

# Inconel 600/690 의 펄스형 Nd:YAG 레이저 용접 특성

## Pulsed Nd:YAG Laser Welding Characteristics of Inconel 600/690

한국중공업(주) 기술연구원 박광수, 변진귀, 한원진, 심상한

### I. 서론

원거리의 레이저용접을 위해서는 레이저빔을 광파이버를 이용해서 전송이 가능한 파장이  $1.06\mu\text{m}$  이고 펄스형 Nd:YAG 레이저가 이용되고 있다. 펄스형 Nd:YAG 레이저 용접에 있어서 중요변수로는 펄스폭, 반복율, 펄스에너지, 용접속도, 초점위치, 보호가스 유량 등이 있다. Inconel 600 과 690 합금의 양호한 레이저 용접 조건을 구하기 위해서는 이들 변수 각각에 대한 실험과 고찰이 필요하다.

본 연구에서는 이를 위해서 평균출력 2kW 급의 Nd:YAG 레이저 용접 시스템을 이용하여 Inconel 600/690 의 판재 및 튜브에 대해서 여러 용접 조건에 대한 겹치기 용접(lap welding) 실험을 실시하고 각각의 용접조건들이 용접성에 미치는 영향을 조사하기 위해서 조직, 미세경도 및 전단강도 시험 등을 통해서 양호한 조건을 제시하고자 하였다.

### II. 실험방법

Fig. 1에 Inconel 600 과 690 판재와 튜브의 레이저 용접 실험에 이용한 레이저용접 헤드와 실험장치에 대한 개략도 및 레이저 용접 시스템을 나타내었다. 본 실험에 사용된 Inconel 600 과 690 판재의 크기는  $150 \times 25\text{mm}$ , 두께 1.2mm 이며, Inconel 600 과 690 튜브는 각각  $19.05\text{mm OD} \times 1.1\text{mm t}$  와  $16.23\text{mm OD} \times 1.1\text{mm t}$  이다. 재료의 화학적 조성은 Table. 1과 같다.

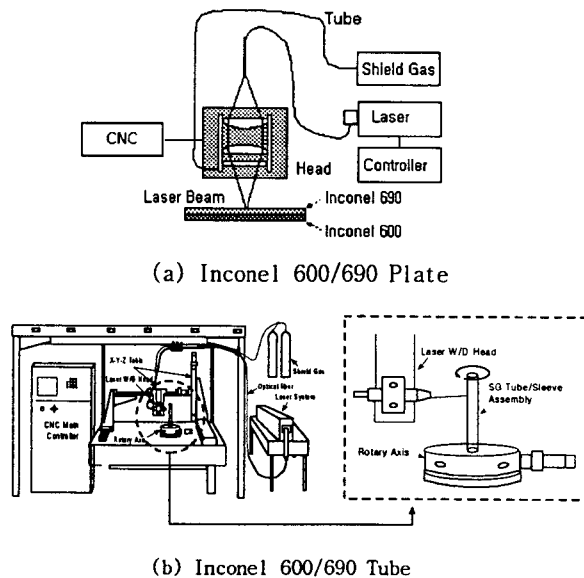


Fig. 1 Schematic diagram of experimental outline

Table. 1 Chemical compositions of Inconel 600 and Inconel 690(Range. Wt%).

	Ni	Cr	Fe	Mg	C	Si	S	P	Co	Cu	Mn	N
Inconel600	72	15-17	6-10	1	0.025-0.050	0.5	0.01	0.015	0.015	0.5	-	-
Inconel690	58	28-31	7-11	-	0.015-0.025	0.5	0.01	0.015	0.50	0.5	0.5	0.5

Table. 2 Laser welding parameters.

Parameter	Range
Average Laser Power ( W )	150 - 730
Laser Energy ( J )	15.7 - 63.8
Speed ( mm / min )	100 - 500
Pulse Duration ( ms )	3 - 20
Frequency ( Hz )	5 - 50
FN, Focal Length(mm)	2.6, 57.4
Shield Gas(l/min)	N <sub>2</sub> , 55

이상과 같은 시험을 위해 사용된 레이저 용접 변수들에 대한 범위를 Table. 2에 나타내었다. 초점의 위치는 판재 표면에 위치시켰으며 이때 노즐의 끝단으로부터 표면까지의 거리는 7.5mm로 고정하였고, 용접 중 오염이나 산화를 방지하기 위해서 보호가스로 N<sub>2</sub>를 사용하였으며 유량은 55 l/min로 실험하였다.

레이저 용접 실험 후 각각의 변수들(펄스폭, 반복율, 펄스에너지, 용접속도)에 대해 마이크로 비전 시스템을 이용하여 용입깊이(Penetration Depth)와 비드폭(Width)을 조사하였고, 용접부와 열영향부의 열영향 정도를 알아보기 위해서 미세조직 시험과 미세경도 시험을 실시하였다. 또한 접합강도를 조사하기 위해서 인장시험기를 이용한 접합부 전단 강도 시험을 실시하여 모재 강도와 비교하였다. Inconel 600/690 튜브에 대해서는 판재 실험 후 선정된 양호한 조건 범위에서 레이저용접 후, 조직, 경도, 인장 및 수압시험을 실시하고 특성을 고찰하였다.

