

'96 춘계학술발표회논문집
한국원자력학회

Inconel 600 plate 의 Nd:YAG 레이저 용접특성분석

정진만, 권성욱, 김철중
한국원자력연구소

요 약

원자력발전소의 전열관 보수용접 기술 개발을 위해 Inconel 600 재질의 plate 판에 레이저 용접실험을 수행하였다. 레이저 발진기로 부터 발진된 레이저 빔은 광섬유를 통하여 전송되고, 집광렌즈군을 이용하여 용접이 이루어지도록 하였다. pulse 레이저 용접 변수인 펄스폭, 반복율, 침투출력 및 용접속도를 변화시키면서 용접결과를 측정하였다. 이에 따른 적절한 용접범위를 제시하였다.

1. 서론

원자력 시설에서 레이저를 이용한 원격 가공기술은 레이저 빔을 광섬유 이용하여 장거리 전송하므로써, 방사능 활성지역에서 작업자의 안전을 위하여 활용되고 있다. 이러한 원격가공의 장점을 이용하여 용접, 절단, 표면처리 등의 많은 분야에서 활용이 활발하게 진행되고 있다.

원자력 발전소 증기발생기의 전열관 보수용접에 광섬유를 결합한 레이저 기술을 이용하면, 기존의 가공방법에 비해 열변형이 적고 내부식성이

우수한 용접결과를 얻을 수 있다.

본 연구에서는 전열관의 수명연장을 위하여, 고리 1호기의 전열관과 동일한 재질인 **Inconel 600 plate** 를 이용하여 용접실험을 수행하였다. 레이저 용접중에는 레이저 출력, 첨두출력, 펄스폭, 반복율, 용접속도등이 용접결과에 중요한 영향을 미치게 되는데, 이러한 용접변수를 변화 시키면서 용접 상태를 관찰하였다.

2. 용접장치 구성 및 실험 방법

Inconel 600 plate 용접을 위한 실험장치는 그림 1 과 같다. 레이저 발진장치로는 **pulse shaping** 이 가능한 **1 kW** 급의 **Nd:YAG** 레이저와 레이저 빔 전송을 위하여 직경 **800 um** 인 **SI (step index)** 형의 광섬유를 구성하였다. 이때 **800 um** 광섬유에서 발산되는 레이저 빔의 **F/#** 값은 **3.45** 이다.

레이저 용접을 위한 집속 렌즈류는 초점거리 **25 mm** 와 **20 mm** 인 렌즈를 사용하여 배율을 **0.8** 배로 감소 하였다. 이때 집속된 레이저 초점의 크기는 약 **780 um** 의 값을 갖는다. 레이저 초점은 시편 표면에 맞추어 실험하였다.

실험은 크게 2 분야로 나누어 **single pulse** 를 이용한 재료표면 용융 및 **spattering** 상태를 관찰하였고, 연속 **pulse** 에 의한 **seam** 용접을 수행 하였다.

Single pulse 에 의한 용접은 보호가스의 유량 및 방향에 따른 상태변화와 레이저의 첨두출력 및 펄스폭에 따른 용입 및 표면 상태를 관찰 하였다.

Seam 용접실험은 광학계 및 보호가스의 유량을 일정하게 설정한 상태에서 첨두출력, 펄스폭, 반복율, 용접속도 등을 변화시켜 **inconel** 재질의 용접상태를 관찰하였다. 용접을 위한 변수는 대부분 첨두출력 **4 kW** 이하,

펄스폭 3 - 12 msec., 반복율 12.6 - 72 pps, 용접 속도 36 - 432 mm/min. 로 변화시켜 실험하였다.

