

Nd:YAG 레이저를 이용한 차체 레이저 용접

장인성

Nd:YAG Laser Welding for Side Panel

In-Sung Chang

1. 서 론

현대 자동차의 레이저 용접 적용 결과는 수 십년동안 저항 용접을 이용한 접촉식 용접에서 비 접촉에 의한 레이저 용접을 적용 함으로서, 차체의 정도 문제와 정확성 그리고 인장 강도에 혁신적인 향상을 가져 왔으며, 특히 장래에 있어서 비 접촉에 의한 차체 설계의 자유도를 혁신적으로 향상 시킴으로 차체 설계의 새로운 혁명 시대를 열었다. 새로운 차체 설계는 차체 정도의 향상뿐 아니라 전세계적으로 추진되고있는 차체 경량화에 많은 기여를 할 것으로 기대된다. 나아가 레이저 용접 기술은 최근 유럽 AUDI 경량화의 핵심인 알루미늄 body의 용접에 30m를 적용하는 패거를 올려서, 미래 경량화의 선두인 알루미늄 용접의 해결책을 제시했다.

레이저 용접은 접합 형태에 있어서 연속적인 용접 형태를 가능하게 함으로서 사이드 판재의 비틀림 경도를 약 30%의 성능 개선의 효과가 있으며¹⁾, 이로 인한 경량화 정도의 향상을 가져온다. 빔의 유입이 광 화이버를 통하여 가능하며 이 장점은 레이저의 용접 탄력성에 매우 긍정적으로 작용한다. 비접촉을 통한 레이저 용접은 자유로운 위치변경의 가능성을 제시한다. 자유로운 위치 변경의 가능성은 다만 로봇과 가공 헤드 혹은 클램핑에 의하여 제한된다. 종래의 저항용접에 비하여 레이저 용접은 얇은 판넬을 제공하며, 레이저 빔의 높은 에너지 밀도는 고속의 용접 속도와 높은 생산성, 그리고 동시에 낮은 열 유입을 통하여 적절한 열 확산과 적은 내부응력을 형성한다²⁾. 또한 진동부하에 있어서 현존의 저항용접보다 높은 강도와 경도를 갖는 것을 알 수 있다. 위에 열거한 다수의 장점에도 불구하고 레이저 용접은 여러 인자들에 의하여 영향을 받으며 특히 용융강판에 있어서 각 플랜지사이의 간격과 평면도 형태 그리고 플랜지의 설계 형태 등에 의하여 지대한 영향을 받는 것을 관찰할 수 있었다. 또한 용접

비드의 안정적인 형성을 위하여 정확한 간격을 가능하게 하는 Tool개발도 동시에 진행 되었다.

2. 레이저 용접 적용

2.1 용접 재료 및 조건

본 연구를 위하여 3종류의 용융도금강판 SGARC35 60/60(1.2t), SGARC35 60/60(1.4t), SGACEN F30/F60(0.7t)이 사용되었으며, Side Panel은 현존의 3겹 상태로 실험을 실시하였다. 사용된 레이저는 HAAS 사의 CW HL4006D(4kW)를 사용했으며, 빔은 모재에 수직으로 조사되며, 직경은 1:1 비율에 의한 0.6mm의 지름을 갖는다. 이 연구에서는 되도록 높은 용접 속도를 위하여 적은 초점 직경을 갖도록 했다. 초점길이는 용접 스패터와 기름의 증발에 대처하기 위하여 가능한 한 멀리($f=200\text{mm}$)격리되도록 하였다. 시간 경과에 따른 Nd:YAG 레이저 빔의 안정성과 품질은 25mm mrad을 갖는다. 프로세스 안정성과 속도에 있어서 Nd:YAG 레이저는 CO₂에 비교하여 높은 값을 갖는 것을 알 수 있다³⁾. 용접의 형태로서 20mm의 Stitch 방식으로 용접을 한 후 30mm를 이동하여 다시 용접을 시도하였다. 차후 인장시험을 위하여 100mm×330mm의 철판을 사용하였다.

