

소형 티타늄 튜브 끝의 밀봉용접을 위한 Nd:YAG 레이저 용접조건 최적화

Optimization of Nd:YAG laser welding parameters for sealing the small Ti tube ends

이 형근*, 한 현수**, 손 광재**, 홍순복**

* 한밭대학교 신소재공학부 생산가공공학전공

** 한국원자력연구소 하나로이용연구단

ABSTRACT The purpose of this study is to optimize Nd:YAG laser welding parameters to seal a RI source into a Ti micro capsule. Ti tube ends can be sealed as some length of tube end is melted and coalesced. The exact control of the melted length is the most important to get sound sealing. The Nozzle type, tube rotating speed, tilt angle, focal position, pumping voltage, pulse frequency and pulse width were selected as the Nd:YAG laser welding parameters. These parameters were optimized by the Taguchi experimental method using L18 orthogonal array. Appearance and cross section of the sealed tube ends were examined by SEM.

1. 서 론

암 치료를 위한 I-125 방사선원은 I-125 흡수된 세라믹(혹은 금속) 봉을 소형의 Ti 튜브 내에 삽입하고, 양쪽 끝을 Nd:YAG 레이저에 의해 밀봉 용접하여 Ti 캡슐 형태로 제작한다. Ti 캡슐의 단면 형상은 Fig. 1에서 도식적으로 보여준다.

결합이 없고 원하는 길이의 Ti 캡슐을 제작하기 위해서는, 용융길이의 정확한 조절이 가장 중요하다. 본 연구에서는 다투찌 실험계획법에 의해 Nd:YAG 레이저 밀봉 용접조건을 최적화하고자 하였다^{1,2)}.

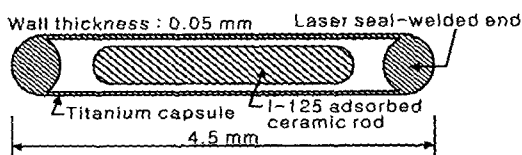


Fig. 1. Titanium capsule sealed with I-125 radiation source

2. 실험방법

2.1 시험편 및 레이저 밀봉용접 장치

Ti 튜브는 CP Ti(commmercially pure titanium)을 사용하였으며, 치수는 외경 0.8 mm, 내경 0.7 mm, 길이 6.6 mm를 사용하였다. Ti 튜브는 지그에 고정시키며, 스텝핑 모터를 사용하여, 정확한 속도와 각도로 회전되도록 하였다. 레이저 용

접장치는 플래쉬 램프(flash lamp) 펄스형 400 W Nd:YAG 레이저 시스템이다. 공진기를 통과한 레이저 빔은 코어 직경 600 μm 의 광섬유를 통하여 전달되며 유효초점거리 75 mm의 광학렌즈에 의해 집속된다. 용접위치와 용접시간은 CNC를 사용하여 정확히 조절하였다. 측면에 줌 렌즈와 CCD 카메라를 설치하여 용접과정의 연속적인 영상을 얻었다. Fig. 2에서는 용접장치와 용접방법에 대한 도식적인 그림을 보여준다.

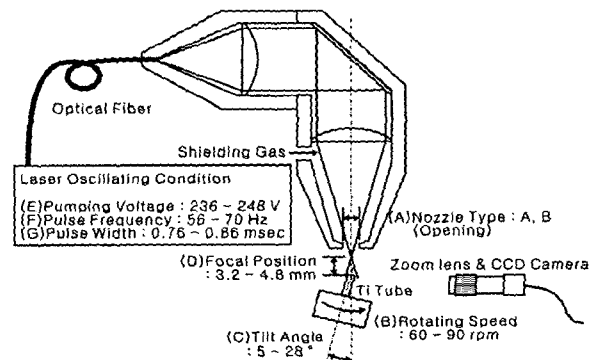


Fig. 2 Schematic diagram of Nd:YAG laser system and the welding parameters

2.2 용접변수들의 선택과 다투찌 실험계획

용접변수들로서는 레이저 노즐 형태, 튜브 회전 속도, 경사각도, 레이저 초점위치, 펄핑 전압, 펄스 주파수, 펄스 폭의 7 종류를 선택하였다. 선택된 용접변수들의 위치는 Fig. 2에서 보여준다.

실험은 L18 직교배열표를 사용한 다꾸찌 실험 계획법을 사용하였다³⁾. Table 1에서는 용접변수들과 수준을 보여주며, Table 2에서는 L18 직교배열표에 배치된 각 실험조건을 보여준다.

