

## 아연도금강판에 대한 레이저 용접부의 성형성 Formability of Laser Welds in Zn-coated Steel Sheets

박찬철\* , 김재도\*\*

\* : 인하대학교 기계공학과

\*\* : 인하대학교 기계공학과

### ABSTRACT

Continuous wave CO<sub>2</sub> laser beam welding and formability of zinc coated steel sheets were investigated. First, optimal welding condition could be obtained in butt welding by using the data for heat input and welding velocity. The highest value of Erichsen test is 79.3% compare to that of base metal. Secondly, Formability of laser welds was investigated by using ball punch tester. Finally, the forming results of butt-welded sheets showed that the joining design was important to apply the laser welded blank in the automotive production.

### 1. 서론

자동차 차체구조물로 사용되고 있는 아연도금강판은 내구성 이 뛰어나며 내부식성이 강하고 값도 싸다. 그러나 아연도금물질은 방청의 역할로써는 최적인 반면, 두 금속간의 기계적, 물리적 특성의 차이 때문에 상대적으로 용접성을 약화시키는 문제점을 안고 있다. 이러한 재료에 대해 좁고 깊은 용접부와 최소한의 열영향부를 만들 수 있는 레이저 용접은 큰 장점을 갖고 있다. 박판의 성형공정은 자동차 산업에서 매우 중요한 부분으로 자동차의 외관, 안정성, 강성등에 직접적인 영향을 준다. 따라서 박판의 성형공정은 합리적인 설계와 축적된 경험이 필수적이며 이를 바탕으로 한 성형공정의 최적화가 필요하다. 그러나, 자동차 산업의 급속한 발전과 대량생산화에도 불구하고, 성형공정의 최적화 방안은 현재까지도 확립되지 못하였으며 박판성형공정은 주로 경험축적에 의한 시행착오법에 의존해왔다. 박판성형의 최적화를 위해서는 재료특성에 따른 실험적보완과 평가가 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 자동차 차체구조물로 널리 사용되고 있는 아연도금 강판의 레이저 용접과 성형성에 대하여 조사하기 위하여 여러가지 조건으로 레이저 용접을 한 시편들을 Erichsen cup test 방법을 이용, 최적의 용접상태를 보인 시편들을 가지고 Ball punch tester를 제작, 성형성을 조사하였다.

### 2. 실험

#### 2.1 실험재료

실험에 사용된 재료는 자동차 차체 구조물로 사용되는 아연도금 강판( $t = 0.8, 1.0, 1.2\text{mm}$ )이며, 국내 자동차회사로 부터 공급받았다. 아연도금층의 두께는 각각  $12\mu\text{m}, 14\mu\text{m}, 16\mu\text{m}$  이다. 각 재료의 화학적 조성은 Table 1과 같다. 용접 시편의 규격은 용접 Jig, Erichsen cup test, Ball punch tester의 크기를 고려하여  $80\text{mm} \times 100\text{mm}$ 로 하였다.

#### 2.2 레이저 용접장치 및 실험조건

본 실험에 사용한 레이저는 최대출력 2.8Kw급의 CO<sub>2</sub> 레이저인 BTL 2800 로서 빔 모드는 TEM 01\* 이고 빔의 집광에는 parabolic mirror를 이용하였다. 시편의 두께에 따라 용접속도, 레이저 출력을 변화시켜가며 용접하였고 보조가스로는 Ar gas( $100 \text{ l/min}$ )를 사용하였다. Table 2는 용접조건들을 요약한 것이다.

Component/ Thickness	C	Mn	P	S	Fe
0.8 mm	0.0024	0.13	0.011	0.006	rest
1.0 mm	0.0030	0.09	0.012	0.005	rest
1.2 mm	0.0030	0.08	0.008	0.008	rest

Table 1. Chemical composition of specimen (wt %)

Power (Kw)	0.8 1.0 1.2 1.4 1.6 1.8
Velocity (m/min)	1.2 1.4 1.6 1.8
Focal Point (mm)	0.5mm below the material surface

Table 2. Welding conditions

### 2.3 성형성 평가 실험

용접시편의 용접부의 단면은 광학현미경을 사용하여 관찰하였다. 용접시편을 횡으로 절단한 후 Micro Vickers 경도계를 사용하여 용접부, 열영향부 및 모재의 경도를 중심으로부터 0.1mm 간격으로 측정하였다. 용접부의 우수성을 평가하기 위하여 Erichsen cup test를 실시하였다. Erichsen 값이 가장 우수하게 나타난 용접조건으로 시편을 용접하여 ASTM의 규격대로 제작한 Ball punch tester로서 성형성을 평가하였다. Fig 1은 성형성 실험장치의 개략도이다.