2.2 겹치기 용접

2중의 Gap에 의한 3겹 겹치기 용접의 입지적 조건을 해결하기 위해서 여러 용접 형태를 Fig. 1에서 시도하였다. 모든 시편의 간격은 클램프에 의하여 아연 증기의 유출이 가능한 상태로 용접을 실시 하였다. 용융강판의 두께는 상부 판재 1.2mm, 중간 판재 1.4mm와 하부 판재 0.7mm로 구성되어 있으며 모든 판재는 양면 도금 강판이다. 각 용접 형태의 실험 변수들을

Table 1 레이저 출력과 속도에 의한 용접 형태의 변수

용접 형태	a	b	c	d
출력[kW]	4	4	4	4
속도[m/s]	0.03	0.045	0.05~0.07	0.05~0.1

Table 1에 열거 하였다.

2.3 겹치기 용접에 있어서의 속도별 비드변화와 최적 용접위치 선정

속도별 비드의 상태를 측정하기 위하여 레이저의 동일 출력(P=4kW)으로 실험을 실시 하였으며 용접 속도(V)는 0.01~0.05m/s로 각 속도에 있어서의 경향을 시각적 관점에서 고찰 하였다. 겹치기 용접에 있어서 3겹 모두 용융 아연 도금강판의 기본적 재질 조건을 통하여 거의 0.1~0.2mm Gap 상태에서의 아연증기의 직접적인 동향과 상부 판재의 비드 형상(길이, 깊이, 함몰정도, 폭, 증기 폭발), 용접 결함, 그리고 동시에 레이저 용접에 직접적인 영향을 미치는 로봇의 동특성에 대한 관찰도 함께 이루어 질 수 있다. 플랜지 끝 단으로 부터의 최적 용접 위치를 선정하기 위하여 위의 동일한 용융 강판과 출력(P=4kW)을 사용하였으며, 플랜지 단부로부터 1.5, 3, 5, 7mm의 거리에서 레이저 용접을 실시 하였다. 판정은 상부 판재의 Bead 형상에 의하여 정의 하였다. 아연 증기 상태의 동향과 함께 Bead 형상이 구체적으로 논의 되었다. 열거한 사항들은 레이저의 밀도와 함께 그 에너지 분포를 통한 모재 내에서의 내부열의 확산과 그로 인한 내부응력 즉 잔류응력의 영향들을 볼 수 있었다. 또한 6축 로봇을 통하여 용접 경로와 재현 정확성을 확인할 수 있었다. 차체의 설계 응력에 바탕을 둔 진동 강도의 실질적인 값은 직접적으로 비드의 위험한 부분에 발생하는 모든 응력 원소들이 관찰되어야 한다. 이들의 응력 정도를 인장, 굽힘 또는 비틀림 시험을 통해 평가 하였으며, 이 실험에서는 인장 시험을 통하여 점 용접과 함께 레이저 용접의 두 값을 비교하여 분석 하였다.

2.4 클램핑장치

철판의 부식 방지를 위하여 일반적으로 아연 도금 강판이 사용되고 있으나, 레이저 용접에서 순간의 가열을 통하여 아연 증기의 증발 현상을 초래하며, 이 현상은 용접 비드에 있어서 기공을 형성하여 인장강도의 저하와 응력 집중의 현상을 초래하여 차체의 진동 부

하에 치명적인 영향을 초래한다. 이 현상을 최대한 억제하고 균일한 용접 비드를 형성하기 위하여 많은 실험을 통해 손가락 형태의 클램핑 장치를 개발하고 실용화 하였다.

