speed of 6m/min was obtained. Finally, the forming results of butt-welded plates showed that the joining design was important to apply the laser welded blank in the automotive production.

1. 서 론

자동차 차체구조물로 사용되는 표면처리강판은 주로 북미 등에서 제철용 열화칼슘에 대한 방청의 목적으로 개발되었으나, 최근에는 산성비 등 대기환경에 대한 대책으로 표면처리의 역할이 이루어지고 있으며 그 수요도 날로 다양화되면서 증가하고 있다. 이 중에서 아연도금강판은 우수한 내구성과 값이

싸며 내부식성이 강하므로 자동차 산업, 강판 제조업, 그리고 가전제품에도 많이 사용되고 있다.

아연계 도금물질은 방청의 역할로서는 최적인 반면, 상대적으로 용접성을 약화시키는 요인으로 작용하게 된다. 특히, 겹치기 용접(Lap welding)시의 문제점은 겹쳐진 부분의 도금층에서의 아연증기(Zinc vapor)의 발생이며, 아연의 증발온도(900°C)가 강판의 용융온도(1500°C)보다 낮으므로 먼저 발생한 아연증기가 용접비드의 연속성을 저해시킨다. 기존의 저항용접(Resistance spot welding)에 의한 아연도

* 정회원, 한국기계연구원 레이저가공 연구그룹

** 정회원, 동국대학교 기계공학과

금강판의 용접에서는 도금층의 높은 표면저항이 과열(over-heating)이나 spatter의 원인이 되며,^{1,2)} Arc 용접에서는 증발된 아연증기가 전극의 수명을 감소하게 한다.³⁾ 전자빔 용접(Electron beam welding)에서는 아연증기의 발생으로 진공상태를 유지하기 어렵기 때문에 적정 진공도를 일정하게 유지하기 위한 추가적인 장치가 요구된다. 따라서, 아연도금강판의 용접을 위해 레이저 용접법이 연구되고 있다⁴⁻⁶⁾.

한편, 프레스 성형된 자동차 부품들을 용접하여 조립하는 자동차 차체(body panel) 제조공정에 있어서 둘 이상의 부품들을 일체화(one sheet type)하여 프레스 작업을 하는 것이 생산성 및 정밀도 향상을 위해서 유효한 방법으로 알려져 있다.^{7,8)} 자동차 차체용 프레스 소재로서 용접결합소재를 사용하는 경우에는 용접부의 열변형이 적어야 하며, 강도 및 성형성이 모재와 비슷해야 하며, 용접 생산성이 높아야 한다. 이러한 조건들을 만족하는 용접방법은 기존의 spot 용접 또는 TIG용접⁹⁾등에서는 어렵다고 보고되고 있다. 따라서, 둘이상의 소재를 레이저 용접에 의해 결합한 프레스 소재를 일체로 하여 프레스 성형하는 용접 및 소성가공의 복합방법을 개발하기 위해서는 이종재료 이종두께의 결합소재의 용접 및 성형성 평가가 이루어져야 한다.

본 논문에서는 자동차에 널리 사용되는 아연도금강판의 레이저 용접과 성형성에 대하여 조사하였다. 겹치기 용접의 경우, 실험 및 기계적 특성평가를 통하여 최적용접조건을 도출하고, 이론적 해석결과와 비교하였다. 또한, 아연도금강판과 다른 두께를 갖는 냉연강판을 사용하여 맞대기 용접 실험을 하였으며,

실제 생산현장에 적용하기 위하여 현장의 금형에 필요한 정도의 큰 이종두께 용접판재의 레이저 용접조건과 프레스 성형을 위한 용접설계 조건을 검토하였다.

2. 실험

2.1 실험재료

겹치기 용접실험을 위해 사용한 시편은 자동차 차체 구조물로 사용되고 있는 아연도금강판이며, 국내 자동차 회사로부터 공급받았다. 시편의 규격은 길이 100mm, 폭 30mm, 두께 0.8mm이며, 강판 양면의 아연도금층의 두께는 $3.81\mu\text{m}$ 이다. 맞대기 용접실험에 사용한 재료는 4종류의 아연도금강판(두께 0.8mm, 1.6mm, 1.8mm, 2mm)과 냉연강판(두께 1.2mm)이다. 기초실험을 위해 사용한 시편의 규격은 길이 100mm, 폭 50mm이며, 실제 금형에 사용하기 위한 맞대기 용접 판재는 길이 330mm × 폭 550mm × 두께 2mm, 길이 720mm × 폭 218mm × 두께 1.8mm, 길이 330mm × 폭 550mm × 두께 1.6mm의 아연도금강판재와 길이 330mm × 폭 550mm × 두께 1.2mm, 길이 720mm × 폭 218mm × 두께 1.2mm의 냉연강판재이다.