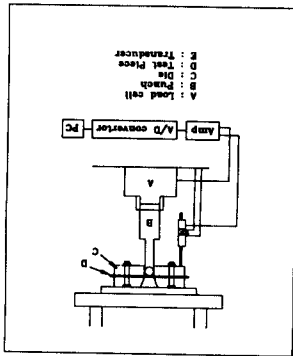


Fig 1. Schematic diagram of Ball Punch Test System

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 맞대기 용접

에리ksen 시험을 위한 맞대기 용접의 결과를 Table 3에 나타내었다. 여기서 ◎는 full penetration 한 상태를 나타내며, ●는 full penetration 하지만 비드상부가 가라앉는 경우, △는 cup-shaped penetration 한 경우, ×는 용접이 되지 않는 경우를 나타낸다.

Fig 2는 용접속도가 1.6m/min으로 일정할 때 레이저 빔 출력(1.0~1.6Kw)의 변화에 따른 아연도금 강판 (t=1.2mm)의 맞대기 용접시의 단면사진이다. 레이저 빔 출력이 작을 때는 표면 상태가 깨끗하지 못하며 뒷면 비드가 형성되지 않았다. 레이저 빔 출력이 1.2Kw일때 full penetration이 이루어져 용접상태가 양호한 것으로 나타났으며, 레이저 빔 출력이 1.4Kw이상일 때는 열유입량이 너무 많아 비드폭이 크고 뒷면 비드가 너무 많이 형성되었다.

Velocity (m/min)	Thickness of base metal (mm)	Power (Kw)	Remark
1.2	0.8	0.8	△
		1.0	◎
		1.2	●
		1.4	◎
1.4	1.0	1.0	◎
		1.2	◎
		1.4	●
		1.6	◎
1.6	1.0	1.0	△
		1.2	◎
		1.4	●
		1.6	◎
1.8	1.2	1.0	×
		1.2	△
		1.4	◎
		1.6	●

Table 3. Welding results of butt joint

- ◎ : full penetration    △ : cup-shaped penetration
- : full penetration, however, upper bead is down
- × : no welding

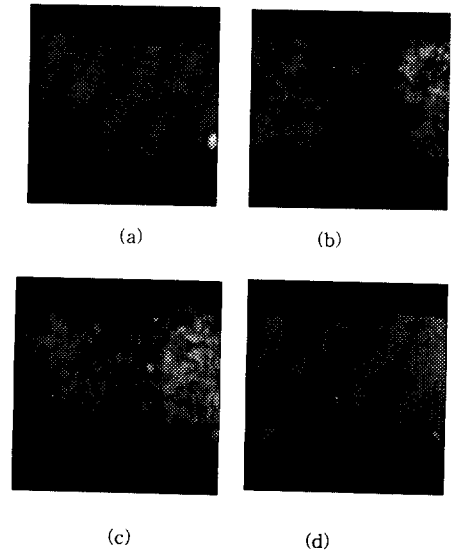


Fig 2. Macrosections of laser butt welds for 1.2mm thick zinc coated steel sheets. (×25)

- (a) P = 1.0 Kw    (b) P = 1.2 Kw
- (c) P = 1.4 Kw    (d) P = 1.6 Kw

3.2 경도 분포

Fig 3은 레이저 용접부의 경도분포를 나타내고 있다. 하중이 500g, Loading time은 15초 일때의 비커스 경도값이다. 모재의 경도는 약 118 Hv 정도였으며 용접부의 경도는 208Hv 정도로 약 2배 증가하였다. 일반적으로 용접속도가 증가하면 냉각속도가 빠르기 때문에 경도 값은 증가하나 본 실험에서는 속도변화에 따라 경도 값이 크게 증가하지 않았다. 이는 모재의 탄소 함유량이 매우 적기때문이라 사료된다.

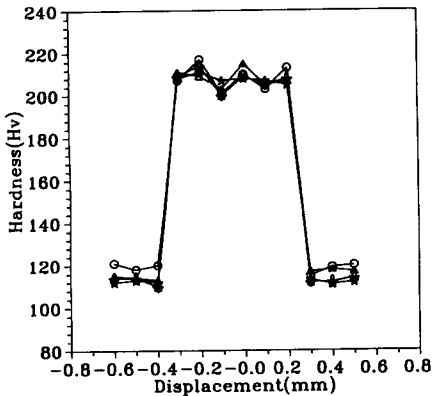
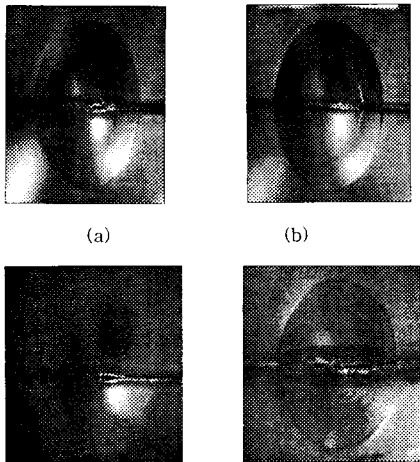


Fig 3. Micro-hardness distributions of laser butt welded zinc coated steel sheets.