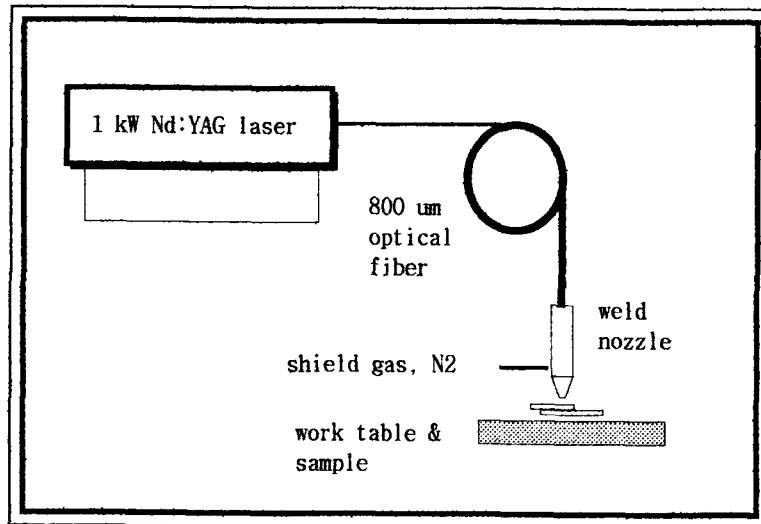


Fig 1. Schematic diagram of laser welding configuration

3. 레이저 조사조건에 따른 용접결과

Single pulse 로 에너지를 변화시켜 시편표면에서 **spattering** 의 발생 상태를 측정 하였다. 그림 2 에서는 레이저의 펄스폭과 첨두출력을 변화시켜, 보호가스의 조건에 따라 **spattering** 이 시작되는 경우를 측정한 것이다. 펄스폭이 증가될수록 **spattering** 이 시작되는 첨두 출력은 낮아진다. 곡선의 기울기가 펄스폭 증가에 따라 완만하게 변화하는 이유는 조사된 레이저 빔 에너지의 상당량이 금속재료의 전도에 의해 확산되어 방출하기 때문이다. 그러므로 같은 에너지에서는 펄스폭이 짧고, 첨두 출력이 높을수록 **spattering** 이 일어나기 쉽다. 그림에서 펄스폭이 약 3 msec. 이상에서는 첨두출력 3 kW 이상에서 **spattering** 이 일어나는 것을 알 수 있다.

보호가스의 유량 및 방향에 대한 **spattering** 의 발생문제는 적정한 유속(수직방향 : 약 4 liter/min)에서 억제되며, 보호가스가 없거나 유량이

과도하게 되면 **spattering** 발생이 나타난다.

적은 에너지로 깊은 용입상태를 얻기 위해서는 펄스 **shaping** 을 이용하여 용접하는 것이 유리하다. 펄스 **shaping** 을 이용할 경우 펄스 전반부인 약 3 msec. 까지 첨두출력을 높이고, 후반부에서 첨두 출력을 낮추어 조사하는 방식이 동일 에너지에서 더 깊은 용입을 얻을 수 있다.

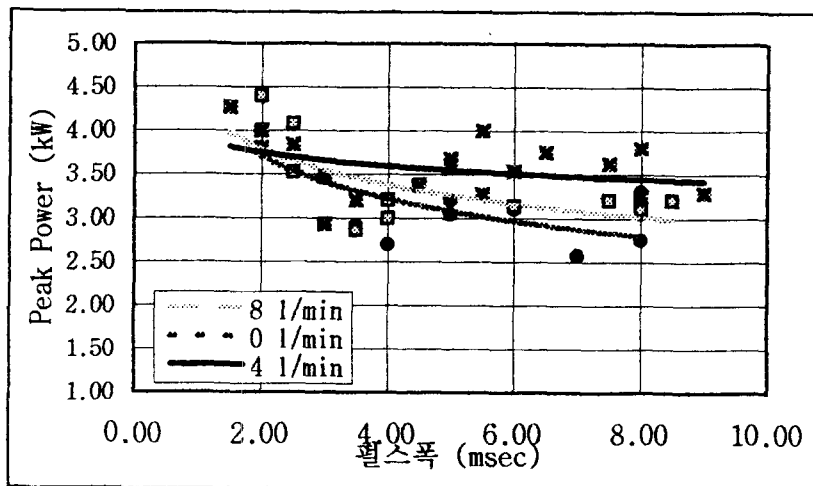


Fig 2. Spattering points of peak power/pulse width

Seam 용접일 경우 single pulse 실험에서 얻은 3 kW 이하 첨두출력과 3 - 9 msec. 펄스폭 변화량에 대한 결과를 토대로 하여, 1.2 mm + 1.2 mm 두께에 첨두출력 (3 kW 이하), 펄스폭 (3 -12 msec.), 반복율 (12.7 - 72 pps), 용접속도 (36 - 432 mm/min.) 등을 다양하게 변화 시켜 용접하였다. 그림 3에서는 용접 속도, 평균출력, 펄스폭등 용접 조건에 따른 용접시편의 표면상태, 용융깊이, 열확산등을 검사하여, 용입 가능한 부분의 분포를 나타내었다. 이번 실험에서 펄스폭 3 msec. 6 msec. 8 msec. 12 msec.에서는 각각 18, 20, 16, 7 개의 용입이 충분한 시편을 얻었다. 그림에서 펄스폭 6 msec. 에서 가장 넓은 용접영역을 갖는다. 외관상 용입 가능한 구간은 평균출력 300 - 500 W, 정도이다.