2.2 레이저 용접장치 및 실험방법

Fig. 1은 겹치기 용접실험 장치이다. 레이저 발전

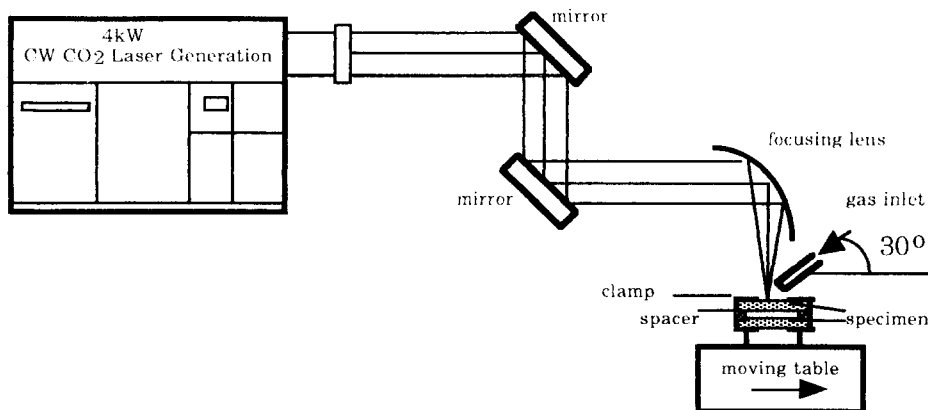


Fig. 1 Laser welding system

기로는 4kW급의 multi-mode 타입을, 빔의 집광에는 parabolic 거울을 이용하였다. 우선적으로 기초적인 실험에서 Ar가스량과 빔 초점의 위치를 일정하게 결정하였고, 레이저 빔 출력, 용접속도, 간격의 3가지 주요변수의 변화에 따른 겹치기 용접의 실험을 하였다. 모든 겹치기 용접실험에서 레이저 빔은 시편의 위 표면에 집광되도록 조정하였으며, 보조가스로는 Ar를 사용하였다. 이때, 가스량은 30 ℓ/min으로 일정하게 유지되었으며, 위 아래 강판의 간격은 궁목(spacer)을 이용하였다.

겹치기 용접실험은 Table 1의 조건들의 조합상태에서 수행되었으며, 레이저 용접 후 겹치기 용접시편의 용접부 단면은 광학현미경을 사용하여 관찰하였다. Fig. 2는 용접시편의 기계적 특성을 평가하기 위한 인장-전단 시편(JIS Z2201, 13B)의 형태를 나

Table 1 Experimental conditions

Power(kW)	1.8	2.0	2.5	3.0	4.0	
Velocity(m/min)	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
Gap size(μm)	0	35	75	125	255	

타내고 있다. 시편의 양끝을 용접부와 같은 두께를 유지하게 함으로서 큰 비틀림을 방지 하였다. 인장-전단시험은 MTS 시험기에서 수행하였으며, 이때 인장변위속도는 2m/min으로 하였다.

이종두께 판재의 맞대기 용접을 위한 추가장치는 Fig. 3과 같다. 레이저 빔은 두꺼운 시편의 위 표면에서 두께의 1/3이 되는 시편내부의 위치에 집광되도록 초점거리를 조절하였으며, 보조가스로는 Ar를 사용하였다. 두께가 다른 두 재료의 하부면이 일치선이 되도록 한 후, 레이저 빔 출력이 4kW인 경우에

