

펄스형 Nd:YAG 레이저에 의한 Inconel 600 용접 연구

Investigation of Inconel 600 Plate Welding with Pulsed Nd:YAG Laser

정진만*, 권성욱*, 김철중*, 김재형**

* 한국원자력연구소, 대전

** 연세대학교, 서울

1. 서론

원자력 시설에서 레이저를 이용한 원격 가공기술은 광섬유에 의한 장거리 전송이 용이하므로 방사능 활성지역에서 작업자의 안전을 위하여 활용되고 있다.

본 연구에서는 전열관의 수명연장에 필요한 sleeve 용접에 적용을 위하여, 고리 1 호기의 전열관과 동일한 재질인 Inconel 600 plate 의 용접특성 연구를 수행하였다. 레이저 용접에는 레이저 평균출력, 첨두출력, 펄스폭, 반복율, 용접속도등이 용접결과에 중요한 영향을 미치게 되는데, 이러한 용접변수를 변화시키면서 용접 상태를 관찰하였다.

2. 용접장치 구성 및 실험 방법

용접을 위한 실험장치는 그림 1 과 같으며 펄스형 1 kW 급의 Nd:YAG 레이저와 레이저 빔 전송을 위한 직경 800um 인 SI (step index) 형 광섬유로 구성하였다. 800 um 광섬유에서 발산되는 레이저 빔의 F/# 값은 3.45 이다. 용접을 위한 집속 광학계는 초점거리 25 mm 와 20 mm 인 렌즈를 사용하여 배율을 0.8 배로 줄였다. 집속된 레이저 빔 초점 크기는 약 780 um 이고, 초점을 시편 표면에 맞추어 실험하였다.

실험은 크게 두분야로 나누어 single pulse 를 이용한 재료표면 용융 및 spattering 상태의 관찰과 연속 pulse 에 의한 seam 용접 특성 분석을 수행하였다.

Single pulse 용접에서는 질소 보호가스 유량, 레이저 첨두출력 및 펄스폭에 따른 표면상태 변화를 관찰 하였다.

Seam 용접실험에서는 광학계 및 보호가스 (6 리터/분) 의 유량을 일정하게 설정한 상태에서 첨두출력, 펄스폭, 반복율, 용접속도 등을 변화시키면서 inconel 재질의 용접표면 및 단면의 상태를 관찰하였다. 용접 변수의 범위는 single pulse 실험의 spatter 발생특성에 따라 첨두출력은 4 kW 이하를 유지하고, 나머지는 펄스폭 3 - 12

msec, 반복율 12.6 - 72 pps, 용접속도 36 -432 mm/sec 에서 조정하였다.

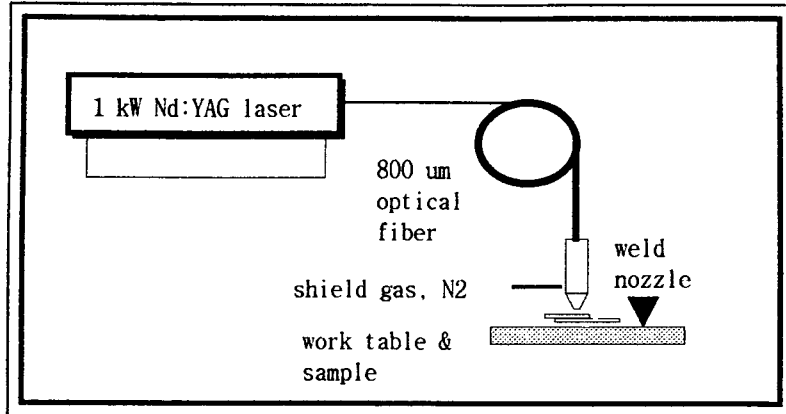


Fig. 1 레이저 용접 실험 구성도

3. 레이저 조사조건에 따른 용접결과

Single pulse 로 에너지를 변화시켜 시편표면에서 spatter 의 발생 상태를 측정하였다. 그림 2 는 펄스폭과 첨두출력을 변화시키면서, 보호가스의 조건에 따라 spatter 가 발생하는 경계영역을 표시한 것이다. 용접에 적절한 펄스폭이 3 msec 이상인 경우에는 첨두출력이 3 kW 이상에서 spatter 가 발생되나 적절한 보호가스의 유량(약 4 리터/분)에서는 발생이 억제되며, 보호가스가 없거나 과도하게 되면 오히려 낮은 첨두출력에서도 spatter 가 발생된다.

