

Nd:YAG 레이저를 이용한 자동차 언더바디 센터플로어에 대한 용접성 검토

A Study on the Weldability for Automobile Under body Center floor with Nd:YAG laser

유상현* · 김관희* · 윤재정* · 유효정* · 김성세*

*(주)세원정공 기술연구소

ABSTRACT The center floor is a part of underbody of cars. The assembling method is mostly a resistant spot welding. But the resistant spot welding has many demerits in productivity such as low welding speed, large spatter occurring, hard to verify the welding quality. The laser welding has many merits such as high welding speed, high static and dynamic weld strength. So the laser welding has been studied to substituted the resistant spot welding. Therefore, in this study, as a pre-evaluation stage for replacing the resistance spot welding with laser in production of automobile parts, the weldability of cold rolled and zinc coated steel sheets is studied and also evaluated the weld strength by the tensile shear test. And the shape of weld bead appearances and micro structure of the weld bead section is also evaluated.

1. 서 론

저항 점용접(resistance spot welding)은 용접시간이 짧고 공정이 간단하며 용접부에 발생하는 열영향부(HAZ)가 작다. 또한, 잔류응력과 그로 인한 변형량이 작기 때문에 자동차 분야 뿐만 아니라 항공기구조, 철도차량 등 내구성이 요구되는 분야에 널리 사용되어지고 있다.¹⁾ 하지만 자동차 부품 생산에 있어서 저항 점용접은 느린 용접 속도로 인한 낮은 생산성과 스파터 발생, 실시간 용접 품질 검사의 어려움 등 여러 단점들을 가지고 있다.

레이저용접(laser welding)은 높은 에너지 밀도에 의한 빠른 용접속도를 얻을 수 있으며 저항 점용접 보다 열 변형이 작기 때문에 생산제품의 제품치수를 더욱 정밀하게 요구할 수 있다.²⁻³⁾ 또한, 비접촉 용접이 가능하기 때문에 저항 점용접에 있어서 용접기 접근이 불가능한 부위의 용접도 가능하다.⁴⁾ 이러한 장점들뿐만 아니라 레이저용접장도가 높아 저항 점용접 보다 높아 자동차 차체강성을 높일 수 있고, 연속적인 형태의 용접이 가능하게 함으로써 비틀림 강성을 높이는

효과를 낼 수 있다.⁵⁾

본 연구는 자동차 부품 조립 공정에서 기존 저항 점용접을 레이저용접으로 대체하기 위한 사전 검토 단계로써 저항 점용접으로 제작하던 차체 부품인 센터플로어 및 소재에 대해 레이저용접성 평가를 하였다.

2. 실험방법

레이저 최대 출력 4.5kW급인 Nd:YAG레이저를 사용하여 자동차 차체 부품 용접 및 아연도금 강판과 냉연강판에 대한 레이저용접을 실시했다. Table. 1은 본 실험의 실험변수이다.

Table. 1 Experimental parameters for laser welding

Parameter	Range
Laser power (W)	3500 - 4400
Welding speed(m/min)	2.4 - 7.2
Gap (mm)	0 - 0.4

2.1 실험소재

소재는 자동차 차체 제작용으로 널리 사용되는 SGARC 아연도금강판과 SPRC 냉연강판이며 화학조성은 Table. 2에 나타내었다.

Table. 2 Chemical composition of specimens (wt%)

