

PALW 방법을 이용한 스테인리스 박판의 용접에 관한 연구

A Study on Plasma Augmented Laser Welding Process for Joining of Thin Stainless Steel Sheets

윤석환*, 황제련*, 나석주*

* 한국과학기술원 기계공학과

1. 서 론

용접 공정에서 생산성 향상과 품질 향상을 위해 최근 레이저와 아크 열원을 동시에 사용하는 레이저 아크 하이브리드 용접이 개발되어 조선 산업 및 자동차 산업 등에서 많이 이용되고 있으며 국내에서도 레이저 아크 하이브리드 용접 공정을 이용하여 생산성 향상을 꾀하려는 시도가 이루어지고 있다. 아크 용접의 경우 높은 에너지 효율을 가지고 있고 제어가 용이하다는 장점을 가지고 있으나 높은 입열량으로 인한 용접부의 변형, 상대적으로 얇은 용입 등과 같은 문제점이 있으며, 반면 레이저 용접의 경우 높은 에너지 밀도를 가지고 있고 열변형이 작다는 장점을 가지고 있으나 설비가 고가이고 접합부의 형상에 민감하다는 문제점이 있다. 이러한 두 종류의 용접 방법이 가지는 문제점을 해결하고 동시에 장점을 극대화하기 위하여 레이저와 아크 용접을 동시에 사용하는 레이저 아크 하이브리드 용접 공정이 개발되었는데 그 특징으로는 레이저만 사용하거나 아크만 사용하는 경우에 비해 깊은 용입을 얻을 수 있고 용접 속도를 빠르게 할 수 있다는 장점을 들 수 있다. 또한 용접선 오차에 어느 정도 여유를 둘 수 있으므로 용접 결함이 발생할 가능성을 줄일 수 있다.

본 연구에서는 레이저와 아크를 동시에 사용하는 용접 방법으로서 주 열원을 레이저로 하고 플라즈마 아크를 보조 열원으로 하는 PALW (Plasma Augmented Laser Welding)을 이용한 스테인리스 박판의 맞대기 용접에 대하여 연구를 진행하였다. 스테인리스 박판의 맞대기 용접 방법으로서 레이저만을 이용하게 되면 용접 속도에 한계가 있으며, 맞대기 공차 및 용접선의

정확한 위치에 민감하여 안정적인 품질 확보가 어렵다. 따라서 보조 열원으로서 초소형 플라즈마 아크(micro plasma arc) 열원을 사용하여 용접 속도를 증가시키면서 안정적인 용접 품질을 확보하고자 하였다. 또한, PALW에 대한 3차원 유한 요소 과도 열해석을 실시하여 용융부의 형상을 계산하고 이를 기반으로 적절한 용접 조건을 예측하였다.

2. 시스템 구성

PALW 방법을 위한 열원으로서 레이저 열원은 700W급 CO₂ 레이저를 사용하였고, 아크 열원으로는 80A까지 전류 조절이 가능한 마이크로 플라즈마 아크 용접기를 사용하였다. 레이저 빔은 발전기에서 나온 원형편광된 빔을 렌즈로 집광하여 TEM₀₀모드를 사용하였으며, 용접에 사용한 빔의 직경은 0.5mm로 하였다. 마이크로 플라즈마 용접기의 최대 출력은 약 2.3kW이며, 아크의 직경은 약 1-2mm로 하여 용접 실험에 사용하였다. Fig.1은 실험에 사용한 시스템 및 용접 토치의 구성을 나타낸다.