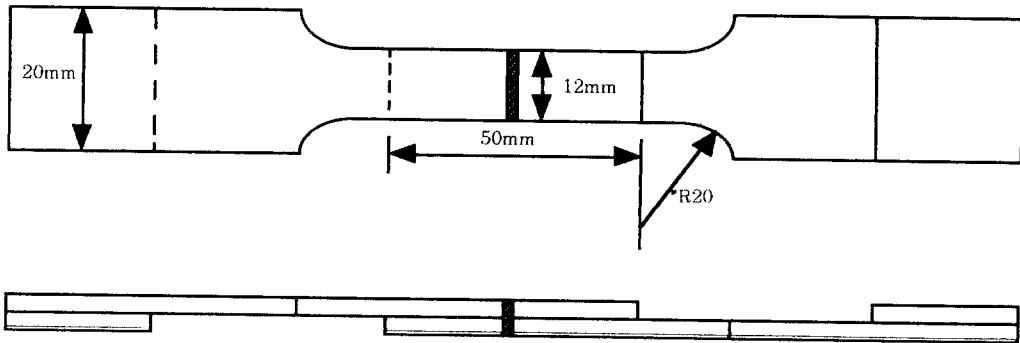


Fig. 2 Specimen for mechanical testing

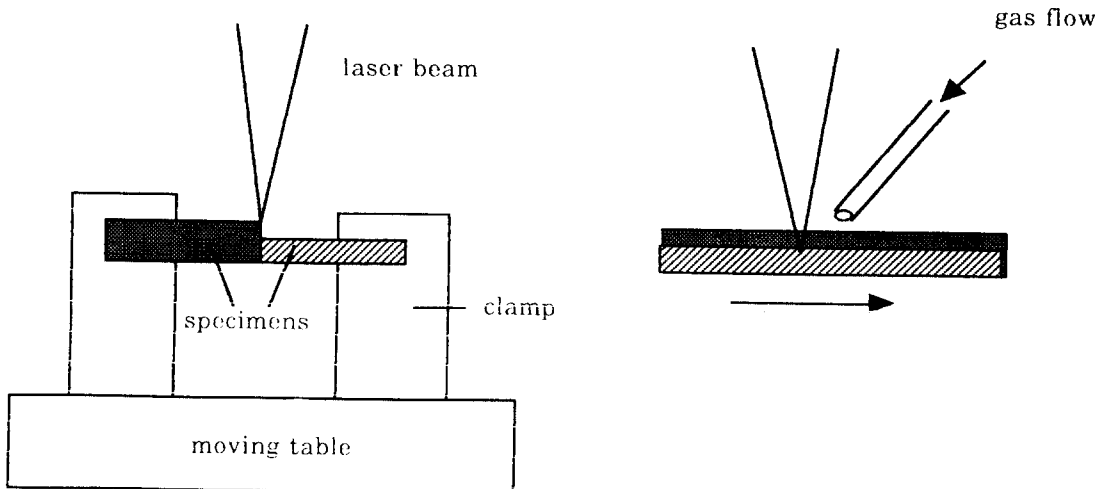


Fig. 3 Schematic illustration of laser welding system

대하여 용접속도와 가스량을 변화시키면서 수행하였다. 용접시편의 용접부 단면은 광학현미경을 사용하여 관찰하였다. 또한, 실제 현장에서 사용하는 금형을 사용하여 500ton 프레스로 이중두께 맞대기 용접판재의 성형실험을 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 겹치기 용접

Fig. 4는 레이저 빔 출력과 용접속도가 일정할 때 (레이저 빔 출력 : 1.8kW, 용접속도 : 1.5m/min인 경우) gap 간격의 변화에 따른 아연도금강판의 겹치기 용접시의 앞면과 뒷면의 비드상태를 나타내고 있다. Gap 간격이 없는 경우 표면 상태가 깨끗하지 못하며 불완전한 비드가 형성되었다. Gap 간격이 35 μ m 이상인 경우 뒷면 비드의 양쪽에 ZnO 산화층이 관찰되었으나, gap 간격이 75 μ m 와 125 μ m 일때 양호한 용접비드가 형성되었다. 한편, gap 간격이 255 μ m 인 경우에는 상부가 침강되는 현상을 수반하게 되며 이는 용접부가 냉각중 수축할 때 체적의 손실이 발생할 수 있을 정도로 gap 간격이 크기 때문이라고 할 수 있다⁵⁾.

Fig. 5는 레이저 빔 출력과 gap 간격이 일정할 때 용접속도의 변화에 따른 아연도금강판의 겹치기 용

접시의 앞면과 뒷면의 비드상태의 한 예를 나타내고 있다. 속도가 빠를 수록 뒷면의 비드가 없이 단순한 열흔적의 상태를 보여준다. 또한, 적절한 용접속도 보다 빠른 경우 앞면의 비드의 상태가 불연속적임을 알 수 있다.

Fig. 6은 용접속도와 gap 간격이 일정할 때 출력의 변화에 따른 아연도금강판의 겹치기 용접시의 앞면과 뒷면의 비드상태의 한 예를 나타내고 있다. Gap 간격이 125 μ m, 용접속도가 3m/min인 경우 레이저 빔 출력이 2.5kW일때 양호한 용접비드를 얻을 수 있다.

겹치기 용접된 시편들의 용접단면을 조사하면 Fig. 7과 같이 (a) cup-shaped penetration, (b) full penetration, (c) no weld 의 3가지 비드단면 형태로 구분된다. (a)의 경우는 용접비드가 아래판에 부분적으로 침투하는 경우를 의미하며, (c)의 경우에는 위판에는 충분한 침투영역이 존재하나 아래판과의 용접이 되지 않은 상태이다. (b)의 경우는 적절하게 key hole이 형성되어 양호한 용접결과를 나타낸다. 다만, 여기서 gap 이 너무 크면 상부가 침강하는 현상이 존재할 수도 있다.

겹치기 용접결과를 Figs. 4-7에서 언급한 내용 등에 기준하여 조사한 결과를 Table 2에 정리하였다. 여기서 ○는 전혀 결함이 없는 full penetration 한 상태 (Fig. 7(b) 참조)를 나타내며, □는 full penetration 하나 뒷면 비드가 불연속인 경우, ■는 full penetraion 하나 비드상부가 침강하는 경우, △ 는 cup-shaped

