

Nd:YAG 레이저를 이용한 순수알루미늄의 용접특성조사

원자력연구소 김수성*

김덕현

김철중

1. 서론

1960 년 처음으로 레이저가 개발된 후 여러 가지 종류의 레이저가 개발되었으며, 그 중에서 CO₂ 레이저와 Nd:YAG 레이저는 가공기로서 이미 상용화 단계에 있다. CO₂ 레이저는 레이저의 출력이 변하여도 레이저의 발산각이 크게 변하지 않으나 Nd:YAG 레이저는 레이저의 출력 상태 즉 입력에너지에 따라 발산각이 달라져 레이저 용접에서 중요한 변수가 되는 파워밀도가 달라진다. 그러므로 레이저 입력 에너지와 관계되는 펄스폭과 집광등에 인가하는 전압, 펄스반복율 등을 일차원적으로 변화시키는 것은 용입특성을 이해하는데 도움이 되지 못한다. 이러한 현상은 rod 형 Nd:YAG 레이저의 경우 필연적으로 발생한다. 즉 레이저의 출력과 용접변수가 직접 관계되는 것이 아니므로 용입 특성과 출력 변수의 관계를 밝히는 것은 중요한 일이다. 또한 펄스형 레이저는 CW 레이저와 달리 용접부의 열 cycle 을 매우 복잡하게 할 뿐만 아니라 용융부의 온도 경사에 의한 응고 과정이 매우 다르므로 CW 레이저 용접에서 생기지 않는 기공과 응고 균열이 자주 발생한다.

본 연구는 200 W 급 펄스형 레이저를 이용하여, 레이저의 출력제어 변수가 용접변수인 파워밀도, 펄스에너지, 초점 심도 등에 영향을 어떻게 미치는지 알아 보았으며, 다시 이러한 용접변수가 용입 형상에 어떠한 영향을 주는지 알아 보았다. 다음으로, lap joint 용접시 용접부에 형성되는 큰 기공과 응고 과정에서 발생하는 균열의 원인과 그 억제책에 관하여 연구를 하였다.

2. 실험방법

본 연구에서 사용한 알루미늄 시편은 ASTM No.1060 로써 3x30x85 mm 를 사용하였으며 연구의 각 실험에서 용접속도는 200 mm/min, 보호가스는 헬륨, 초점은 용입이 가장 깊게 일어나는 위치로 하여 실험한 것이다. 그리고 측정된 펄스 에너지는 집광 렌즈를 지난 후 측정된 것이다.

파워밀도를 측정하기 위한 실험장치는 Fig. 1 과 같다. 실험장치에서 사용한 광속 확대기와 집광렌즈는 실제 레이저 용접에서 사용한 집광렌즈와 광속 확대기를 이용하였으며, 본 연구에서는 100 mm 의 집광 렌즈와 5 배의 광속 확대기를 사용하였다. 입사되는 레이저가 집광되는 위치에 99.7 % 정도를 투과시키는 AR 코팅된 편이 위치하도록 하였으며, imaging 렌즈에 의하여 CCD array 에 이 초점이 맺히도록 하였다. CCD 에 맺힌 상은 1/10 mm 이하의 분해능을 가짐으로 집광렌즈의 초점 면에서 레이저의 spot 크기를 측정할 수 있다.

3. 실험결과 및 고찰

펄스형 Nd:YAG 레이저 용접에서 용입 형상에 영향을 줄수 있는 변수는 펄스에너지, 파워밀도, 보호가스, 초점의 위치, 용접속도 등이 있다. 본 절에서는 이러한 여러 가지 변수에 따라 용입 형상이 어떻게 변하는지 알아 보았다.

Fig.2 는 파워밀도에 따른 용입 형상을 나타낸 것으로 파워밀도가 높을 수록 용입과 비이드폭의 비가 커짐을 알 수 있다. 그리고 육안 관찰에서는 용접부의 spattering 현상과 용접표면도 거칠고 내부 기공흔적이 크게 잔류함을 알 수 있었다.

Fig. 3 은 펄스에너지에 따른 용입상태를 나타낸 것이다. 용입비는 펄스에너지에 관계없이 비슷한 경향을 보이며 spattering 현상과 표면의 상태도 펄스에너지에 관계없이 비슷한 경향을 나타내었다.

레이저 용접은 보호가스의 이온화와 시편에서 생긴 금속 이온 및 전자들에 의하여 시편의 표면에 발생한 플라즈마 때문에 레이저의 입사 효율이 크게 달라진다. 이러한 플라즈마의 발생위치, 온도, 밀도, 발달 특성 등은 레이저의 파워밀도 보호가스 등에 따라 복잡하게 작용하여 용접특성에 중요한 영향을 미친다.

Fig. 4 는 보호가스에 따른 용입시편의 깊이를 나타낸 것이다. 그림에서 x 축은 용입이 가장 잘 일어나는 위치에서 시편의 표면쪽으로 초점을 defocusing 시킨 정도를 나타낸다. Fig. 4 에서 알 수 있듯이 공기중에서 용입이 가장 깊게 일어났다. 이것은 공기 중에 존재하는 산소가 쉽게 알루미늄과 화합하면서 $408 \text{ Kcal/mol}^8)$ 의 산화열을 제공하고 공기 중의 질소가 쉽게 플라즈마를 형성하기 때문인 것으로 생각된다.