	C	Si	Mn	P	S
SGARC	0.0016	0.01	0.44	0.057	0.008
SPRC	0.04	0	0.47	0.01	0.004

2.2 실험방법

2.2.1 차체 부품의 레이저용접

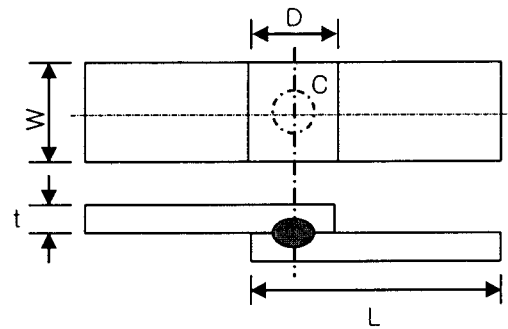
자동차 차체 부품인 센터플로어에 대해 레이저 용접을 직접적으로 적용하기 전 각 단품에 대한 용접조건을 설정하였다. 센터플로어는 두께 및 재질별 소재조합이 다르기 때문에 각 단품에 대한 용접조건이 각기 다르게 설정되었다. 설정된 용접조건을 기준으로 용접용 테이블 위에 단품과 메인 판넬 소재와 동일한 판재를 겹쳐서 고정한다음 연속 스티치(stitch) 레이저용접을 행하였다. 용접된 단품에 대해 외관검사를 실시하여 피트나 기공에 의한 결함 유무를 파악하고 설정된 용접조건을 적용하여 센터플로어를 제작하였다. 판넬 간격은 0.1mm에서 0.15mm 범위를 유지하였고 용접 길이는 대부분 20mm로 하였다.

2.2.2 레이저용접 비드 단면 관찰

자동차 차체 부품 제조에 주로 사용되는 아연도금강판과 냉연강판의 겹치기 레이저용접성을 파악하기 위하여 100×40mm의 시험편을 제작하였다. 아연도금강판의 레이저용접 시 판재간격이 용접 결과에 중요한 영향을 준다는 사실은 여러 연구 결과에서 보고 되었다.⁶⁾ 본 연구에서도 판재간격을 0mm에서 0.4mm까지 변화시키면서 레이저용접성에 미치는 영향을 관찰하였다. 또한, 판재간격이 0mm일 때 소재조합에 따라 2매, 3매 겹치기 레이저용접 시 아연증기 발생에 따른 결함을 파악을 하였다.

2.2.3 인장전단시험

저항 점용접과 레이저용접 강도를 비교하기 위해 인장전단시험을 하였다. Fig. 1은 인장시험편을 보여주고 있으며 Table. 3은 용접비드 형상 및 용접점 수를 나타내었다.



L: 250mm (length) , C: welding center
t: 1.0mm (Thickness) , W: 40mm (width)
D: 50mm (lapped length)

Figure.1 Dimensions and configuration for tensile shear test

Table. 3 welding bead configuration and method

용접비드형상	용접방법	용접점 수
(I) line type	laser	1, 2, 3
(-) line type	laser	1, 2, 3
(C) arc type	laser	1, 2, 3
(●) spot type	spot	1, 2, 3

3. 실험결과 및 고찰

3.1 차체 부품 레이저용접성 평가

3.1.1 차체 부품 레이저용접

센터플로어의 판재 겹침부 두께를 고려하여 각각 설정된 조건을 기준으로 레이저용접을 진행하였으며 용접 완료 시 마다 외관 검사를 실시하였다. 용접비드 단면을 분석하기 전에 정확한 결함 여부를 판단하긴 어려우나 외관검사 결과, 아연증기 폭발에 의한 심각한 기공발생은 이루어지지 않았고 금속표면에 언더컷이나 피트에 의한 결함도 발견되지 않았다. 하지만 용접부에 불규칙적으로 구멍(hole)이 간혹 발생되었는데 이는 아연증기 폭발이 직접적으로 가해져 오는 현상과는 연관성이 부족하다 생각되며 판재를 소성가공 시킨 후에 발생하는 판넬 형상 불량에 의해 판넬 겹침이 제대로 이루어지지 않은 것이 근본적인 원인이라 판단된다.

