

'95 추계 학술발표회 논문집
한국원자력학회

증기발생기 sleeve 를 위한 Inconel 전열관의 레이저 용접특성분석

권성욱, 정진만, 김철중
한국원자력연구소

요 약

원자력발전소 증기발생기 전열관의 레이저 보수용접 기술개발을 위해 Inconel tube 의 sleeve 레이저 용접실험을 수행하였다. Nd:YAG 레이저로 부터 발진된 레이저 빔은 광섬유를 통하여 전송되어 자체 개발한 weld head tool 을 이용하여 tube 내부에서 용접이 이루어 지도록하였다. 레이저의 출력 및 펄스폭, 반복율, buffer 가스속도, 용접속도등의 용접 변수를 변화시키면서 용접단면의 형상을 측정하였다. 용접변수에 따른 결과를 고찰하였고 이에따른 적절한 용접범위를 제시하였다.

1. 서 론

레이저를 이용한 원격정밀 가공기술은 고출력 레이저와 광섬유를 이용하여 장거리 전송함으로써 방사능 오염지역에서 작업자의 안전을 위하여 활용되고 있다. 레이저 가공은 레이저를 집중시켜 생기는 강한 열을 이용하여 높은 파워 밀도, 뛰어난 제어성, 대기중 전송이 가능하다는 것등 다른 방법으로는 얻을수 없는 많은 장점을 가지고 있다. 이러한 장점을 이용하여 용접, 절단, 표면처리등의 많은 분야에서 활용이 확대되고 있다.

원자력 분야에서의 레이저 가공 응용분야로는 사용후 핵연료의 원격 절단, 핵연료 봉단마개의 밀봉용접등에서 활용이 가능하고 특히, 원자력발전소의 증기 발생기 전열관의 보수 용접에 광섬유 전송에 의한 레이저 용접을 사용하면 기존의 방법에

비해 열변형이 적고 내부식성이 좋은 보수용접 결과를 보여준다.

현재까지 미국의 Westinghouse 사와 일본의 미쓰비시 중공업에서는 레이저 용접으로 전열관을 보수용접한 경험을 가지고 있으며 이밖에도, 불란서의 Framatome, 독일의 Siemens 에서도 '80 년대 중반이후 지속적으로 기술개발을 하여오고 있다.

본 연구에서는 증기발생기의 수명연장을 위한 전열관의 보수유지 방법으로 광섬유 전송을 통한 전열관의 내부 레이저 용접을 실험실적으로 실증하는 것을 목표로 하였다. 실험실적인 실증을 위하여 광섬유 전송계를 갖춘 1 kW 급의 Nd:YAG 레이저와 전열관 내부 용접을 위하여 자체 개발한 weld head tool 을 이용하여 용접실험을 수행하였다. 레이저 용접과정중에는 레이저의 출력 및 펄스폭, 반복율, buffer 가스유량, 용접속도등이 용접결과에 중요한 영향을 미치게 되는데, 이러한 용접 변수를 변화시키면서 그 결과를 관찰하였고 이에따른 적절한 용접범위를 제시하였다.

2 sleeve 용접실험장치 구성 및 실험 방법

전열관의 sleeve 용접을 위한 실험 장치도는 그림 1 에 나타내었다. 1 kW 급의 펄스형 Nd:YAG 레이저와 core 직경이 1000 μm 인 광섬유로 레이저 빔 전송광학계를 구성하였고, 전열관 내부 용접을 위해 자체개발한 weld head tool 에 전송된다. weld head 는 F# 가 3.3 으로 설계된 집속렌즈와 원주 방향으로의 용접을 위한 concave copper mirror 그리고 mirror 를 회전시켜 주는 motor 등으로 구성되어 있다. 또한 레이저가 집속되어 나오는 hole 을 통하여 보호가스가 용접부위에 공급될수 있는 구조를 가지고 있다. 실험에 사용된 증기발생기의 전열관 규격은 7/8" Inconel 600 (Gauge 18) 을 사용하였고 보수용 sleeve pipe 는 3/4" Inconel 600 (Gauge 19) 를 사용하였다. sleeve pipe 는 전열관에 삽입한 후 hard roll 방식으로 확관하여 용접시편을 준비하였다. 레이저 용접된 시편은 용접단면 방향으로 절단한 후 현미경으로 용접단면을 관찰하였다.