Table 1 Laser welding parameters and their levels

Chr.	Level			
	Factor	1	2	3
A	Nozzle Type	A	B	
B	Rotating Speed (rpm)	60	75	90
C	Tilt Angle (degree)	5	15	28
D	Focal Position (mm)	2.9	3.7	4.5
E	Pumping Voltage (V)	236	242	248
F	Pulse Frequency (Hz)	56	62	70
G	Pulse Width (ms)	0.76	0.8	0.86

용융부의 형상은 대략적으로 3 종류로 나눌 수 있다. (1) 용융부가 서로 합체되지 않아 전혀 밀봉되지 않고 용융깊이도 불균일한 형태, (2) 서로 합체는 되었으나 구멍을 가지고 있어 불완전하게 밀봉된 형태, (3) 용융부가 서로 완전히 합체되어 완전히 밀봉된 형태이다. 가장 바람직한 최적의 밀봉용접 상태는 과도한 용융량 없이 (3)의 형상을 가지는 것이다. 용융 정도는 용융 전·후에 Ti 튜브의 길이 감소를 측정함으로써 평가하였다.

3. 실험결과 분석 및 검토

3.1 용융길이 변화

용융길이는 2회 측정결과의 평균값으로 분석하였으며, S/N비는 망목특성에 의해 분석하였다.

$$S/N \text{ Ratio} = 10 \log[(y^2 - V/n)/V]$$

(y: 평균값 n: 반복수, V : 분산)

Table 2에서는 용융길이의 측정결과, 평균값 및 S/N비의 분석결과를 보여준다. 용접변수들에 따른 용융길이의 평균값과 S/N비는 Fig. 3에서 보여준다. 분산분석(ANOVA)한 결과 평균 용융길이에선 초점위치, 노즐 형태, 펌핑 전압, 펄스 폭이 큰 영향을 미쳤다. 반면 S/N 비에는 펄스 폭과 초점위치가 가장 큰 영향을 미쳤다.

3.2 최적 용접조건 도출

용융길이와 S/N 비 모두 초점위치에 따라서 급격히 변화하였다. 따라서 초점위치 변화에 따른

용융길이의 변화는 더 상세히 측정하였다(Fig. 4).

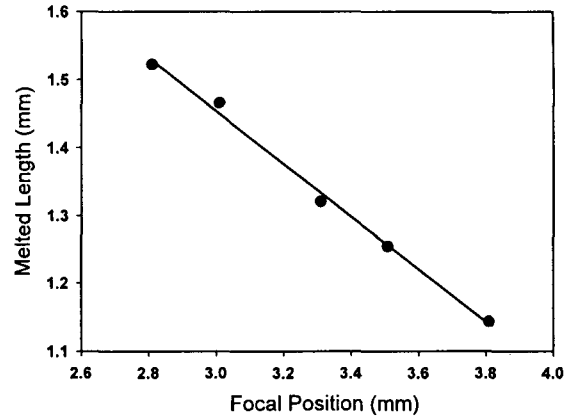


Fig. 4 Effects of the focal position on the melted length

결과들을 종합하여 얻어진 최적용접조건은 Table 3에서 보여준다. 이러한 조건에서 용접하였을 때 약 1.3 mm의 길이가 용융되었으며, 외관이 우수하고 완전히 밀봉 용접된 결과를 얻을 수 있었다. 밀봉 용접된 Ti 튜브의 외관과 단면 사진은 Fig. 5에서 보여준다.

Table 3 Optimized welding condition

Nozzle Type	Rotating Speed	Tilt Angle	Pumping Voltage
B	75 rpm	15 °	242 V
Pulse Frequency	Pulse Width	Focal Position	Welding Time
70 Hz	0.86 ms	+3.3 mm	2 sec

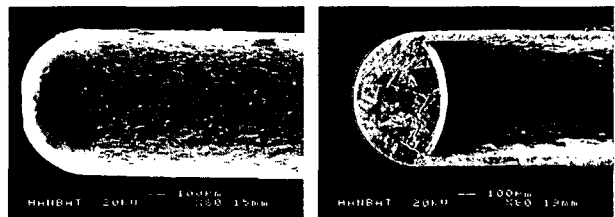


Fig. 5 Appearance and cross section of sealed tube end

4. 결 론

본 연구결과 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 평균 용융길이에선 초점위치가 가장 큰 영향을 미쳤으며, S/N 비에는 펄스 폭과 초점위치가 가장 큰 영향을 미쳤다.
- 2) 최적용접조건은 노즐 형태 B, 회전속도 75

rpm, 경사각 15°, 펌핑 전압 242 V, 펄스 주파수 70 Hz, 펄스 폭 0.86 ms, 초점위치 +3.3 mm에서 얻었다.

참고문헌

1. P. J. Ross : Taguchi Techniques for Quality Engineering, McGraw-Hill, 1996
2. W. W. Duley : Laser Welding, John Wiley & Sons, Inc., 1999
3. 박성현 : 응용실험계획법, 영지문화사, 1990

후 기

본 연구는 원자력 증장기계화사업의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

Table 2 Experimental arrangements of the welding parameters on a L18 orthogonal array and analysis results for the melted length and unsealed length.