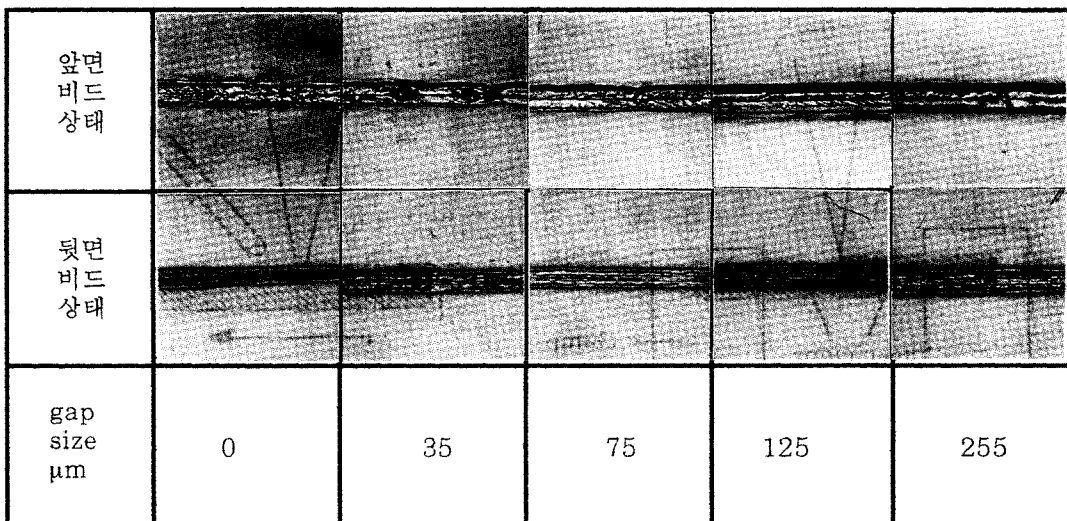


Fig. 4 The effect of the gap size on lap welding of Zinc-coated steel at 1.8 kW and welding speed 1.5m/min

앞면 비드 상태					
뒷면 비드 상태					
welding speed m/min	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5

Fig. 5 The effect of the welding speed on lap welding of Zinc-coated steel at 3 kW and gap size 75 μ m

앞면 비드 상태				
뒷면 비드 상태				
beam power kW	1.8	2.0	2.5	3.0

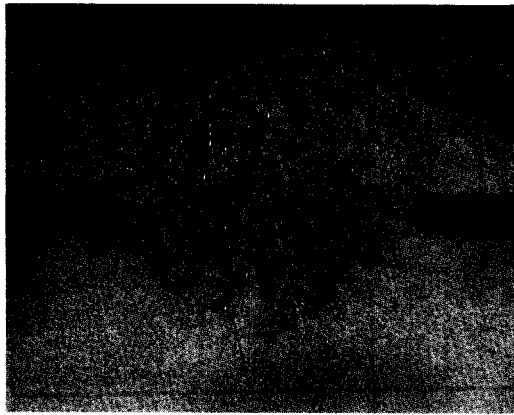
Fig. 6 The effect of the laser beam power on lap welding of Zinc-coated steel at welding speed 3m/min and gap size 125 μ m

penetration 한 경우 (Fig. 7(a) 참조), x는 위 아래 판이 분리되는 즉 용접이 되지 않은 경우 (Fig. 7(c) 참조)를 나타낸다.

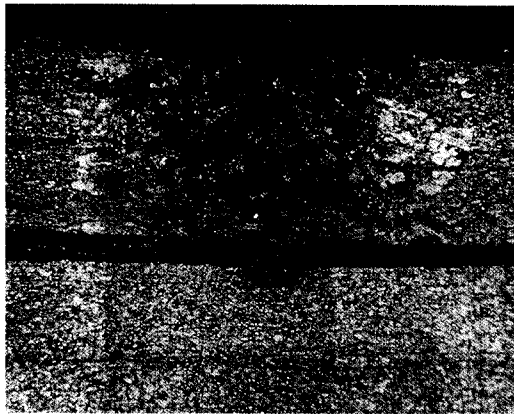
Fig. 8은 레이저 빔 출력, gap 간격과 비드의 침투깊이의 관계를 나타내고 있다. 여기서는 입열량 Q의 개념을 도입하였으며, Q는 레이저 빔 출력을 용접속도로 나눈 값이다 레이저 빔 출력이 1.8kW 이

상일 때, Q 0.48kJ/cm의 경우에 있어서는 비드의 침투깊이 H는 레이저 빔 출력과 gap 의 크기에 무관하게 Q에 거의 선형적이며, $Q \geq 0.48 \text{kJ/cm}$ 인 경우에는 완전침투가 일어남을 알 수 있다.

Table 3은 겹치기 용접시편 (인장-전단시편, Fig. 2참조)들의 인장실험결과를 나타내고 있다. Table 2에서 얻은 양호한 겹치기 용접조건에서 용접된 시



(a) 3.0 kW, 3.5m/min, gap size 35 μm,



(c) 2.0 kW, 3.5m/min, gap size 225 μm



(b) 2.0 kW, 2.0m/min, gap size 35 μm,

Fig. 7 Photographs of typical examples of bead configuration

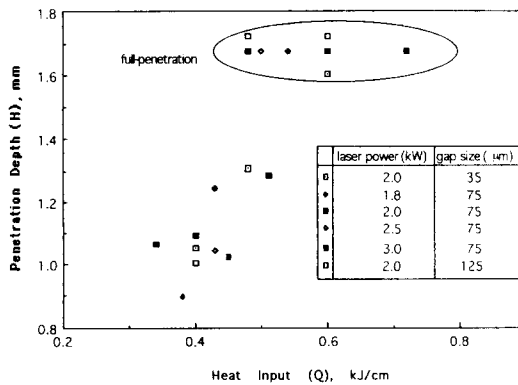


Fig. 8 Penetration depth vs. heat input relations at various laser beam powers and gap sizes

