

펄스형 Nd :YAG 레이저를 이용한 Al 판재의 용접 특성조사

한국원자력연구소 : 김덕현, 김수성, 김철중

1. 서론

1960 년 처음으로 루비 레이저가 개발된 이후 레이저의 응용범위는 점차 넓어졌으며 특히 CO₂ 레이저와 Nd:YAG 레이저는 이러한 응용분야에 상용화 되면서 레이저 가공분야에 널리 이용되고 있다.

본 연구에서는 이러한 가공분야 중에서 Nd:YAG 레이저 용접시에 1) 충전전압 및 펄스폭이 펄스에너지와 파워밀도에 끼치는 영향, 2) 알루미늄 판재용접을 위한 최소 출력조건, 3) 이러한 출력조건에 대한 용입특성, 4) 용접결함 등에 대하여 연구하였다.

2. 실험 방법

본 연구에 사용한 Nd:YAG 레이저는 본 연구실에서 개발한 것으로 200 Watt 의 평균 출력과 최고 13 mrad 의 빔 발산각을 가지고 있으며 레이저 출력은 레이저 펄스폭과 충전전압으로 조절된다. 용접시편으로는 1050 계열의 알루미늄 판재를 사용하였으며 용접실험을 수행하기 전에 50 % 의 수산화나트륨으로 알루미늄 피막을 제거하였다. 밀폐된 용접가공기내에 헬륨을 주입하여 보호가스역활을 하도록 하였고 집광렌즈의 위치와 용접속도는 CNC (Computer-Numerical-Control) 장치로 제어하면서 실험하였다.

3. 실험 결과

그림 1 은 Parallel plane 레이저 공진기 구조에서 충전전압 및 펄스폭의 변화에 따른 파워밀도와 펄스에너지를 나타낸 것이다. 파워밀도는 실험적으로 구한 레이저의 발산각과 집광렌즈의 초점거리를 이용하여 계산한 값이며 같은 충전 전압이더라도 펄스폭이 길어지면 파워 밀도가 낮아짐을 알 수 있다. 이것은 입력에너지의 증가에 따라 레이저봉의 렌즈 효과가 커졌기 때문이며, 펄스에너지는 충전전압과 펄스폭에 비례하여 증가함을 알 수 있다.

그림 2 는 충전전압을 340 Volt 로 하고 펄스폭을 변화시켰을때 알루미늄 판재의 용입깊이를 나타낸 것이다. 펄스폭이 짧을때는 레이저의 펄스 에너지가 부족하여 용입이 일어나지 않았으며, 7 msec 이상에서는 레이저의 펄스에너지가 충분하나 빔의 발산각이 커져 즉 파워밀도가 작아서 용입이 일어나지 않았다. 파워밀도가 충분하지 않은 경우 알루미늄 시편에서 다량의 증기가 발생하나 펄스에너지가 부족한 경우 이러한 현상이 나타나지 않는다.

그림 3 은 알루미늄과 상용 스테인레스의 경우 Defocusing 에 의하여 파워 밀도를 줄일 경우 용입 깊이가 어떻게 달라지는가를 보여준다. 스테인레스의 경우 용입 깊이가 선형적으로 감소하나 반사도가 큰 알루미늄의 경우 어떤 문턱치 이상에서 갑자기 용입 깊이가 감소하는 것을 알 수 있다. 즉 알루미늄 판재의 레이저 용접시 파워 밀도가 어느 문턱치 이상이 되어야 하며 이 문턱치 이상에서 효율적으로 레이저 에너지가 금속면에 전달된다.

그림 4 는 효과적인 용입상태를 얻기 위해 필요한 파워밀도와 펄스에너지와의 관계를 나타낸 것으로 파워밀도가 증가할수록 펄스에너지가 감소함을 알 수 있다. 알루미늄 판재를 용접하기 위해 최소 4 MW/cm² 이상의 파워가 필요하며 파워 밀도가 증가하더라도 펄스에너지가 3 Joule 이상은 되어야 함을 알 수 있다.