3.3 Erichsen cup test

Fig 4는 용접속도를 1.6m/min로 고정시키고 레이저 빔 출력을 변화시켜 용접한 시편(t=1.2)을 에릭슨 시험한 형상이다. 일반적으로 용접비드에서는 인장잔류응력이 존재함으로 성형시에 인장응력과 중첩되어 최대 변형율이 존재하는 영역에서 파괴가 일어나며 실험에서도 이를 관찰할 수 있었다. Table 4는 모재와 용접시편의 최대변형높이를 비교한 것이다. 레이저 빔 출력이 1.2Kw일때 용접시편의 성형성은 모재의 79.3%의 값을 가지고 있다.



(c) (d)  
Fig 4. Photograph of Erichsen cup test results for laser butt welds.  
(a) P = 1.0 Kw (b) P = 1.2 Kw  
(c) P = 1.4 Kw (d) P = 1.6 Kw

Power (Kw)	Height (mm)	Height of welded specimen / height of base metal (%)
1.0	6.25	52.1
1.2	9.51	79.3
1.4	7.6	60.8
1.6	7.1	59.2

Table 4. Comparison of height between base metal and welded specimen

3.4 Ball punch test

시편의 두께별로 Erichsen cup test 결과가 가장 양호한 용접조건으로 Ball punch test를 위한 시편들을 맞대기 용접하였다( Table 5 ). Fig 5은 맞대기 용접한 시편들을 가지고 Ball punch test 한 것이다. Ball punch test tool을 Load cell, Transducer과 함께 프레스에 부착하여 용접시편들의 변위와 압력들을 측정하였다.( Fig 6 ~ 8 )

Thickness (mm)	Power (Kw)	Velocity (m/min)
0.8	1.0	1.2
1.0	1.2	1.6
1.2	1.4	1.8

Table 5. The best conditions of Laser butt welding for thickness

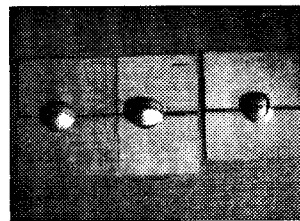


Fig 5. Photograph of deformed sheets by ball punch tester

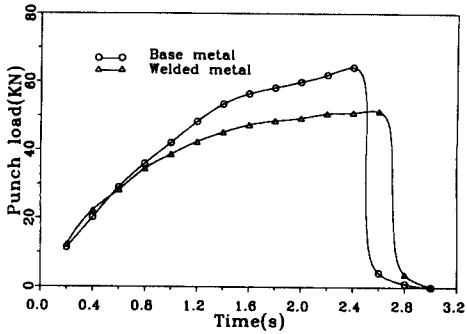
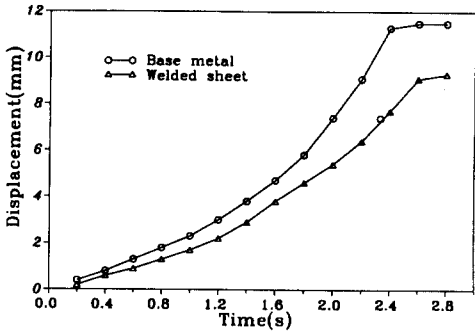


Fig 6. Comparison of load and displacement between base metal and welded specimen (  $t = 0.8\text{mm}$  )

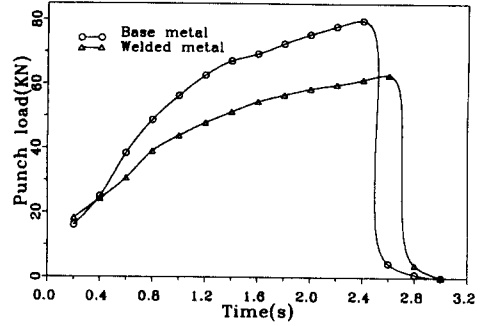
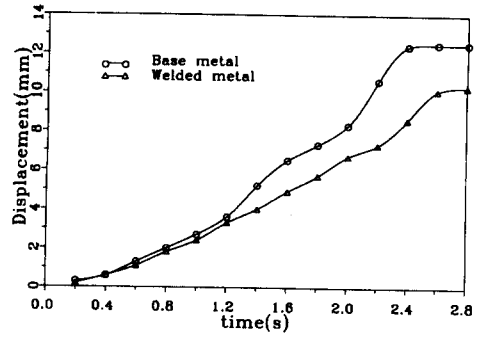