편들을 각각 3개씩 실험하여 얻은 결과이다. 용접부 위에서는 거의 변형이 일어나지 않았으며, 파단은 모두 용접부위에서 벗어난 모재로 부터 일어났다. 즉 용접부위의 기계적 접합조건은 완전함을 알 수 있으며, 용접조건에 관계없이 모재의 파괴강도와 거의 일치하는 인장파괴강도값을 보여주고 있다. 용접부는 인장-전단에 의해 회전을 일으키며 이때 파괴 형태는 Fig. 9와 같다.

이상의 실험결과로부터 4kW급 CO₂ 레이저를 사용한 경우 최적용접조건을 구해보면,

- Laser Power ≥ 1.8 kW
- Heat Input $Q \geq 0.48$ kJ/cm
- Gap size : 75 - 125 μm

Table 2 Experimental and theoretical results in lap welding

Power kW	Velocity m/min	Power/Velocity kJ/cm	Minimum gap size from Eq.(1), μm	Gap size, μm			
				35	75	125	255
1.8	1.5	0.72	54	□	○	○	■
	2.0	0.54	72	○	○	○	○
	2.5	0.43	90	△	△	△	△
	3.0	0.36	108	×	×	×	×
2.0	2.0	0.6	72	○	○	○	△
	2.5	0.48	90	□	○	○	■
	3.0	0.4	108	×	△	△	×
	3.5	0.34	126	×	△	×	×
2.5	2.5	0.6	90		○	○	
	3.0	0.5	108		○	○	
	3.5	0.43	126		×	△	
	4.0	0.38	145		×	×	
3.0	2.5	0.72	90		○	○	
	3.0	0.6	108		○	○	
	3.5	0.51	126		△	○	
	4.0	0.45	145		×	×	
	4.5	0.4	162		×	×	
4.0	3.0	0.8	108			○	
	4.0	0.6	126			△	
	4.5	0.53	162			X	

- : full penetration without defects
- : full penetration, however, back bead is discontinuous.
- : full penetraion, however, upper bead is down.
- △ : cup-shaped penetration
- × : no welding

Table 3 Fracture strength at various welding conditions

Power(kW)	Velocity(m/min)	Gap size(μm)	Tensile strength(MPa)	remark
1.8	1.5	75	282	Fracture at base material
1.8	2.5	75	296	
2.0	2.5	75	289	
1.8	1.5	125	276	
1.8	2.5	125	289	
2.0	2.5	125	293	

임을 알 수 있다.

3.2 겹치기 용접의 이론적 해석과 실험결과와의 비교

아연도금강판의 겹치기 용접모델은 Fig. 10과 같이 고려될 수 있으며, 여기서 발생하는 현상은 두가지로 예측될 수 있다. 첫번째 경우는 gap이 막힘현상이 생겨 (1 지점) 아연증기가 용탕으로 들어가 용접상태를 불량하게 하는 것이고, 두번째 경우는 아연증

기가 gap을 통해 빠져나가는 경우이다. 따라서, 양호한 용접비드를 얻기 위해서는 아연증기가 gap을 통해 빠져나가지 않도록 하기 위해 필요한 최소한의 압력이 존재해야 한다.⁵⁾ 이 때의 압력은 1과 2지점에서의 압력차를 나타내며 2지점에서 아연증기의 속도 V_2 (m/s)를 만들게 된다.

Akhter 등⁵⁾은 Bernoulli's Eq.과 V_2 의 속도로 gap을 통하여 빠져나가는 증기의 체적과 용접속도 V (m/sec)에서의 발생하는 증기의 체적이 같다는 조건을 고려함으로써 최소 간격의 크기 g_{crit} (m)가 다음과 같이 된다고 하였다.

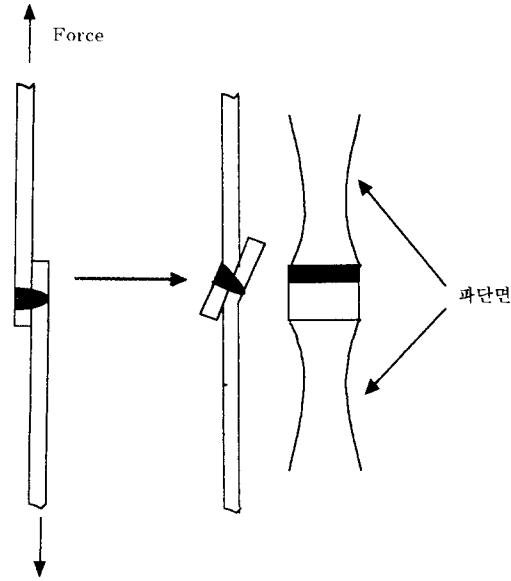


Fig. 9 Fracture behaviour of lap welded specimen

전침투한 양호한 용접비드의 경우, gap 간격의 크기는 식 (1)과 실험결과가 일치하는 경향을 보이고 있다.