Fig. 5 는 레이저의 초점면의 시편의 위치에 따른 용입 상태를 나타낸다. 용입이 가장 깊게 일어나는 초점위치는 시편의 표면으로 아래로 존재하며, 용입비가 최대인 지점도 비슷하게 위치한다. 이것은 CO₂ 레이저를 이용한 다른 연구가들과 비슷한 경향을 보이고 있는 것으로 보고된 바 있다. 레이저의 초점을 용입이 가장 깊이 일어나 위치로부터 시편 안쪽으로 위치 시킬때 spattering 현상이 많이 나타났으며 비이드 표면도 거칠었다. 그러므로 실제 레이저 용접시 초점을 약간 윗쪽으로 defocusing 시킬때 더 유리한 것으로 관찰되었다.

4. 결론

1. 레이저의 출력이 커지면 초점의 크기는 커지고 초점심도는 작아짐으로 초점의 위치를 정확하게 제어하여야 한다.
2. 레이저에너지를 알루미늄급속변에 효율적으로 전달하기 위한 파워밀도는 0.3 MW/cm^2 이상 파워밀도가 필요하며, 펄스에너지는 3J 이상이 되어야 한다.
3. 파워밀도와 펄스에너지 그리고 초점 위치를 조절함으로써 용입과 bead 모양을 조절할 수 있다.
4. Lap joint 용접에서 용접구조를 특수하게 바꾸거나 Zr 혹은 Ti 금속분말을 도포하여 용융중에 첨가 함으로써 균열이 없는 용접을 할 수 있었다.

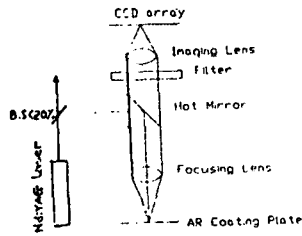


Fig. 1 Experimental arrangement to detect spot size of laser.

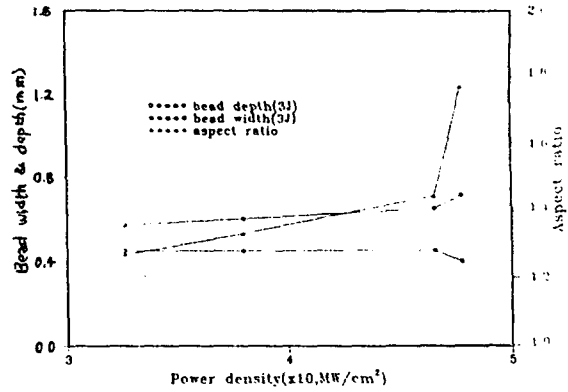


Fig. 2 Bead shape vs. power density

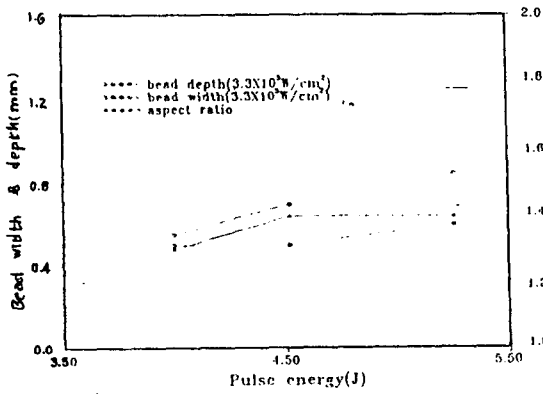


Fig. 3 Bead shape vs. pulse energy.

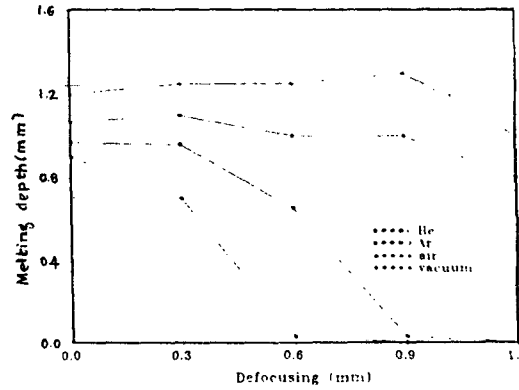


Fig. 4 Weld depth according to shielding gas.

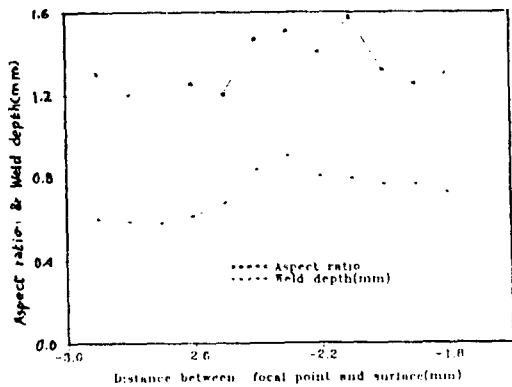


Fig. 5 Bead shape vs. defocusing