3 레이저 발진조건에 따른 sleeve 용접 결과

Nd:YAG 레이저의 발진조건에 따른 용접단면의 용입 깊이 (weld depth) 와 sleeve

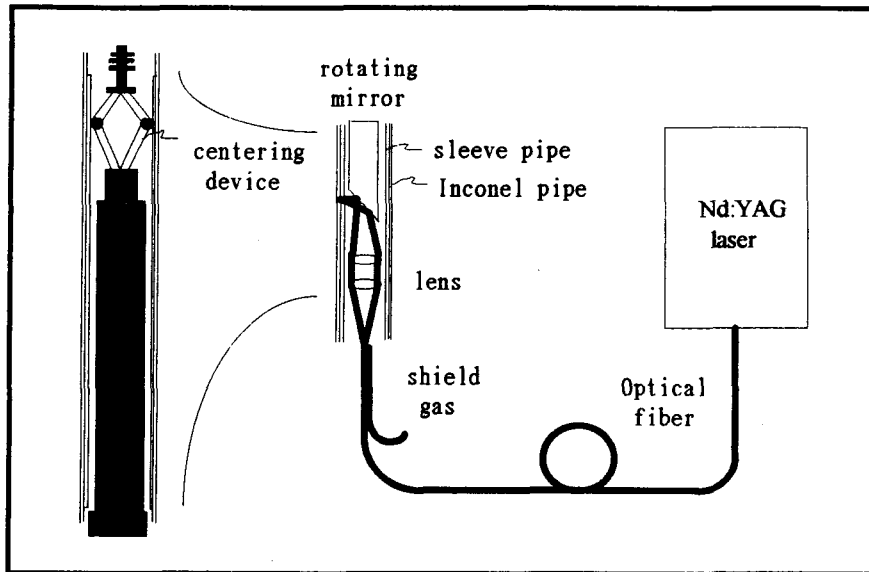


Fig. 1 Schematic diagram of sleeve welding configuration.

와 전열관 tube 사이의 용접폭 (weld width) 을 측정하였다. 그림 2 에는 레이저 발전 조건이 반복율 14 Hz, 펄스폭 7.6 msec 인 경우 (duty : 10%) 측정한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 레이저 출력이 증가함에 따라 용입 깊이는 거의 선형적으로 증가하는데 sleeve tube 와 전열관 사이의 gap 이 존재하므로 sleeve tube 두께인 0.8 mm 근처에서는 용입깊이가 레이저 출력에 따라 약간의 변화를 보여 주었다. 용접폭은 약 300 W 이상에서 용입이 증가함에 따라 급격히 증가하고 350 W 이상에서는 더 이상 증가하지 않는다. 그러나 이와 같은 조건에서는 레이저 펄스폭이 작으면서 첨두출력이 크기 때문에 용접 비드면이 거칠고 spattering 이 많이 발생하였으며, 용접 단면에는 균열이 발생하여 좋지 않은 결과를 얻었다. 그림 3 에는 330 W 에서 용접된 시편의 용접단면 사진을 나타내었다. 따라서 레이저의 첨두출력을 줄이고 충분히 용입이 이루어지는 레이저 출력을 얻기 위하여 발전 반복율을 증가시켜 주어 레이저 용접 실험을 하였다. 결과는 그림 4 에 나타내었다. 그림에서 알수 있듯이 펄스폭을 8.5 msec 로 유지시키고 반복율을 30 Hz 로 증가시킨 경우, 레이저 출력이 약 580 W 근처에서 용접이 이루어 지는데 용입 깊이는 레이저 출력의 증가에 따라 급격하게 증가하는 경향을 보여 주었다. 즉, 레이저 출력의 변화에 민감하게 변화

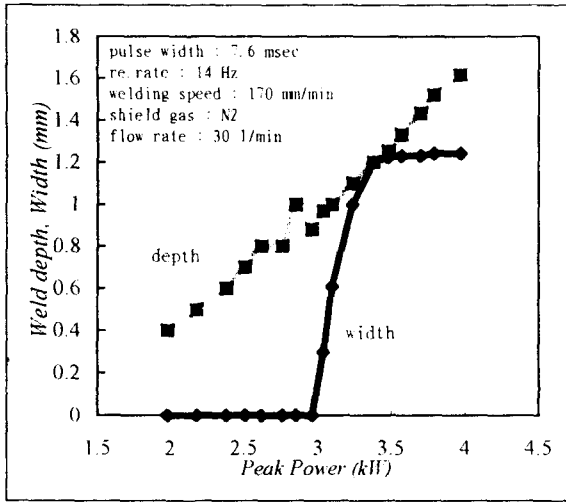


Fig. 2 Weld depth/width as laser power
(14 Hz, 7.6msec)



Fig. 3 Cross section view of sleeve tube
welding (14 Hz, 7.6msec)

하여 용입 깊이와 용접폭을 적절하게 제어하기 어려울 것으로 판단된다. 그러나 용접표면의 비드면의 상태는 상당히 개선되었는데 이는 주로 레이저 발진 침두출력이 상대적으로 작아 spattering 발생량이 적고 보호가스의 유속을 적절히 제어 했기 때문으로 판단된다.