No.	Welding parameters							Aver. Power (W)	Welding Time (s) (250J/W)	Melted Length (mm)			
	A	B	C	D	E	F	G			Data		Average	S/N Ratio
										1 +0.15 mm	2 -0.15 mm		
1	A	60	5	2.9	236	56	0.76	59	4.2	0.98	1.24	1.11	15.7
2	A	60	15	3.7	242	62	0.8	87	2.9	1.04	1.22	1.13	19.1
3	A	60	28	4.5	248	70	0.86	128	1.9	1.23	1.38	1.31	21.7
4	A	75	5	3.7	242	70	0.86	112	2.2	1.93	1.87	1.90	32.9
5	A	75	15	4.5	248	56	0.76	84	3.0	0.67	0.93	0.80	12.6
6	A	75	28	2.9	236	62	0.8	73	3.4	0.73	1.12	0.92	10.3
7	A	90	5	2.9	248	62	0.86	114	2.2	2.33	2.91	2.62	16.0
8	A	90	15	3.7	236	70	0.76	76	3.3	0.73	1.13	0.93	10.2
9	A	90	28	4.5	242	56	0.8	79	3.2	0.91	1.44	1.17	9.7
10	B	60	5	4.5	242	62	0.76	80	3.1	0.06	0.18	0.12	1.4
11	B	60	15	2.9	248	70	0.8	114	2.2	1.27	1.49	1.38	18.9
12	B	60	28	3.7	236	56	0.86	76	3.3	0.90	1.15	1.02	15.3
13	B	75	5	4.5	236	70	0.8	84	3.0	0.06	0.16	0.11	2.2
14	B	75	15	2.9	242	56	0.86	89	2.8	1.25	1.29	1.27	33.0
15	B	75	28	3.7	248	62	0.76	93	2.7	1.21	0.86	1.03	12.4
16	B	90	5	3.7	248	56	0.8	92	2.7	0.99	1.31	1.15	14.0
17	B	90	15	4.5	236	62	0.86	84	3.0	0.35	0.57	0.46	9.1
18	B	90	28	2.9	242	70	0.76	90	2.8	0.98	2.24	1.61	4.4

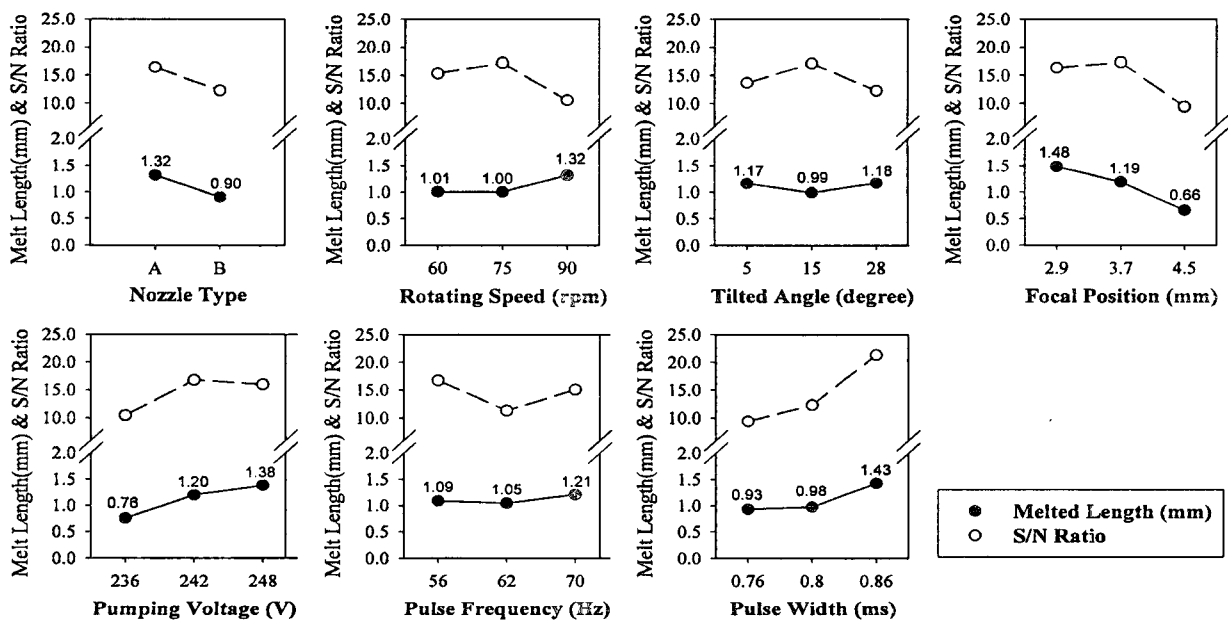


Fig. 3 Effects of the laser welding parameters on the melted length and its S/N ratio.