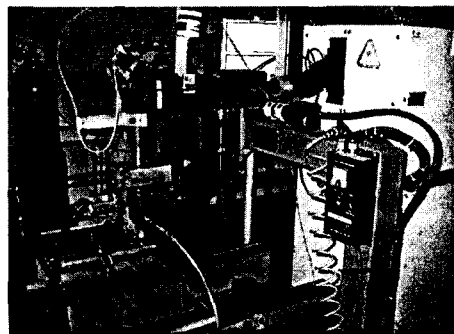


Fig.1 PALW를 위한 시스템 구성

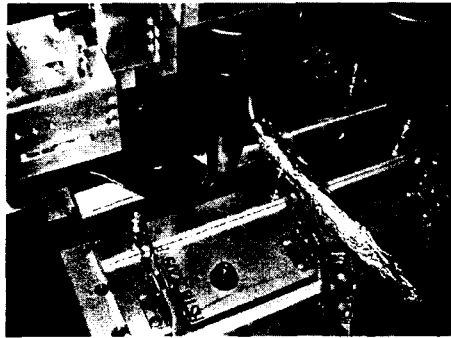


Fig.2 토치, 지그 및 시편의 형상

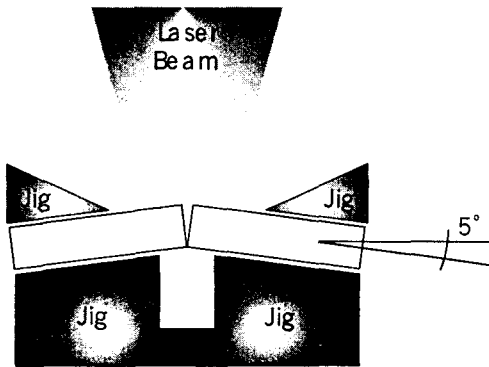


Fig.3 시편의 맞대기 접합부 구성 형상

사용한 시편은 길이 약 300mm, 폭 13mm, 두께 0.2mm의 STS304 박판 테이프를 사용하였으며, 실험을 위하여 설계된 지그를 이용하여 두 개의 시편을 맞대기하여 놓고 레이저 빔을 이송시켜 용접하였다. Fig.2에 실험에 사용된 토치, 지그 그리고 시편의 사진을 나타내었다. 시편의 맞대기 형상은 접합부에서 보다 쉬운 레이저 빔의 침투 및 다중 반사를 유도하기 위하여 Fig.3과 같이 시편의 각도를 약간 경사지게 하여 맞대기 부분이 V그루브와 같은 형태를 가지도록 하였다.

3. PALW 용접 실험 및 예측

본 연구에서 개발된 용접 시스템을 이용하여 PALW 실험을 실시하였다. 실험은 먼저 같은 종류 및 치수의 시편에 대하여 레이저 용접, 플라즈마 아크 용접, 그리고 PALW 용접을 실시하여 각각의 경우에 대한 용접 결과 및 접합부 단면 검사, 그리고 적절한 용접 속도를 조사하였

다. Fig.4는 PALW 용접부에 대한 단면 및 비드 표면을 촬영한 예이다.

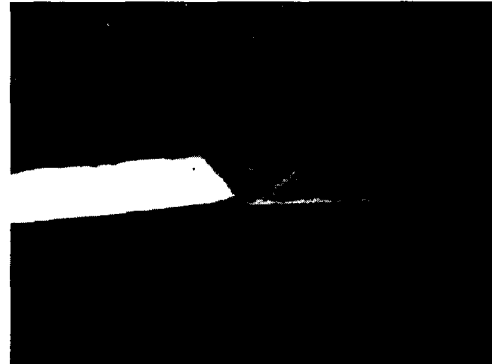


Fig.4 PALW 용접부의 단면 형상

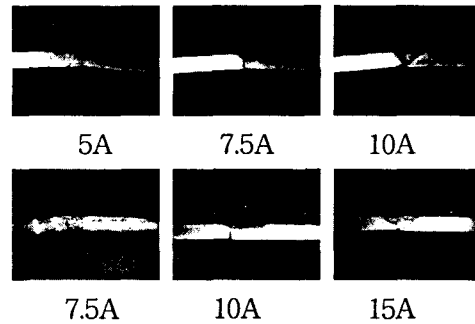


Fig.5 플라즈마 선행(상) 및 레이저 선행(하)일 때의 전류별 용접부 단면 형상 비교

Fig.4의 조건은 레이저 출력 650W, 플라즈마 아크의 전류는 20A였으며 용접 속도는 12m/min으로 하여 실험한 결과이다. PALW를 이용하여 동일 시편에 대한 적정 용접 속도를 시험한 결과 650W의 레이저 빔만 사용하였을 때의 분당 4.5m/min보다 크게 증가한 약 12m/min의 용접 속도를 얻을 수 있었다. 특히 레이저 열원과 플라즈마 열원 사이의 상대 위치 및 거리에 따라 용접 결과가 크게 변하는 것을 알 수 있었는데, Fig.5와 같이 플라즈마 열원이 레이저보다 선행하는 것이 접합부의 예열효과 및 이에 따른 레이저 빔의 흡수율 향상 등의 영향으로 보다 유리하다는 것을 발견하였다.