겹치기 용접에서 레이저의 용접효율(Joining efficiency)은 레이저 용접방법을 비교하는데 사용될 수 있으며,⁵⁾ 다음과 같이 정의된다.

$$\text{Joining efficiency} = \frac{VH}{P} = \frac{H}{Q} \quad (2)$$

여기서 V는 용접속도, H는 비드의 침투깊이, P는 레이저 빔 출력, Q는 입열량(P/V)을 나타낸다. Fig. 8에서 H와 Q는 선형적인 관계를 가지고 있으므로 본 논문의 용접효율은 모든 실험에서 일정하게 유지되었음을 알 수 있다. 따라서, 아연도금강판의 겹치기 용접조건은 최소 gap 간격의 크기와 용접효율에 관한 두가지 이론에 의해 지배될 수 있다고 할 수 있다.

3.3 이종재료, 이종두께 맞대기 용접 및 성형성

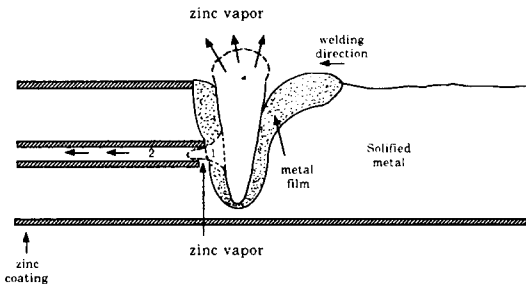


Fig. 10 The diagram representing the welding of Zinc-coated steel sheet with a small gap at the interface between two sheets

기초실험에 사용한 길이 100mm, 폭 50mm 의 맞대기 용접시편의 용접 후 비드의 단면사진을 Fig. 11과 12에 나타내었다.

Fig. 11은 두께가 다른 맞대기 시편을 레이저 빔 출력 4kW, Ar의 가스량 30 l/min 으로 용접했을 시의 비드 단면을 나타낸다. (a)는 0.8mm와 1.6mm의 아연도금강판을 용접속도 10m/min로 용접한 경우이며, (b)는 1.6mm (아연도금강판)과 1.2mm (냉연강판)의 강판을 용접속도 6m/min로 용접한 경우이다. 두 경우 모두 비드가 완전 침투하였으며, 비드상태도 양호하다.

$$g_{\text{exit}} = \frac{AVt_m}{\sqrt{tp}} \quad (1)$$

여기서 $A = 4\rho_s/\pi(2\rho_v \rho_l g_s)^{1/2}$ 이며, ρ_s 는 고체 아연의 밀도, ρ_v 는 아연증기의 밀도, ρ_l 는 액체 아연의 밀도, g_s 는 중력가속도이다. 재료의 물성치를 고려하면 아연도금강판의 경우 $A=16.1\text{s/m}^{1/2}$ 가 된다. 또한, 식 (1)에서 t_m 은 아연도금층의 두께(m), t_p 는 판의 두께 (m)를 나타낸다.

본 논문에서 사용한 시편의 두께 0.8mm와 아연도금층의 두께 3.81 μm 및 Table 2의 용접조건을 사용하여 식 (1)로부터 구한 계산 결과는 Table 2에 정리되어 있다. 실험 및 해석 결과의 비교로부터 완

Fig. 12는 Fig. 11과 같은 용접조건하에서 구한 결과이며, (a)는 1.8mm (아연도금강판)과 1.2mm (냉연강판)의 강판을 용접속도 6m/min로 용접한 경우이며, (b)는 2mm와 1.6mm의 아연도금강판을 용접속도 6m/min로 용접한 경우이다. 두 경우 모두 비드가 완전 침투하였으며, 비드상태도 양호하다. (a)의 경우 용접속도 8m/min 일때는 시편의 아래부분에 용접이 되지 않는 현상이 발생하였다.

맞대기 용접시편의 실험결과를 이용하여 길이가 5-7배나 긴 판재에 대한 용접실험으로 부터 현장의 급형에 사용할 수 있는 판재를 용접하였다. 550-720 mm의 이동거리에서 레이저 빔 출력의 안정화를 꾀 하였으며, 판재용접을 위해 Fig. 3과는 다른 형태의