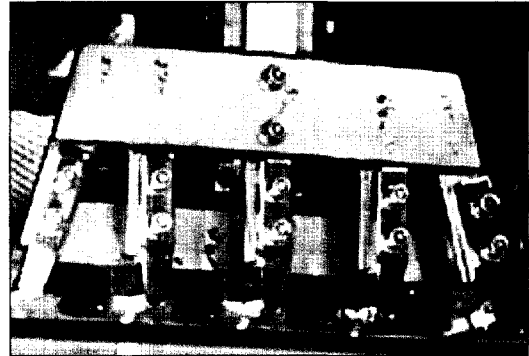


Fig. 1 아연 도금 철판의 용접을 위한 클램핑 장치

3. 용접 변수의 영향

Nd:YAG에 의한 3겹의 겹치기 용접에 있어서의 용접 형태를 Fig. 2에서 나타내고 있다. (a)방식에 의한 3겹 겹치기 용접에 있어서 상기 플랜지의 용접 형태는 비드 형성에 있어서 매우 양호한 형태를 형성했다. 상부 판재와 하부 판재 두께의 차이가 거의 2배인 상태에서 최적 변수의 선정에 어려움이 있었으나, 반복되는 변수 선정을 통하여 양호한 비드를 얻어낼 수 있었다. 고밀도 에너지 분포에 의한 아연 증기의 발생에도 불구하고 판재 내부에서의 이상적인 열 확산과 내부 응력의 형성을 볼 수 있었다. 또한 적절한 비드 폭과 함께 길이와 깊이 그리고 원활한 아연증기 가스의 배출도 양호한 비드 형성에 보탬이 되었다. 아연 증기의 적절한 배출을 위한 상부 판재 끝 부위에서의 용접형태 (b)는 판재 끝 부위의 에너지 집중을 통하여 불규

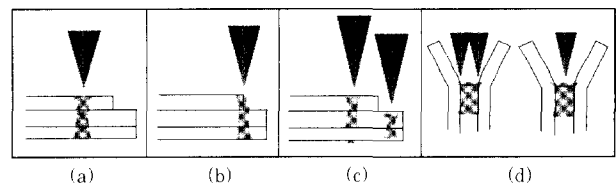


Fig. 2 용접 형태에 의한 3겹 용접의 겹치기 형태



Fig. 3 용접 형태에 의한 비드의 단면 사진, Fig. 2의 (a),(b) 및 (c)에 각각 대응하고 있다

칙적인 비드 형성과 함께 아연증기 가스의 외부 유출에 큰 영향을 주지 못했다. 또한, 판재 단부 상의 레이저 초점의 오차 발생시 과도한 용접 불량 현상과 함께 현저한 강도 저하를 가져왔다. 초점 조정시의 위치 편차를 통하여 용접 비드의 재현성에 많은 어려움과 그로 인한 용접 불량을 나타냈다.

3겹 상태에 있어서의 2겹 용접(c)는, 용접위치에 있어서 레이저 빔의 미 투과 현상과 아연 증기의 판재 내에서의 잔류 현상을 통하여 용접 지점 주위로의 기공 형성을 초래 하였으며 그로 인한 용접 불량을 초래 하였다.

틈새 용접에 의한 용접 형태(d)는 티칭의 어려움이 있었고, 특히 좌측과 우측판재의 2중 용접에서 모재에 과도한 열 영향부를 형성 하였으며, 이로 인해 판재 내에서의 무리한 열 확산과 함께 심각한 판재 변형과 용접 불량을 초래 하였다. (d)형태에 있어서 레이저의 출력과 속도에 의한 적절한 변수를 찾을 수가 없었다.

용접 형태에 의한 비드의 단면도를 Fig. 3의 (a), (b) 및 (c)에 각각 나타낸다. 3겹 겹치기 용접(a)에서 균일한 비드의 조직 현상을 얻을 수 있었다.

용접 속도가 비드 형상에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 0.01m/s에서 0.05m/s까지의 속도별 비드 형태를 Fig. 4에서 나타내었다.

3겹 아연 도금 강판의 맞대기 용접에 있어서 저속의 용접 과정은 레이저 빔의 용입량을 증가 시키며 이로 인한 비드폭이 현저하게 커지는 것을 볼 수 있었다. 저속($V=0.01\text{m/s}$)의 용접에서는 모재 내부의 열확산에 긍정적인 작용을 통하여 아연 가스 폭발의 현상을 최소화 할 수 있었다. 그러나 레이저 적용의 경제성 문제와 양산 적용을 위한 C/Time에 부정적인 역할을 한다. 고속의 용접 속도를 가능케하는 레이저 용접은 자동차 산업계의 경제성을 제시하는 중요한 항목으로서 레이저 출력이 높으면 높을수록 용접속도의 향상을 가져온다⁴⁾.