한편, 용접 조건에 따른 PALW의 용융 깊이나 비드 폭 등의 용접부 형상을 예측하기 위하여 Abaqus를 이용한 3차원 유한 요소 과도 열해석을 실시하였고, 여러 가지 용접 조건에 따라 모재의 용융온도를 기반으로 한 용융부 예측을 성

공적으로 실시하였다.

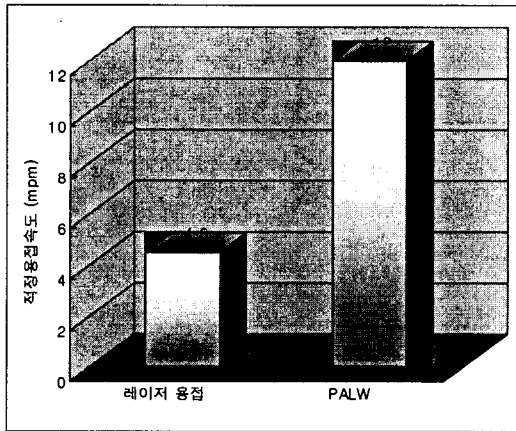


Fig.6 레이저 용접과 PALW의 적정 용접 속도 비교

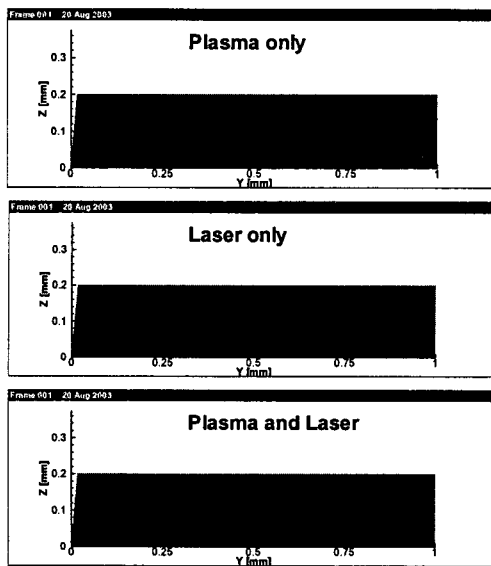


Fig.7 유한요소해석을 이용한 용융부 단면 형상 예측 결과의 예

4. 결 론

CO₂레이저 및 마이크로 플라즈마 용접기를 이용하여 STS304 박판에 대한 PALW 용접을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 플라즈마 아크를 보조 열원으로 사용하는 PALW 방법은 각각의 열원을 단독으로 사용하였을 때보다 적정 용접 속도가 크게 증가하였다.
- 2) 두 열원의 상대 위치에 따라 결과가 크게

달라졌으며, 아크 선행 방법이 레이저 선행 방법보다 금속의 용융에 보다 유리함을 알 수 있었다.

3) 두 열원의 특성을 고려한 유한요소 열해석을 통하여 용접 조건에 따른 용융부 단면 형상을 성공적으로 예측할 수 있었다.

참고문헌

1. C.J. Page, T. Devermann, J. Biffin, and N. Blundell, "Plasma Augmented Laser Welding and its applications", Science and Technology of Welding and Joining, 2002 Vol.7 No.1.
2. H.-S. Kim, Y.-S. Lee, Y.-S. Park, J.-T. Choi and J.-H. Shin, "The Study for the Hybrid Laser Arc Welding Application in Shippbuilding", 제6회 고에너지 연구위원회 연구발표회 논문집, 대한용접학회, 서울, 2003년 8월 28일, pp.52-57
3. J.C. Metcalfe and M.B.C. Quigley, "Heat Transfer in Plasma-Arc Welding", Welding Journal, March 1975, 99/s-103/s.
4. P. Solana and G. Negro, "A study of the effect of multiple reflections on the shape of the keyhole in the laser processing of materials". Appl. Phys. 30 (1997) 3216 - 3222.