### III. 실험 결과 및 고찰

#### 1. 미세조직 시험

Fig. 2에 인코넬 600과 690 모재의 미세조직과 레이저 용접부와 열영향부 및 인코넬 600, 690 두 모재 사이의 경계부분에 대한 미세조직을 나타내었다. Fig. 3의 (d)에서 볼 수 있듯이 용접된 모든 시편들에서 균열은 발생하지 않았으며, 열영향부 (e)와 모재의 조직 (b), (c)를 비교해 볼 때 열영향부가 매우 적음을 알 수 있었다.

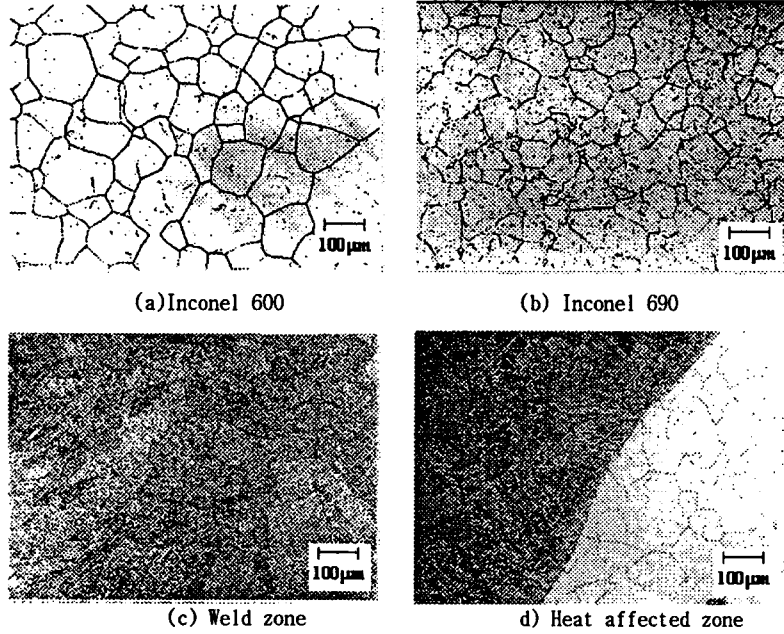


Fig. 2 Microstructure of Inconel 600/690 Plate weldments.

## 2. 미세경도 시험

Fig. 4 에 양호한 용입현상을 보인 조건에 대한 미세경도 분포를 나타내었다. 양호한 용입현상을 보인 시편에서 용접부에서 미세경도의 평균값은 173(Hv)이었으며, 용접부와 경계부에서 다소 높은 경도값을 나타내었다.

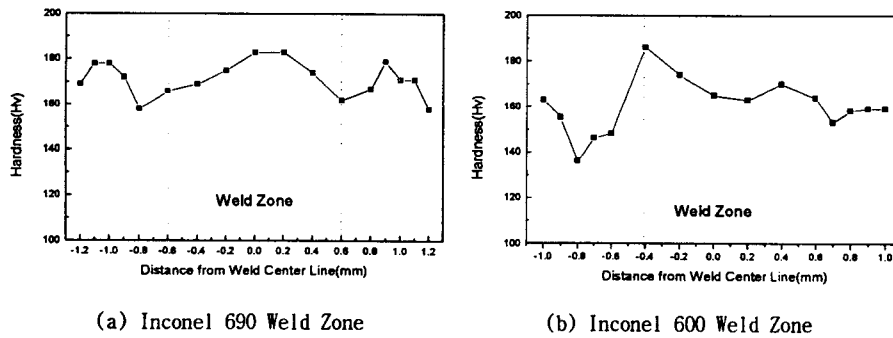


Fig. 3 Distances for microhardness test (Duration 3 ms, Frequency 30 Hz, Current 155 A, Power 454 W, Speed 200 m/min, Flow rate 40 l/min)

### 3. 전단강도 시험

시험결과 레이저 용접된 시편의 전단강도는 89~458Mpa 까지 분포를 나타내고 있다. 모재인 인코넬 600 과 690 의 인장강도<sup>9)</sup>는 각각 552MPa 과 765MPa 로써 전단강도가 인코넬 600 모재의 70% 이상 나타내는 것은 레이저 에너지가 30J 이상 되어야 하며, 나머지 레이저 용접된 시편들은 외관상으로는 용접이 되었으나 전단강도가 모재에 비해 50% 미만으로 매우 낮은 값을 나타내어 부적합한 것으로 나타났다.

### IV. 결론

펄스형 Nd:YAG 레이저를 이용한 인코넬 600 과 690 판재를 조건별로 레이저 용접 시험한 후 미세조직, 미세경도 및 전단강도 시험을 한 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다

1. 미세조직 시험의 결과 인코넬 600 과 690 판재의 접지기 용접에서 모재와 용접부에서 열영향 부분이 적고, 용접된 시편들 모두에서 균열은 발생하지 않았다. 또한 미세경도 시험의 결과로부터 용접부에서의 미세경도의 평균값은 173(Hv)로 인코넬 600 과 690 의 모재부에서 미세경도 값과 큰 차이가 없었으며, 경계부에서도 취성을 유발시키는 높은 경도값은 나타나지 않았다.
2. 전단강도 시험의 결과 모재부 강도의 70% 이상을 나타내는 조건은 입사에너지가 30J 이상이 되어야 하는 것으로 나타났다.

### V. 참고문헌

1. Bala R Nair, "Laser make light work of sleeving", Nuclear Engineering International, Oct., 1993, p.26
2. "Guidelines for steam generator tubing specification and repair ", EPRI NP-6743-L, February (1991).