

CO₂ 레이저-MIG 하이브리드 용접부 용입깊이에 미치는 레이저 및 아크 출력의 영향

Effects of laser and arc power on the penetration depth in CO₂ laser-MIG hybrid welding

홍승갑, 이종봉

포스코 기술연구소 용접연구팀

ABSTRACT The potential advantages of the hybrid welding process are improved weld penetration, enhanced gap tolerance, control of weld metal composition, and improved weld quality in comparison to laser or arc welding. Especially, the deep penetration of hybrid welding is very attractive in welding of thick plates. In this study, therefore, the influence of arc power in hybrid welding on detailed bead dimensions at different laser power levels was investigated.

1. 서 론

레이저 용접의 경우 빠른 용접속도, 적은 변형량, 좁은 열영향부 및 자동화 프로세스가 가능하다는 장점을 가지는데 비해 후판용접에 요구되는 고출력 레이저의 경우 장비 투자비가 높고 gap tolerance가 낮아 이음부 관리가 까다롭다는 단점이 있다. 이에 비해 아크 용접은 느린 용접속도, 많은 변형량, 넓은 열영향부 등의 단점을 가지고 있으나, 레이저 용접에서 단점으로 지적되는 장비투자비, gap tolerance 등에 있어서는 레이저 용접에 비해 상대적 우위에 있다. 따라서 이러한 레이저 및 아크 용접을 시간적, 공간적 개념에서 동시에 접목함으로써 서로의 단점을 보완하면서 장점은 살려 용접생산성 및 용접부 물성을 향상시키는 시너지 효과를 나타내도록 개발된 프로세스가 레이저-아크 하이브리드 용접이다[1]. 이러한 하이브리드 용접은 현재 자동차 및 조선산업에서 적용되고 있으며, 특히, 조선산업과 같이 후판강재를 사용하는 분야의 하이브리드 용접에 있어서는 용입깊이, gap tolerance 및 용접속도를 향상시킴으로서 궁극적으로 용접 생산성 및 용접부 특성을 향상시키려는데 초점을 두고 있다[2].

본 연구에서는 이러한 후판강재에 하이브리드 용접을 적용할 경우 용입깊이, 비드 형상에 미치는 레이저 및 아크 출력의 영향을 검토하였으며,

또한 레이저 및 아크 단독 용접과 하이브리드 용접의 용입깊이와 경도분포도 비교 검토하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 Table 1과 같은 조성을 가지는 20mm 두께의 후판강재를 이용하여 bead on plate 하이브리드 용접을 행하였다. 하이브리드 용접성 평가를 위하여 12kW CO₂ laser (Trumpf TLF 12000 turbo)와 GMA 용접기 (ESAB Aristo 2000)를 이용하여 Fig.1과 같은 하이브리드 용접장치를 제작하였다. 시험편과 아크 토치간 각도 및 레이저 빔과 아크 토치의 상대적인 거리는 각각 35~62° 및 0~75mm(X, Z축), -15~+15mm(Y축)로 변경이 가능하도록 설계하였다. 레이저 및 아크 출력을 제외한 다른 실험변수들은 Fig.2와 같이 고정하였다. 아크 보호가스 및 레이저 플라즈마를 제거하기 위한 보조가스는 He을 사용하였으며 유량은 각각 30 l/min 및 25 l/min로 설정하였다.

CO₂ laser의 출력과 아크 출력에 따른 용입깊이를 관찰하기 위해 레이저 및 아크 출력을 각각 4~12kW, 2kW~14kW까지 변화시켜서 300mm의 bead on plate 용접을 실시한 후 비드 형상, 용입깊이 및 경도분포를 측정하였다.

Table 1 Chemical composition of steel used.(wt%)

C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	N
0.15	0.12	1.5	0.009	0.003	0.057	0.017	0.011