레이저의 반복율 및 펄스폭을 각각 40 Hz, 9.5 msec 그리고 40 Hz, 12 msec 로 하여 용접하였을 때의 결과를 그림 4 에 나타내었다. 그림에서 알수 있는 바와 같이 용입 깊이와 용접폭은 레이저 출력에 따라 완만한 증가 경향을 보여주고 있다. 또한 용접면의 비드상태는 다른 용접조건의 경우에 비해 양호한 결과를 보여 주었고 용접단면의 관찰에서도 용접중의 crack 이나 기포등의 결함을 나타나지 않았다. 그림 5 에는 40 Hz, 12 msec 조건에서 640 W 로 용접한 용접단면의 사진을 보여주고 있다.

이상의 결과에서 전열관 보수 용접시에 고려하여야 할 레이저 용접조건은 레이저 침두 출력을 가능한한 작게 함으로서 용접 부위의 결함을 최소화 시킬수 있었고 spattering 발생량도 작아 비드면의 상태도 개선할수 있었다.

4. 결 토

레이저 용접중 보호가스의 유량변화에 따라 spattering 발생량이 큰 변화를 보

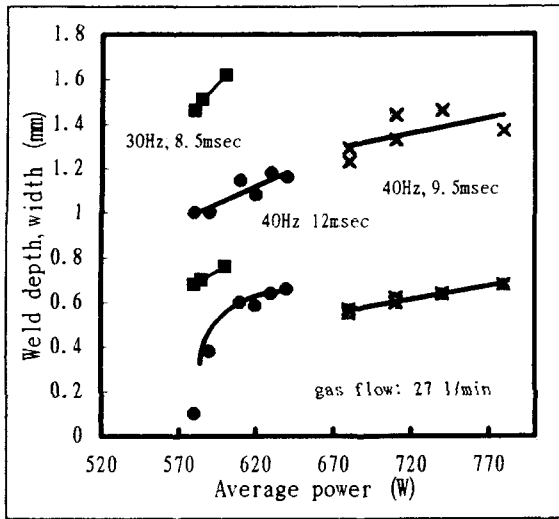


Fig.4 Weld depth/width as laser power

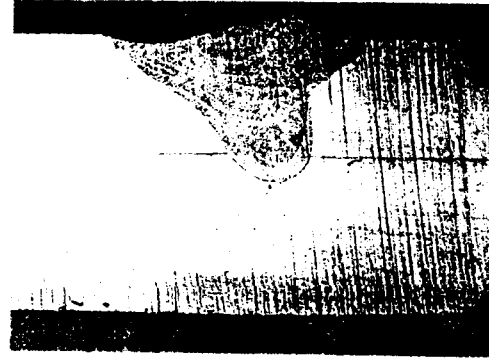


Fig.5 Cross section view of sleeve tube welding. (640 W,40 Hz,12msec)

여주었는데, 보호가스 흐름 방향 및 냉각속도등이 영향을 미치는 것으로 판단된다.

가스 유량을 적게 흘리면 용접중위 plume 영향으로 weld head 의 반사거울에 손상이 가게 되므로 가스유량 조절을 세심히 하여야 한다. 또한 레이저 출력을 높게 하여 용접을 할 경우 레이저 빔 전송시에 광학계의 damage threshold 를 넘기게 되어 용접조건의 최적화에 어려움이 많았다. 전열관의 sleeve 보수용접은 tube 내부의 좁은 공간에서 레이저 빔의 높은 출력으로 이루어 지게 되므로 전열관에 stress 를 유발시킬수 있으므로 이러한 영향을 최소화시키는 레이저 용접이 이루어져야 할 것이다. 본 실험에서는 레이저 출력 변수에 의한 용입특성만을 조사하였는데, 이외에도 용접면의 부식 특성, 조직 성분 변화, 경도측정등을 종합적으로 평가하여 용접조건을 최적화 하여야 할 것이다.

5. 참고 문헌

[1] Proceedings of LAMP '92, Nagaoka (June. 1992), p957