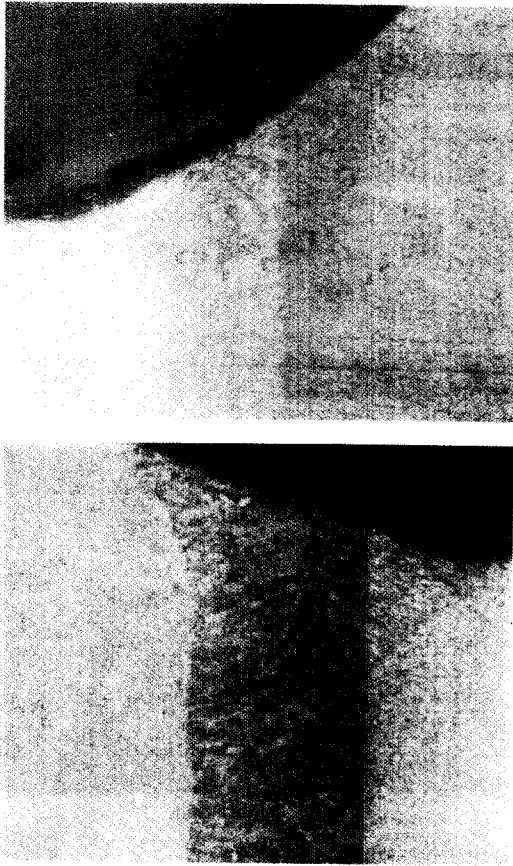


Fig. 11 Bead cross-sections of welded specimens with different thicknesses at laser beam power 4kW, Ar gas flow rate 30 ℓ/min :
 (a) 0.8 and 1.6mm (Zn coated steels), welding speed 10m/min,
 (b) 1.6 (Zn coated steel) and 1.2mm (cold rolled steel), welding speed 6m/min

지그를 사용하였다. 이때 판재용접용 지그의 형상에 따라 가스 유동이 Fig. 3에 비해 적절하지 않음이 확인되었으며, 이를 보상하기 위해 가스량을 조절한 결과 판재 용접용 지그에서는 가스량이 50 ℓ/min 이 됨을 알 수 있었다.

Fig. 13은 실제 현장의 금형과 500ton 프레스를 사용하여 갑치기 용접판재를 성형한 결과를 보여주고 있다. (a)는 프레스 성형한 전체적인 형상을 보여주고 있으며, (b)는 변형이 가장 심하나 균열이 발생하지 않는 용접부, (c)는 균열이 발생한 용접부를 나타낸다. 용접부는 변형이 가장 심한 부분을 피하도록 미리 용접설계를 하는 것이 중요하며, 이를 응용한 결과

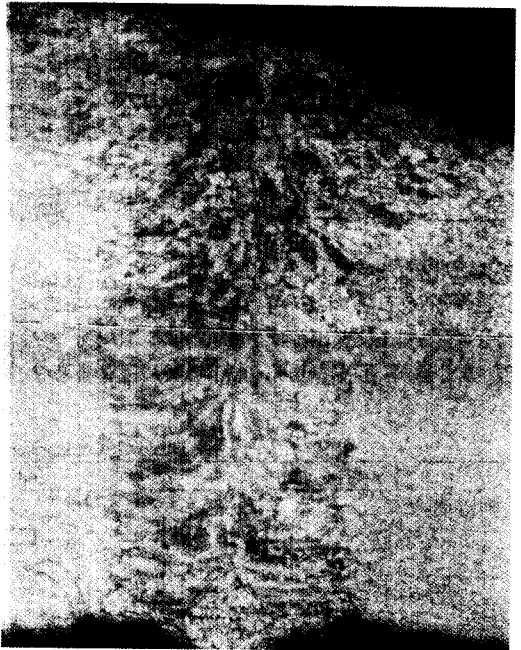
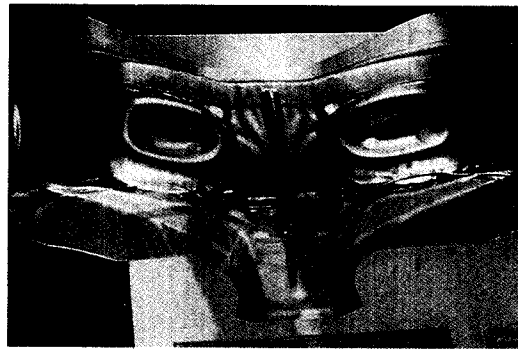


Fig. 12 Bead cross-sections of welded specimens with different thicknesses at laser beam power 4kW, Ar gas flow rate 30 ℓ/min :
 (a) 1.8 (Zn coated steel) and 1.2mm (cold rolled steel), welding speed 6m/min,
 (b) 2.0 and 1.2mm (Zn coated steel), welding speed 6m/min



(a) pressed plate



(b) good welded point



(c) cracked point

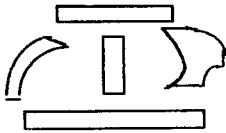
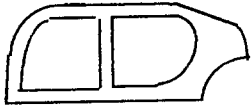
Fig. 13 Formability of welded plate (dissimilar material with different thickness)

양호한 성형결과를 얻을 수 있었다.