그림 5 는 파워밀도에 따라서 용입깊이와 용입비의 관계를 나타낸 것이다. 연구결과 용입깊이는 파워밀도와 펄스에너지가 커질수록 커지나 용입비는 펄스에너지에 무관하며 용접속도가 감소할수록 용입깊이가 깊어짐을 알 수 있다. 그러나 펄스형 레이저를 이용한 Seam 용접에서는 각 펄스의 중첩이 이루어져야 함으로 용접속도에 한계가 있으며 용입형상은 파워밀도와 펄스에너지에 의하여 제어 되어야 한다.

펄스형 Nd:YAG 레이저를 이용한 용접 결함으로는 용접부의 중심에 생기는 기공과 용접부의 Hot cracking 을 들 수 있다. 용접부의 중심에 생기는 기공의 전형적인 모양은 사진 1 과 같으며 용접부의 외관은 Spatter 가 없이 깨끗하나 내부에는 다량의 기공이 존재함을 알 수 있다.

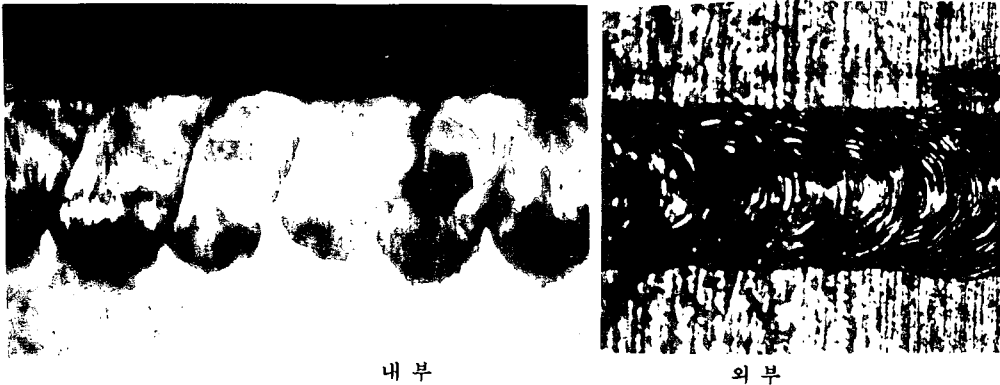
그림 6 은 파워밀도에 따라 기공이 발생될 확률을 나타낸 것으로 파워밀도가 높을수록 기공이 발생될 확률이 높게 나타난다.

사진 2 의 A 는 0.8 mm 판재를 완전봉입이 일어나도록 B 는 완전봉입이 일어나지 않도록 레이저를 조절한 경우의 용입상태를 나타낸 것으로 같은 두께의 판재라도 완전 용입이 일어나는 경우 기공이 거의 생기지 않음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구의 결과는 다음과 같다.

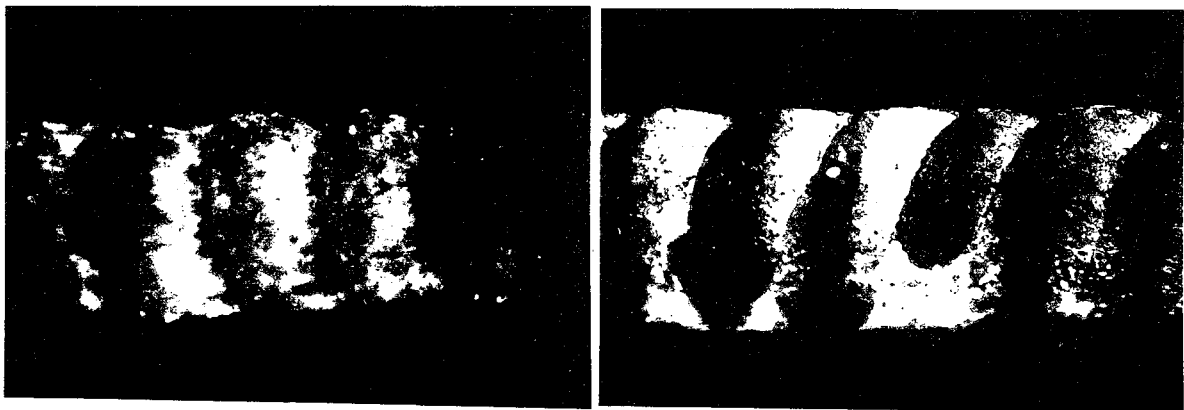
- 1) Al 판재를 용접하기 위하여 펄스에너지에 따라 최소의 파워밀도가 필요함을 알 수 있으며 펄스에너지가 클수록 적은 파워밀도가 필요하다.
- 2) 파워밀도가 클수록 용입비가 커지며, 용입비는 펄스에너지에 무관하나 펄스에너지가 클수록 용입이 커진다.
- 3) 레이저 용접시 발생하는 기공은 완전 관통이 이루어지지 않을 경우 항상 발생하였으며 파워밀도가 증가할수록 심하였다.
- 4) 본 연구에서 사용한 레이저를 이용할 때 0.8 mm 이하 판재는 결함없이 Butt 용접할 수 있다.