용접속도 0.03m/s에 있어서는 안정적인 내부 응력의 확산을 통하여 3겹 용융도금강판에 있어서 최상의 용접 비드를 형성했다. Fig. 4에서 보듯이 용접 속도의 향상은 레이저 빔에너지의 입력 감소와 그로 인한 하부 판재의 불충분한 비드 형태를 유발 시키며 아연 가스의 증발 현상에 바람직하지 못한 영향을 줌으로서 비드의 기공현상 증대를 가져왔다. 3겹 아연 도금 강판의 맞대기 용접에 있어서 저속의 용접 과정은 레이저 빔의 용입량을 증가 시키며 비드폭이 현저하게 커지는 것을 볼 수 있었다. Fig. 5에서는 동일출력($P=4\text{kW}$)에 의한 플랜지 단부로부터의 최적 용접 위치(X)를 확인할 수 있다. 0.6mm의 레이저 빔직경의 레이저 용접 $X=1.5\text{mm}$ 에서 용융물의 흘러내림 현상이 현저히 발생 했으며, $X=3\text{mm}$ 부터 용접 비드의 이상적인 형상을 나타내고있다.

이는 플랜지 단부의 용접 비드와 함께 용접 범위에 있어서의 내부열의 배출 경로에 원인을 찾을 수 있다. 즉 플랜지 단부에 가까우면 가까울수록 모재의 용접 부위 주변에 불충분한 열 유도 가능성이 형성되며, 이를 통한 열 유도 막힘 현상이 발생된다. 심각한 경우에 있어서는 열 유도 막힘 현상을 통한 열 역학적인 내부 응력이 발생하여 비드의 파괴 현상이 발생하게 된다.

이 실험의 결과로 $X=3\text{mm}$ 로부터 최적의 용접 비드 형상을 관찰할 수 있었다. 레이저 용접에 의한 기공 형성 빈도는 기존의 용접 방식보다 높게 생기는데, 이는 용접 비드의 깊이/용접 비드의 폭의 관계에 있어서 현저한 차이와 동시에 고온으로 인한 짧은 용융 시간 및 냉각시간이 용융 풀에 있어서 가스 방출을 저해 한 것으로 사료된다. 일반적으로 이 문제는 아연 도금 강판에 있어서 심각하게 발생한다. 레이저 용접에 의해 가능하게 된 연속적인 직선 형태의 비드 형상은 점 용접에 비하여 상대적으로 높은 강도 값을 보여 주고 있다(Fig. 6). 종합적인 결과로서 레이저 용접은 점 용접에 비교하여 15-30%의 강도 향상을 볼 수 있었다.

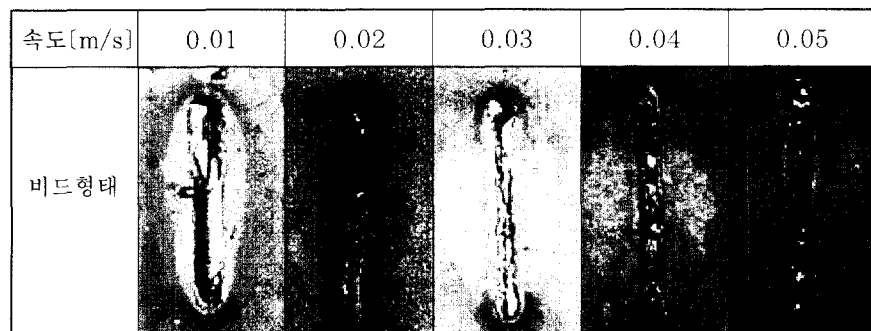


Fig. 4 용접 속도가 비드 형태에 미치는 영향(GA1.2t + GA1.4t + GA0.7t)