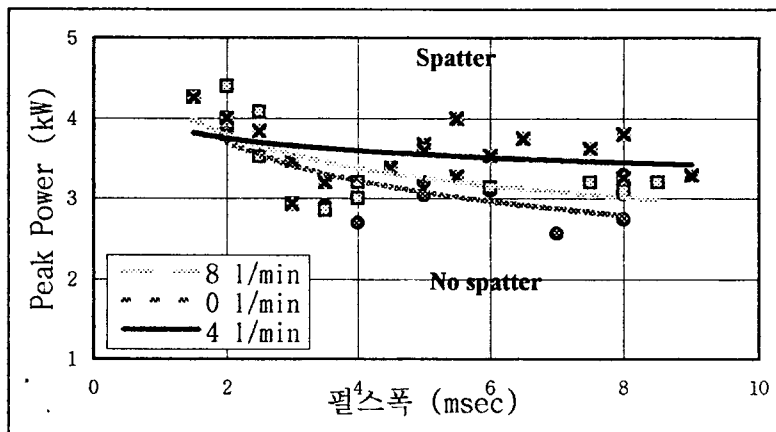


Fig. 2 Spatter 발생 경계영역

Seam 용접은 single pulse 에서 얻은 결과를 토대로, 전열관 보수용접 두께 (1.2mm + 1.2 mm)에서 첨두출력, 펄스폭, 반복율, 용접속도 등을 변화시키면서

수행하였다. 그림 3 은 외관검사상 충분한 용입과 표면상태가 양호한 용접속도, 평균출력, 펄스폭 등 레이저 변수의 분포를 나타낸다. 용입깊이는 60 joule/mm 이하에서는 부족하였으며, 120 joule/mm 이상에서는 과도한 용입으로 시편을 관통하였다.

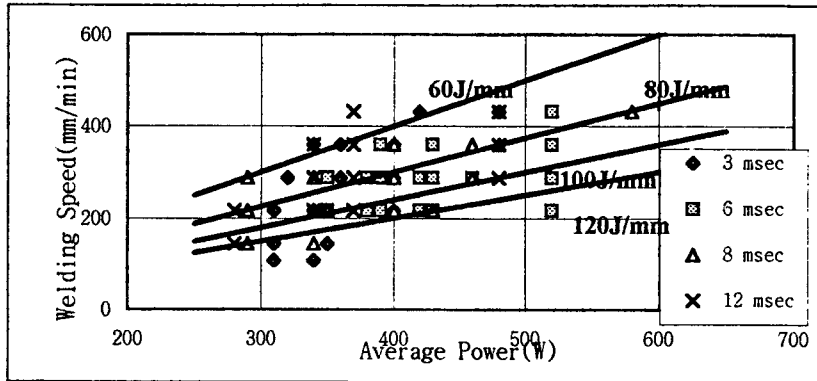


Fig.3 외관 검사상 양호한 레이저 변수 분포

전열관 보수용접시 기계강도 및 열영향 등을 고려하면 용접경계면의 폭은 0.5 mm 보다 커야하며, 용접깊이는 1.9 mm 이하이어야 한다. 그림 4 는 레이저 펄스폭에 따른 용접부의 균열발생 여부, 용접폭과 용입깊이의 분포를 나타낸다. 용접된 부분의 균열은 펄스폭이 증가할 수록 감소한다.