내부

외부

사진 1 용접부 내의 기공과 표면상태



완전용입

불완전용입

사진 2 0.8 mm 알루미늄 판재의 기공

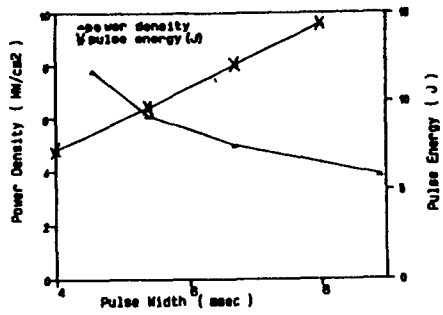


그림 1. 펄스폭에 따른 파워밀도와 펄스에너지

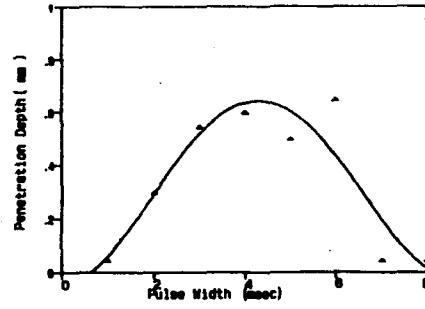


그림 2. 펄스폭에 따른 용입깊이 (340 Volt)

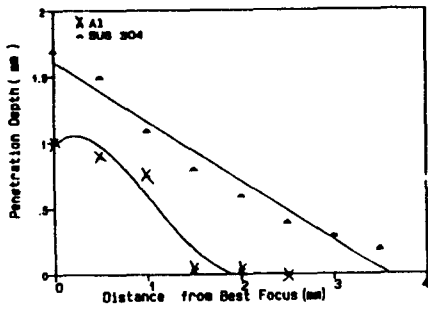


그림 3. Defocusing 에 따른 Al 과 SUS 304 의 용입깊이

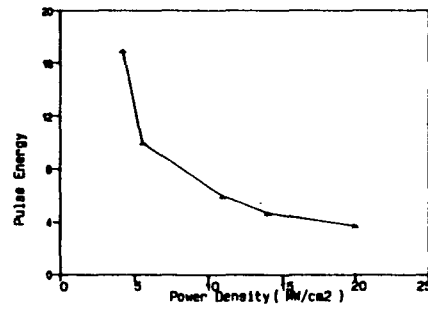


그림 4. Plasma 발생을 위한 파워밀도와 펄스에너지

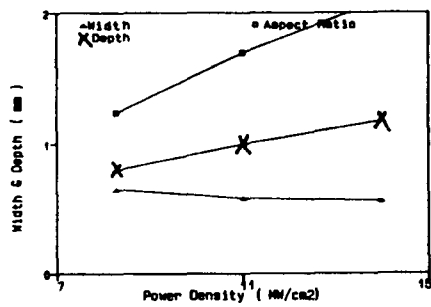


그림 5. 파워밀도에 따른 용입특성

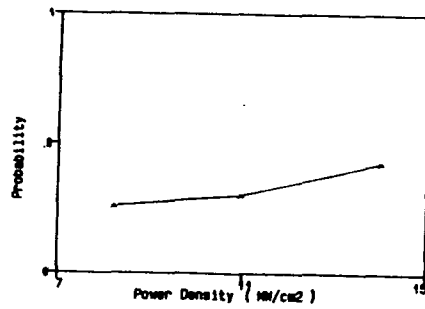


그림 6. 파워밀도에 따른 기공발생 확률