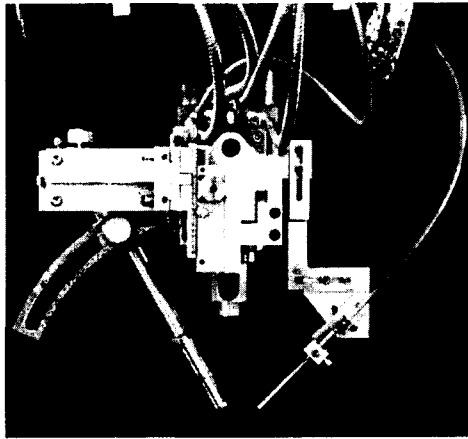


Fig. 1 CO₂ laser-MIG hybrid welding system

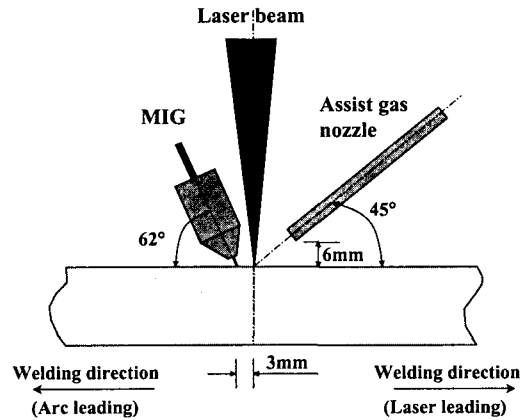


Fig. 2 Schematic illumination of CO₂ laser-MIG hybrid welding system

3. 결과 및 고찰

CO₂ 레이저 용접의 경우 1m/min의 용접속도로 bead on plate 용접을 했을 경우 4kW, 8kW, 12kW의 출력에서 약 4mm, 9mm, 15mm 정도의 용입 깊이를 나타내었다. 레이저-아크 하이브리드 용접의 경우, 4kW 레이저 출력에서는 아크 출력변화에 따라 용입깊이는 큰 차이가 없었으며, 이러한 경향은 선행 프로세스가 레이저이거나 아크에 관계없이 동일하였다. 이에 비해 8kW 레이저-아크 하이브리드 용접(레이저 선행)에서는 아크 출력이 증가함에 따라 용입깊이는 증가하다가 다시 감소하는 경향을 나타내었으며, 아크가 선행한 경우에서도 동일한 경향을 나타내었다. 그러나, 12kW 레이저-아크 하이브리드 용접(아크선행)에 있어서는 아크 출력이 증가함에 따라 용입깊이의 증가가 뚜렷하였으며 약 15kW의 아크출력까지도 계속 증가하는 추세를 보였다(Fig. 3). 특히, 4kW 레이저 출력에서는 선행 프로세스에 따라 용입깊이가 큰 차이가 없었으나, 8kW, 12kW의 레이저 출력에서는 아크 선행 하이브리드 용접이 레이저 선행 하이브리드 용접에 비해 전반적으로 용입깊이가 깊음을 확인할 수 있었다.

이와같이 아크선행 하이브리드 용접이 레이저 선행 하이브리드 용접에 비해 용입깊이가 깊은

것은 아크가 선행함으로써 뒤에 따라오는 레이저빔이 용융된 시험편에 입사되어 빔 흡수가 증가했기 때문으로 판단된다.

용접비드 형상에 있어서는 레이저 용접의 경우 D/W(Depth/Width)값이 레이저 출력이 4~12kW로 증가함에 따라 1.1, 2.2, 3.9 등으로 증가하는데 반해, 하이브리드 용접의 경우 레이저 출력에 관계없이 아크 출력이 증가함에 따라 D/W값은 감소하는 경향을 나타내었으며, 이것은 아크 출력 증가에 따른 비드폭 증가효과가 용입깊이 향상효과 보다 크기 때문으로 판단된다.

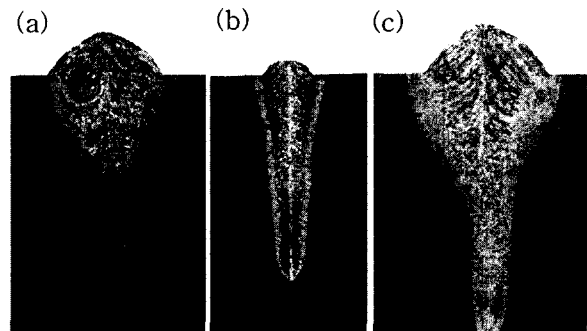


Fig. 3 Bead shape of (a) MIG welding (14.3kW), (b) laser welding (12kW) and (c) MIG (13.9kW)-Laser (12kW) hybrid welding.