3.1.2 판재간격 크기의 영향

두 판재의 간격을 크게 하면 아연증기가 분산되는 역할을 함으로써 결함 발생이 감소한다고

보고 되고 있다.⁷⁾ 하지만 재료 특성에 따라 결함 발생 한계 간격이 상이하기 때문에 본 연구에서는 판재간격 0mm에서 0.4mm까지 판재간격에 따른 용접비드 형상 및 결함발생을 관찰하였다. 겹침부에서의 결함은 아연증기가 가스화 되고 가스가 용융금속 측으로 이행함으로써 유발되는 것으로 판단된다. 갭이 0.1mm에서 0.25mm까지 일 때의 형성된 용접금속 내부에 결함은 발견하지 않았으며, 갭이 0.3mm 이상 일 때는 사발 형태의 용접 비드가 형성되었다. 이는 상판이 완전 용입 된 후 용융부의 함몰이 일어나 판재간격 사이로 용융금속이 흘러가고 레이저빔이 하판까지 조사되어 발생한 현상⁸⁾이라 생각된다.

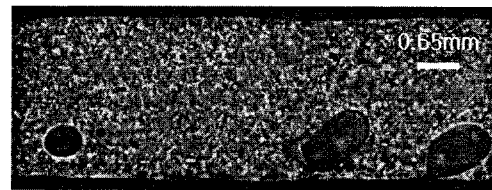
3.1.3 아연도금강판과 냉연강판의 겹치기용접

아연도금강판과 냉연강판에 대해 2매, 3매 겹치기 용접을 하였으며 Photo. 1은 3매 겹치기 용접비드 종단면을 나타낸 것이다. 소재조합 3매 겹치기 일 때 (a)는 상판과 중판은 냉연강판이고 하판은 아연도금강판으로 조합되어있다. (b)는 상판과 하판은 냉연강판이고 중판은 아연도금강판으로 조합되며 (c)는 상판이 아연도금강판이 위치하고 있고 중판과 하판은 냉연강판으로 조합되어있다. (a)에서 (c)까지는 갭이 0mm일 때의 용접부 종단면을 나타내고 있고, (d)는 소재조합이 (c)와 같으나 상판 아연도금강판과 중판 냉연강판 사이에 0.1mm의 갭을 주었다. 갭을 주지 않은 (a)-(c)에서는 겹침부를 기점으로 아연증기가 발생되고 이때 가스와 용융금속과의 계면장력이 충분치 못하여 가스가 용융금속 측으로 이행됨⁷⁾으로써 기공이 발생하는 것으로 생각된다. (d)는 상판에 위치한 아연도금강판과 중판에 위치한 냉연강판 사이의 갭에 의해 아연증기가 배출됨으로써 기공형성이 최소화 된 결과 생각된다.

3.1.4 인장전단시험 평가

저항 점용접점 1점일 때 열영향부에서 파단된 것으로 여겨지며 2점과 3점일 때는 모재에서 파단 되었다. 레이저용접 I형상을 가진 시험편에 대해 용접점수가 1점과 2점일 때 인장은 일어나지 않음과 용접부에서 뜯겨지는 현상을 보였고 3점일 때에는 모재에서 파단 되었다. L(-)형태의 시험편에 대해 1점과 2점일 때에는 I형일 때와 마찬가지로 용접부에서 뜯겨지는 현상을 보였고 3점일 때에는 모재에서 파단 되었다. 시험편 형상이 아크(C)형일 때에는 1점에

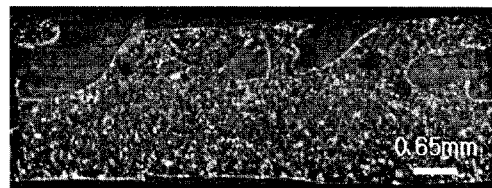
점일 때에는 모재에서 파단 되었다.