Fig 8. Comparison of load and displacement between base metal and welded specimen (  $t = 1.2\text{mm}$  )

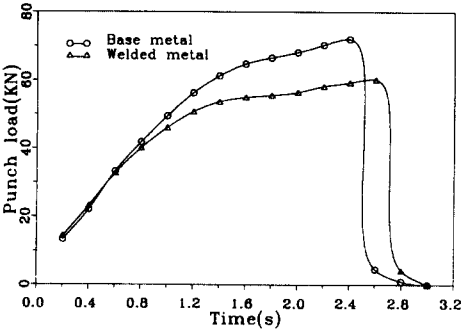
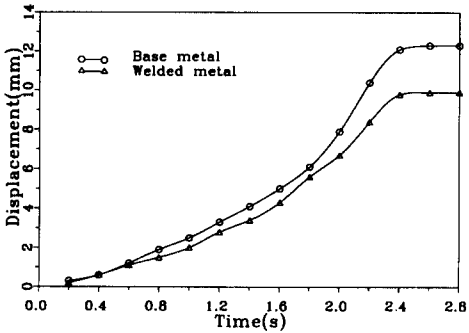


Fig 7. Comparison of load and displacement between base metal and welded specimen (  $t = 1.0\text{mm}$  )

#### 4. 결론

본 논문에서는 자동차용 아연도금 강판의 레이저 용접 및 성형성에 관하여 연구하였다. 기초실험에 의해 최적의 조건을 지닌 용접시편들을 제작하여 성형성을 평가한 결론은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 아연도금 강판의 맞대기 용접실험 결과로부터 최적의 용접조건이 도출이 가능하였으며 이는 레이저 빔의 출력과 용접속도의 크기로 나타낼 수 있었다.
- 2) 레이저 용접시편의 Erichsen cup test 결과, 모재와 비교하여 약간 낮은 성형성이 나타났으나 용접부를 열처리할 경우 모재와 비슷한 성형성을 얻을 수 있었다.
- 3) 레이저 용접 및 성형성 평가에 대한 기초자료의 획득이 가능하였다.

#### 5. 참고 문헌

1. E.N Gregory : "Arc welding of galvanized steel", Sheet metal industries, Vol. 45, No. 495, 1968, pp. 501-507
2. 김 재 도 : "저탄소강의 고품질 CO<sub>2</sub> 레이저 용접", 대한용접학회지, 7권, 4호, 1989, pp. 12-22
3. D. J. Meuleman, S. G. Denner and F. L. Cheng : "The effect zinc coatings on the formability of automotive sheet steels", SAE 840370, 1985, pp. 2910

4. R. Stevenson : "Formability of galvanized steels-revisited", SAE 850276, 1986, pp. 2.611
5. W. G. Brazier and R. W. Thompson : "The effect of die materials and lubrication on punch stretching and drawing forces of cold-rolled and zinc-coated steels", SAE 850274, 1986, pp. 2.592
6. R. Akhter, W. M. Steen and K. G. Watkins : "Welding zinc-coated steel with a laser and properties of the weldment", J. of laser applications, 1991, pp. 9-20
7. J. D. Kim and R. V. Subramanian : "Heat flow in laser beam welding", 4th Int'l Conf. on welding by electron and laser beams, Cannes France, 1988, pp. 175-182
8. D. M. Hull and A. Stewart : "Laser beam profiles principles and definitions", Laser and applications, 1985, pp. 75-80
9. D. M. Roessler : "New laser processing developments in the automotive industry", Industry laser handbook, 1990, pp.109-127
10. M. Bass : "Laser materials processing", North-Holland, 1983, pp. 115-196
11. K. Yasuda, T. Jimma, and T. Onzawa : "Formability of butt welded stainless steel thin sheet", J. of JWS, Vol. 2, No. 3, 1984, pp. 161-166
12. K. Ikemoto, H. Sugiura, K. Arima, and T. Takasago : "Press forming of laser welded blank", J. of JSTP, Vol. 32, No. 370, pp. 1383-1390
13. J. Heydin, K. Nisson, and K. G. Watkins : "Welding of zinc-coated steel", Industrial laser annual handbook, 1990, pp. 9-20
14. J. F. Ready : " Industrial applications of lasers". Academic press, 1987, pp. 124-158