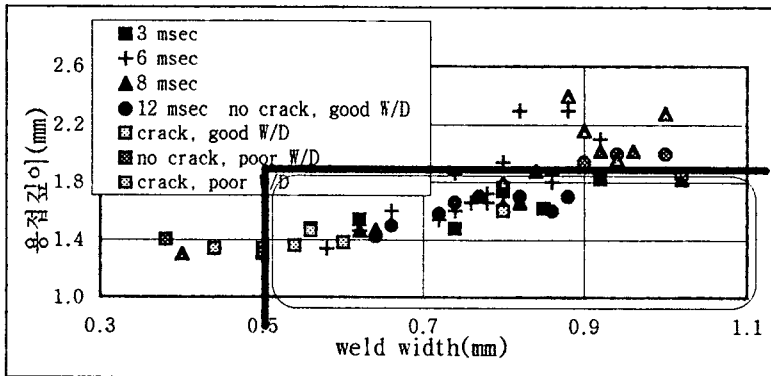


Fig.4 레이저 변수별 용입 깊이 와 용접폭의 분포

그림 5 는 펄스폭별로 침투출력, 평균출력 및 용접속도에 따른 용접상태를 표시한 결과이다. 그림에 나타난 % 는 가공 시간중 레이저 빔이 조사되는 시간