레이저, 아크 및 하이브리드 용접부 경도를 비교하기 위해 용접부 중앙에서 모재쪽으로 경도 분포를 측정하였다. 측정위치는 시험편 표면에서 2mm 아래 및 비드루트에서 2mm 위의 두 지점을 선택하였다. Figure 4(a)에서 보듯이 시험편 2mm 아래에서 측정한 경도값 분포에서는 선행 프로세스에 관계없이 하이브리드 용접의 경우 레이저 용접부 용접금속의 경도값에 비해 상당히 낮은 값을 나타내었으며 심지어 아크 용접부 용접금속의 경도값과 유사하거나 낮은 값을 보였다.

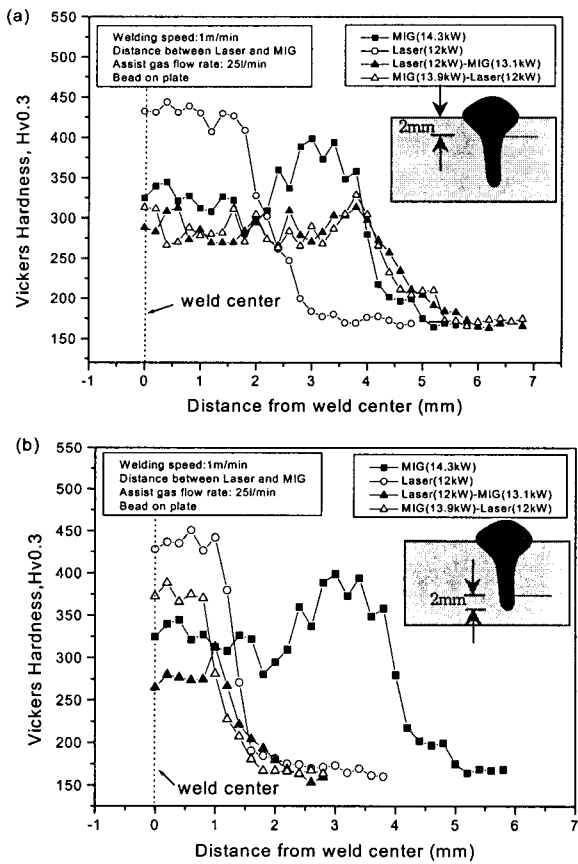


Fig. 4 Hardness profile from weld center to base metal at (a) 2mm below top surface of specimen and (b) 2mm above bead root.

특히 아크용접의 열영향부에서 경도값이 상승하는데 비해 하이브리드 용접부의 열영향부 경도는 소폭으로 증가하는데 그쳤다. 이에 비해 루트비드에서 2mm 위 지점에서 측정한 경도값 분포에서는 Fig. 4(b)에서 보듯이 아크가 선행한 하이브리드 용접금속의 경도값이 레이저 선

행 하이브리드 용접금속의 경도값에 비해 높음을 알 수 있다. 이것은 레이저 선행 하이브리드 용접의 경우 뒤에 따라오는 아크용접에 의해 레이저 용접부가 템퍼링되는 효과를 받는데 비해 아크 선행 하이브리드 용접에서는 이러한 효과가 없었기 때문으로 판단된다.

4. 결 론

1. 레이저 단독 용접에 비해 하이브리드 용접의 용입깊이는 전반적으로 향상되었으며, 특히 아크 하이브리드 용접의 경우, 선행 아크열에 의한 예열 효과 등으로 인해 레이저 선행 하이브리드 용접에 비해 더 깊은 용입을 얻을 수 있었다.
2. 하이브리드 용접부 D/W값은 레이저 출력에 관계없이 아크 출력이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었으며, 이것은 아크 출력 증가에 따른 비드폭 증가량이 용입깊이 향상효과 보다 크기 때문으로 판단된다.
3. 하이브리드 용접금속의 경도값은 레이저 용접금속에 비해 전반적으로 낮은 값을 보였다. 특히, 루트비드쪽으로 갈수록 레이저 선행 하이브리드 용접금속의 경도가 아크 선행에 비해 낮은 경도값을 나타냄을 확인할 수 있었으며, 이것은 뒤 따라오는 아크열에 의한 템퍼링 효과때문으로 판단된다.

참고문헌

1. U. Dilthey, F. Lueder and A. Wieschemann: Technical and Economical Advantages by Synergies in Laser Arc Hybrid Welding, Welding in the world, vol. 43, Supplementary Issue(1999) 141-152
2. F. Roland, H. Lembeck: Laser Beam Welding in Shipbuilding Experience and Perspectives at Meyer Shipyard, 7th International Aachen Welding Conference (2001) 463-475