프레스 성형된 자동차 부품들을 용접하여 조립하는 자동차 차체(body panel) 제조공정에 있어서 자동차 옆 판넬을 분할형태(individual type)와 일체화된 형

태로 제작했을 때의 비교를 Table 4에 나타내었다. (○ : 장점 × : 단점)^{2,8)} 두 형태는 서로 상반되는 장점을 가지고 있으며, 한장으로 일체화된 형태에서는 강도, 강성, 내부식성 등의 차체 각부의 다른 요구성

Table 4 Comparison of conventional side sheets

Compared item	individual type		one-sheet type	
Schematics				
Apperance	bad		good	
Number of dies	20 dies	×	4 dies	○
Accuracy	low		high	
Material yield(ratio)	high(65%)		low(40%)	
Material selectivity	selectable	○	fixed	×
Weight	light		heavy	

능에 따른 판 두께, 재질 등의 변경 요구조건에 대응할 수 없으므로 제품/사용원료의 비율이 저하되고 경비의 상승을 가져오게 한다. 따라서, 분할형태와 일체화형태의 장점만을 선별하려고 하면 Fig. 14와 같은 공정이 고려될 수 있으며, 재질, 판 두께가 다른 재료들을 일체화로 용접후 성형하는 방법이다. 따라서, 둘이상의 소재를 레이저 용접에 의해 결합한 프레스 소재를 일체로 하여 프레스 성형하는 용접 및 소성가공의 복합방법을 개발하기 위해서는 이중재료 이중두께의 결합소재의 용접 및 성형성 평가에 대한 더 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

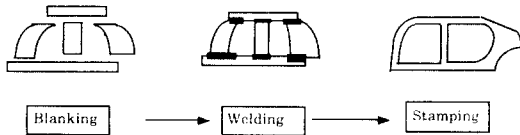


Fig. 14 An integrated side panel consisting of laser welded blank

4. 결 론

본 논문에서는 자동차에 널리 사용되는 아연도금강판의 레이저 용접과 성형성에 대하여 조사하였다. 겹치기 용접의 최적용접조건을 구하고 이론적 해석결과와 비교하였으며, 아연도금강판과 다른 두께를 갖는 냉연강판을 사용하여 맞대기 용접 실험을 하고 프레스 성형을 위한 용접설계 조건을 검토하였다. 그 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

(1) 아연도금강판의 겹치기 용접실험결과로부터 최적용접조건에 도출이 가능하였으며, 이는 입열량과 gap의 크기로 나타내어 짐을 알 수 있었다. 또한, 실험결과는 최소 gap의 크기와 용접효율을 나타내는 이론적 해석결과와 일치하는 경향을 보였다.

(2) 둘이상의 소재를 레이저 용접에 의해 결합한 프레스 소재를 일체로 하여 프레스 성형하는 용접 및 소성가공의 복합방법을 개발하기 위해 이중재료 이중두께의 결합소재의 용접 및 성형성 평가에 대한 기초자료의 획득이 가능하였다. 0.8-2.0 mm의 범위를 갖는 판재의 맞대기 용접에서 1.6mm 이하의 이중두께 판재의 용접에서는 10m/min의 용접속도를 얻을 수 있었으며, 2.0mm와 1.6mm의 판재의 용접에서는 최대

6m/min의 용접속도를 얻을 수 있었다. 현장 금형을 이용한 프레스 성형의 결과는 양호하였으며, 이때, 용접부 설계의 중요성이 인식되었다.

참 고 문 헌

- 1) N.T. Williams and W. Waddell : High Speed Resistance Seam Welding of Uncoated and Coated Steels, Technical Steel Research Commission of the European Communities, Report No. EUR 1150 EN (1988).
- 2) E.A. Anderau and J. Opprecht : Resistance Seam Welding of Coated Steel Sheets, Proc. Conf. Sheet Metal Welding, Detroit, Michigan USA. American Welding Society 2501 N.W. 7th St. Miami, Florida 33125 USA. Paper No. 18 (Oct. Nov. 1984), pp. 1-20.
- 3) E.N. Gregory : Arc Welding of Galvanized Steel, Sheet Metal Industries Vol. 45 No. 495 (July 1968), pp. 501-507
- 4) J. Heyden, K. Nisson, and C. Magnusson : Laser Welding of Zinc Coated Steel, Industrial Laser Annual Handbook (1990), pp. 161-167
- 5) R. Akhter, W.M. Steen, and K.G. Watkins : Welding of Zinc-Coated Steel with a Laser and Properties of the Weldment, J. of Laser Appl. Vol. 3 No. 2 (1991), pp. 9-20
- 6) C. Bagger, I. Miyamoto, F. Olsen, and H. Maruo : Process Behaviour during High Power CO₂ Laser Welding of Zinc Coated Steel, Proc. LAMP '92 Nagoka (June 1992), pp. 553-558
- 7) K. Ikemoto, Y. Niimi, and T. Iwai : Application of Laser Welding for Automatic Body Panels, Journal of JWS Vol. 10 No. 1 (1992), pp. 196-201
- 8) K. Ikemoto, H. Sugiura, K. Azuma, K. Arima, and T. Takasago : Press Forming of Laser Welded Blank, Journal of JSTP Vol. 32 No. 370 (1991), pp. 1383-1390
- 9) K. Yasuda, T. Jimma, and T. Onzawa : Formability of Butt Welded Stainless Steel Thin Sheet, Journal of JWS Vol.2 No. 3 (1984), pp. 161-166