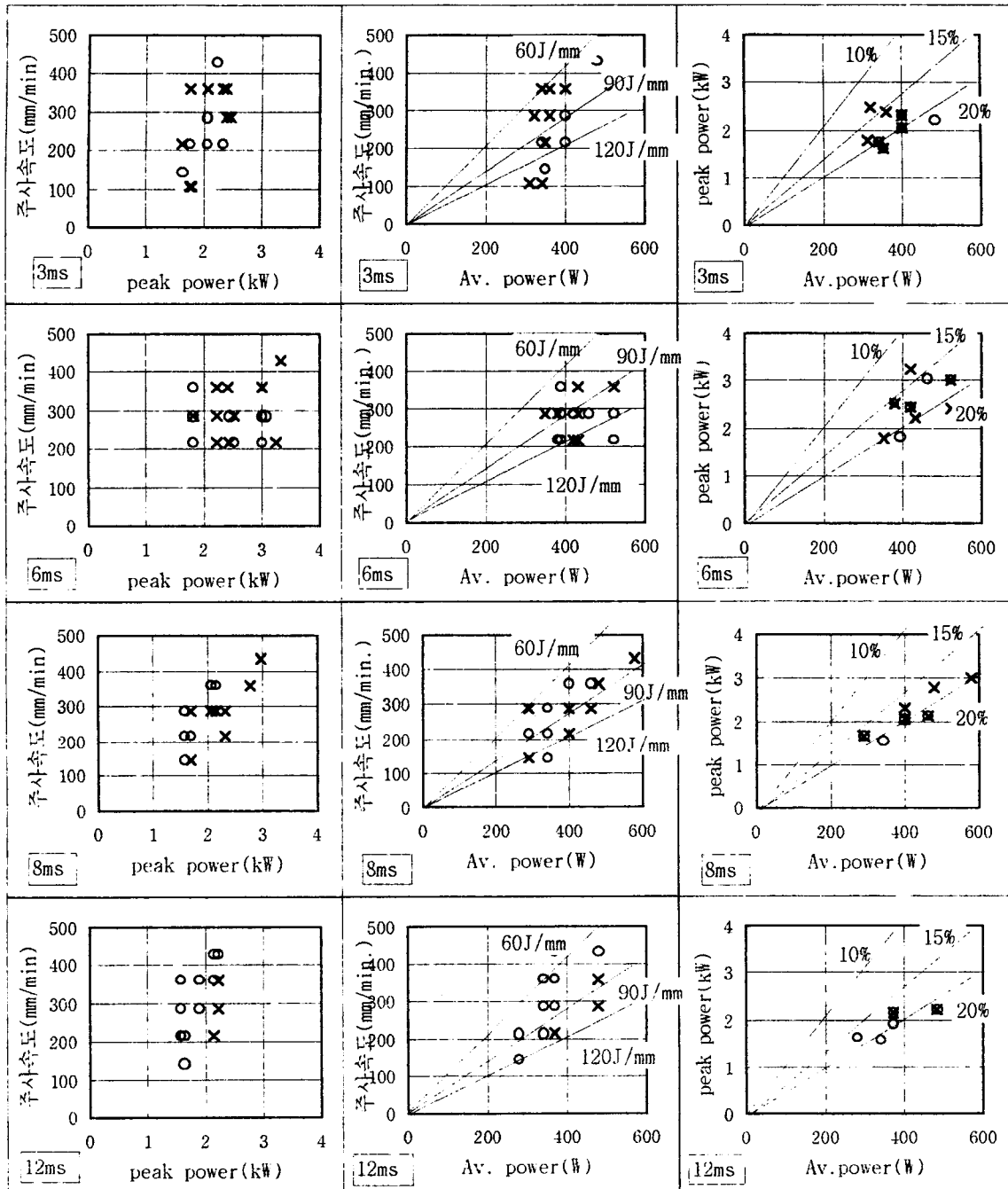


Fig5. 펄스폭별 용접특성 분포 (O: 용접성 양호, X: 불량)

을 백분율 (% duty = 펄스폭 x 반복율) 로 표시한 것이다. 펄스폭 3msec, 6 msec 에서는 용접부위에 균열이 많이 일어나고, 첨두 출력 1.5 kW 이하에서는 용입이 부족하다. 8msec, 12 msec 에서는 모두 용접면의 균열발생이 적으며 60 - 80 J/mm 의 낮은 입력에서도 충분한 용입을 얻을 수 있었다. 그러나, 펄스폭 8 msec 에서는 너무 깊은 용입에 의한 용접불량이 발생하였다. 즉, 8 msec 에서는 12 msec 에 비해 용접면의 aspect ratio 가 커지며 평균출력별 aspect ratio 의 변화는 그림 6 과 같으며 평균출력이 커질수록 증가한다.

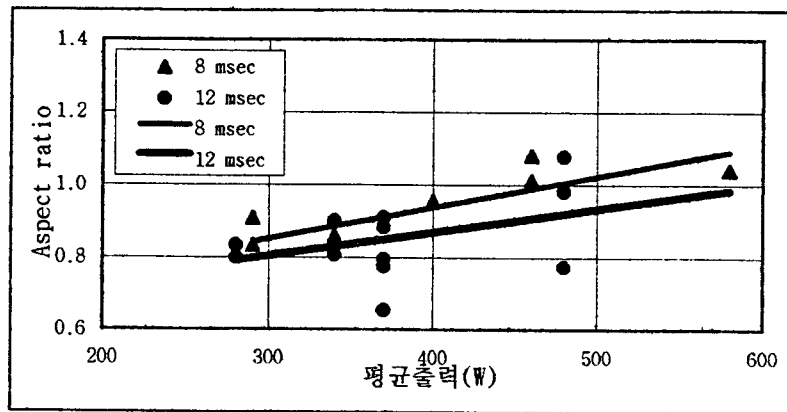


Fig.6 레이저 출력에 따른 aspect ratio 분포

4. 요약 및 결론

Single 펄스 레이저 용접에서는 첨두 출력 및 펄스폭에 따라 용입깊이 및 spatter 발생특성이 달라진다. 보호가스 유량에 따라 spatter 가 발생하는 첨두출력이 달라지며, 적절한 보호가스의 유량이 spattering 을 방지하는데 도움이 된다.

Scam 용접에서는 레이저의 평균출력, 반복율, 첨두출력 및 용접속도에 따라 용접 상태가 다르게 나타난다. 펄스폭 3msec, 6 msec 에서는 용접면 균열이 심하다. 용접면의 균열을 방지하기 위해서는 펄스폭을 8 msec 이상으로 늘여야 하며, 이때 같은 평균출력에서의 aspect ratio 는 펄스폭 8msec 일때가 12 msec 일때 보다 크다.

결론적으로 본 연구에서는 레이저 변수를 조절하여 용접 단면의 aspect ratio, 단위길이당 입력인 J/mm, 레이저 Duty 를 적절히 제어할 수 있었으며, 앞으로는 광학계 집속렌즈의 F/# 에 따른 용접특성 변화 및 초점거리 허용범위(depth) 등에 대한 용접특성 연구를 수행하여 레이저 sleeve 보수 용접기술을 최적화 하여야 할 것이다.