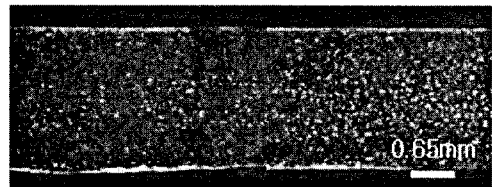
(a) g=0mm



(b) g=0mm



(c) g=0mm



(d) g=0.1mm

Photo. 1 Welding cross-sectional photographs of lap joint welding using three plate

- (a) Top plate: Cold rolled sheet
middle plate: Cold rolled sheet
Bottom plate: Zinc coated steel sheet
- (b) Top plate: Cold rolled sheet
middle plate: Zinc coated steel sheet
Bottom plate: Cold rolled sheet
- (c) Top plate: Zinc coated steel sheet
middle plate: Cold rolled sheet
Bottom plate: Cold rolled sheet
- (d) Top plate: Zinc coated steel sheet
middle plate: Cold rolled sheet
Bottom plate: Cold rolled sheet

L(-)형태의 시험편에 대해 1점과 2점일 때에는 I형일 때와 마찬가지로 용접부에서 뜯겨지는 현상을 보였고 3점일 때에는 모재에서 파단 되었다. 시험편 형상이 아크(C)형일 때에는 1점에

대해 용접부에서 뜯겨졌지만 최고치 하중 값을 가졌고 2점과 3점일 때에는 모재에서 파단 되었다. 인장전단시험에 대해서는 추후 추가적인 실험을 할 계획이다.

4. 결 론

자동차 차체 부품 조립에 사용되는 기존의 저항 점용접 공정을 레이저용접으로 대체하기 위한 사전검토 단계로서 센터플로어 및 소재에 대한 레이저용접성 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 판재간격이 용접비드에 미치는 영향을 관찰한 결과, 판재간격이 0mm인 경우 기공발생이 뚜렷하게 나타났으며 0.1mm에서 0.25mm까지는 양호한 용입 형태를 보였다.
- 2) 센터플로어에 대해 레이저용접을 할 때 있어서 판넬 간격이 0.1mm에서 0.15mm인 구간에서는 기공 발생이 없는 양호한 용접부를 얻었다.
- 3) 판재간격을 0mm로 하고, 2매와 3매 겹치기 레이저용접을 하였을 때 많은 기공들이 발생되었다. 그러나 판재간격을 0.1mm로 하였을 때 기공발생 흔적을 찾아 볼 수 없었다.
- 4) 인장전단시험 결과 아크(C)형일 때 가장 높은 하중 값을 나타내었다.

후 기

본 연구는 (주)세원정공 기술연구소에서 자체적으로 수행되었으며 시험에 협조해주신 자동차 부품연구원 레이저센터 금속소재연구팀에게 진심으로 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 허인호, 이철구, 안형근, 김현문, "The Quality Evaluation on Resistance spot welding of Aluminum and zinc coated steel", 대한용접학회 00 특별강연 및 추계학술대회 개요집, 2000, pp.243-246
2. D. Radj, R. Koller, U. Dilthey, O. Buxbaum, "Laserschweißgerechtes konstruieren in Stuttgart", (1993)
3. 김정학, 김철희, 김준기, 김정환, 이세현, "Feasibility study for Remote welding using

High Power Disk Laser", 대한용접학회 06 춘계학술대회 개요집, 2006, pp.242-244

4. K. S. Kim, C. H. Jung, I. S. Chang, H. B. Lee, "Development of remote welding system using fiber laser" Journal of KSLP, 8-3(2005), pp.27-30
5. 장인성, 서보진, 권태용, "Nd:YAG 레이저를 통한 SIDE PANEL의 3겹 겹치기" 한국레이저가공학회 00 춘계학술대회 개요집, 2000, pp.55-60
6. Paul Denney and Jian Xie, "The Welding of Galvanized Steel. Proceedings of the 19th International Congress on Applications of lasers and electro-optics", ICALEO, 2000,
7. Jong-Bong Lee, Young-Ho An, Hwa-Soon Park, "CO₂ Weldability of Zn Coated Steel Sheet(3)", KWS, Vol.18, No.2, April, 2000
8. Kyoung Don Lee, Ki Young Park, Ju Gwan Kim, "Effects of the speed on the Lap-joint CO₂ Laser Welding of Automotive steel sheets", KWS, Vol. 20, No. 4, August, 2002