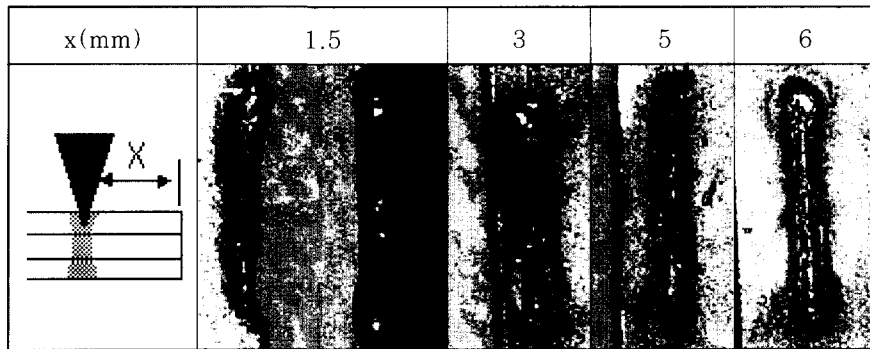


Fig. 5 플랜지 단부로부터의 최적 용접 조건 선정

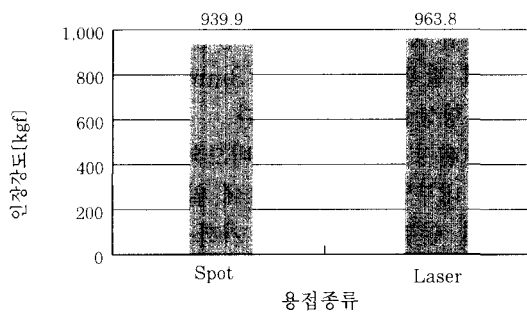


Fig. 6 용접 방식에 따른 연속적 비드의 인장 강도

4. 결 론

본 연구를 통하여 3겹 겹치기 용접에 있어서의 아연 증기 발생 현상과 응력형성의 이상적인 조건들을 산출할 수 있었으며, 3겹 겹치기 용접은 2중의 Gap 발생에 의해 용접 깊이가 전체 판재 두께보다 커야 하므로, 향후 산업에 있어서 레이저 용접을 2겹 용접으로 현실화 하는 문제가 남아 있다.

레이저 용접을 산업에 적용하기 위하여는 현저한 용접 판재 두께 차이에 의한 용접의 어려움을 설계 변경을 통하여 개선해야 한다. 모재의 긍정적인 열 확산과 아연 가스의 증발 현상은 자동차의 사이드 플랜지 끝단에 있어서의 최적 용접위치를 요구하며, 이상적인 비드 형상을 위해서는 적절한 단부를 통한 열 확산 막힘 현상을 피할 수 있어야 한다.

충돌 시험에 있어서 레이저 용접은 점 용접에 비하여 경도 및 강도에 있어서 보다 향상된 값을 보였다. 이를

통하여 Side Panel 용접에 있어서 용접 수를 줄일 수 있는 방안을 마련할 수 있었다.

레이저 용접은 판재에 있어서 좁은 간격의 절대적인 유지와 정확한 위치 선정을 요구한다. 판재 간격의 최대 허용치를 결정하는데는 레이저 빔의 초점 직경과 용접 비드의 선택된 영역 등을 고려할 수 있다.

아연 도금 강판에 있어서 고속의 용접 속도와 높은 에너지 밀도로 순식간에 아연이 가스화 되며 그로 인해 응고되는 용융 풀에 가스 기공을 형성한다. 그러므로 정확한 용접 감시 장치와 함께 용접 비드 표면의 절대적인 밀봉이 요구된다. 개발된 클램핑장치를 통하여 아연 도금 강판의 아연 원소 증발 현상과 최적의 판재 gap을 통한 이상적인 용접을 실현할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Prof. Dr.-Ing. A. Neumann, in Chemnitz and Prof. Dr.-Ing. A.Hobbacher, Wilhelmshaven, Schweissen and Schneiden, 50(1998), 431-448.
2. D. Radj, R. Koller, U.Dilthey, O. Buxbaum, Laserschweißgerechtes Konstruieren in Stuttgart,(1993).
3. Bartel, W. u. a.: Influence of beam quality when welding with Nd:YAG-Lasers and CO2-Lasers. Conference on Lasers in Material Processing, Laser '97, Muenchen, Juni 1997.
4. Hendricks, M..Qualitaetsuntersuchungen an Laserstrahlschweissverbindung un-, nidrig-und hochlegiertes Staehle. Diss. Aachen 1991.
5. Vollrath, K.: Durchbruch fuer das Laserschweissen. Euro Laser 38



• 장인성(張仁城)
 • 1961년생
 • (주) 현대자동차 차체기술계획팀
 • 레이저 응용기술 및 시스템 통합
 • e-mail : Goltzlla@chollian.net