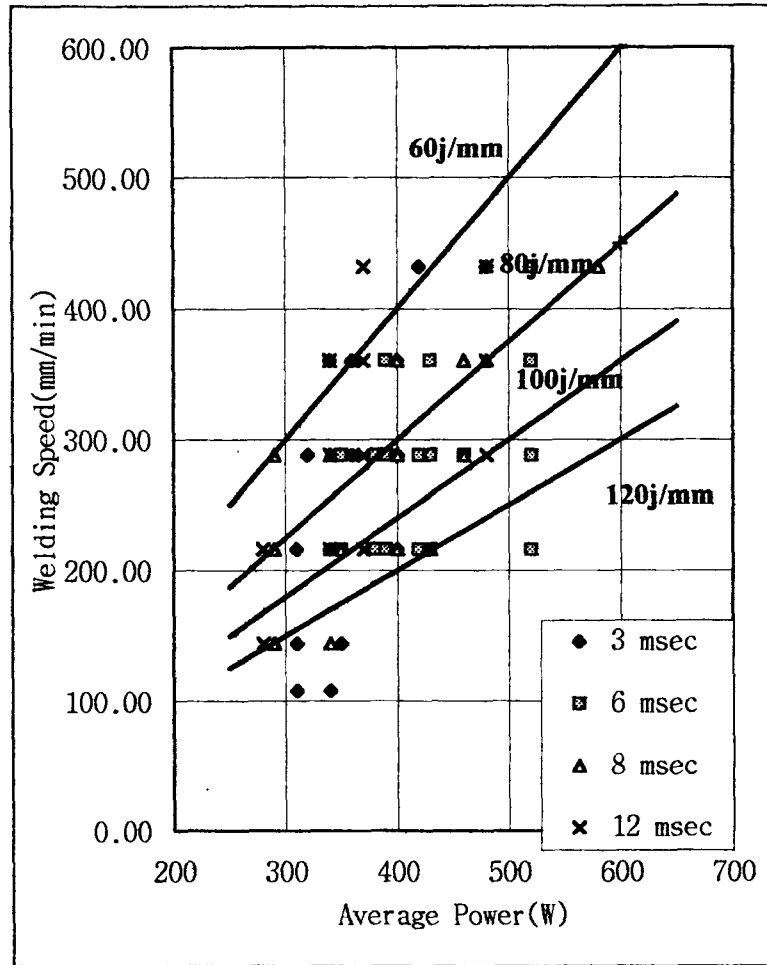


Fig3. The weldable point of laser power vs welding speed

그림 4 는 단위 길이당 에너지와 침투출력에 따른 외관상 용접이 가능한 부분의 분포를 나타낸다. 즉, 단위 길이당 일정한 에너지에서 용입이 허용되는 침투출력의 범위는 길이당 에너지가 증가할 수록 증가된다. 여기서 단위 길이당의 에너지가 적은 부분에서는 용입이 일어나지 않고, 120 Joule/mm 이상인 구간에서는 과도한 용입으로 레이저 빔이 용접시편을 투과하게 된다.

용입이 가능한 구간에서 단위길이당의 에너지가 증가 할수록 침투 출력의 허용범위는 증가 된다.

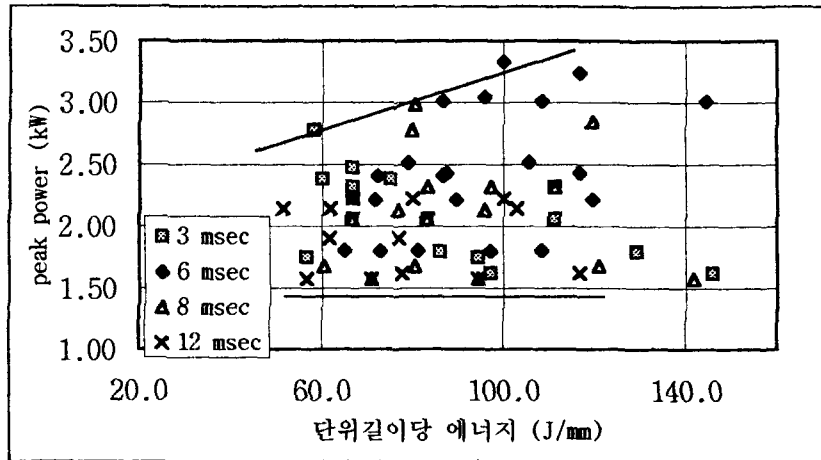


Fig 4. The weldable points of peak power vs joule/mm

4. 결론

레이저 **single pulse** 실험에서는 침투출력 및 펄스폭에 따라 용입깊이 및 **spatter** 발생량이 달라지며, **spattering** 방지를 위하여 침투출력 과 펄스폭을 제어하여야 한다. 보호가스의 유량변화에 따라 **spattering** 이 발생되는 침투출력을 보여 주었으며, 적절한 보호가스의 유량이 **spattering** 을 방지하는데 도움이 된다.

Seam 용접에서는 평균출력, 반복율, 펄스폭 및 용접속도등의 변화에 따라 용입 상태가 다르게 나타났다. 이러한 용입상태를 관찰하프로서 용접변수중 제어가 까다로운 침투출력등의 변수를 설정하는데 도움이 된다.

본 실험에서는 **Inconel 600** 용접을 위한 레이저 출력 변수에 대한 **spattering** 및 1.2 mm + 1.2 mm 의 외관상의 용입상태를 분석, 조사하였다.

추후에는 용접된 시편을 절단하고 파단면의 상태를 분석하여, 용접조건을 최적화 하여야 할 것이다. 또한 집속렌즈의 초점거리 및 **F/#** 값의 변화에 따른 실험을 추가적으로 수행하여 광학계 변화에 따른 용접조건을 얻어야 할 것이다.