

# Nd:YAG 레이저를 이용한 초합금 소재의 용접 특성 연구

## Welding Characteristic of Super Alloys for Nd:YAG Laser

유상현\*, 이제훈\*, 서정\*, 김정오\*, 이영호\*\*

\*한국기계연구원 정보장비연구센터

\*\*충남대학교 기계공학과

**ABSTRACT** Super alloys are typically used for the liquid thruster in the aerospace industry. In this work, The bead-on-plate welding of Inconel 600, Inconel 625 and Haynes 230 using Nd:YAG laser are studied, in order to examine the effects of experimental parameters on their weldability. The micro-hardness and tensile strength of the specimens are also analyzed, to obtain the optimal welding conditions.

### 1, 서론

인공위성의 자세제어(attitude control), 궤도수정, 위치 유지(station Keeping) 및 발사체의 요, 피치, 롤 제어에 사용되는 소형 액체추진기관인 추력기는 비행체의 주추진이 목적이 아닌 제어 용도로 사용된다. 이러한 추력기는 추진제의 종류에 따라 단일추진제 추력기와 이원추진제 추력기로 구분된다.

단일추진제 추력기(monopropellant thruster)는 산화제의 개입 없이 추진제와 촉매의 화학적 반응에 의하여 고온/고압의 가스를 발생시켜 노즐을 통하여 추력을 얻는 방식으로 고도의 내열성, 고강도 및 경량화를 요구하기 때문에 이에 대응하는 용접법으로 고 에너지빔 용접을 적용하고 있다.<sup>[1]</sup>

레이저 용접은 열 영향부가 적으며, 비 접촉 가공기술로 재료의 오염을 방지할 수 있다. 또한, 다양한 변수들을 활용하여 원하는 용접특성을 얻을 수 있는 장점들을 가지고 있다. 기술선진국에서는 항공우주 산업과 관련하여 고에너지빔 용접에 관한 수많은 연구가 행해져 왔으나 특수분야의 적용이 대부분이기 때문에 공개된 기술은 그리 많지 않은 실정이다. 또한, 국내의 항공우주 산업에서 용접 기술 및 적용 사례 등을 살펴볼 때, 고부가가치 소재에 대한 신기술 관련 연구 부재로 인하여 다양한 용접변수와 용입 특성에 대한 많은 자료가 요구되고 있다.

본 논문에서는 Nd:YAG 레이저를 이용하여 추력기 가공소재로 사용되는 Inconel 600, Inconel 625, Haynes 230 판재를 가지고 비드 온 플레이트(bead on plate) 용접을 수행하였으며, 용접 시편의 비드형상을 관찰하고 기계적 특성 등을 평가하여 최적의 용접 조건을 구하는데 목적이 있다.<sup>[2]</sup>

### 2. 실험방법

#### 2.1 실험재료 및 실험장치

본 연구에 사용된 실험재료는 Inconel 600, Inconel 625 및 Haynes 230을 사용하였고 내부표면에 이물질들을 완전히 제거하기 위하여 아세톤으로 약 10분간 초음파 세척한 후 용접을 실시하였다. 실험 장치로는 최대출력 2.8kW, 평균 유효출력 2kW급의 Nd:YAG 레이저(TRUMPF-HASS LASER HL 2006D)를 사용하였다.

#### 2.2 실험과정

Nd:YAG 레이저를 이용하여 빔을 금속시편에 직접 조사하는 비드 온 플레이트 용접을 실시하였으며 용접샘플은 아세톤으로 초음파 세척하여 이물질을 완전히 제거 후 지그로 고정시켜 용접 중 열팽창에 의한 변형이 발생되지 않도록 하였다.

본 실험의 변수로는 Table 1에 나타냈으며 비드 온 플레이트 용접 후 실험재료 뒷 표면의 용융상태 또는 표면의 변색 및 용융흔적을 관찰하였다. 용접 비드관찰을 위해 마운팅 프레스로 마운팅을 한 후 알루미나를 이용하여 폴리싱을 하였으며 에칭은 HCl 및 HNO<sub>3</sub> 혼합용액을 사용하였다.

에칭 된 용접비드 단면은 광학현미경을 사용하여 용접부의 용입깊이와 용접부의 상부에서 용융부의 폭을 나타내는 비드 폭을 검사하였고 마이크로 비커스 경도측정을 하였다. 또한, 인장강도 시험을 위해 시편 규격을 JIS 7호형에 맞추어 제작하였으며, 인스트론사의 만능시험기(모델 4484)을 이용하여 인장강도 시험을 하였다. 인장강도 시험에는 용접시험 변수들에 대해 용입깊이와 비드폭을 검사한 결과로부터 심 용입이 가능한 용접조건으로부터 실시하고 이를 모재 강도와 비교하였다.

Table 1 Experimental parameters for laser welding

Parameter	Range
Laser power (W)	700~1500
Welding speed (m/min)	1.5~2.5
Focal length (mm)	-6.0~6.0

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 Nd:YAG 레이저 용접변수에 따른 용입 깊이 및 비드폭의 변화

Fig. 1는 레이저 출력 1.3kW, z=0일 때 용접속도 1.0-2.5m/min까지 변화에 따른 용융부 단면 형상을 나타낸 것이다. 그림에서 보시는 바와 같이 용접속도가 증가함에 따라 모재에 전달되는 단위 길이당 입열량이 감소하기 때문에 용입깊이와 비드폭이 점차 감소하는 경향을 보인 것으로 판단된다.

Fig. 2는 용접속도 1.8m/min일 때 레이저 출력의 변화에 따른 용입깊이를 나타낸 그래프이다. 이는 출력이 증가할수록 모재에 전달되는 입열량이 커짐에 따라 용입깊이가 증가한다는 것을 보여주며 관통용접이 된 1.3kW일 때와 1.5kW일 때 중에 출력1.3kW일 때 양호하게 관통되었다.

Fig. 3는 용접속도 1.8m/min, 출력 1.3kW일 때

초점위치 변화에 따른 그래프이다. 이러한 변화는 초점위치에서 멀어질수록 에너지 밀도가 낮아지기 때문에 용입깊이는 낮아지고 비드폭은 증가하는 것으로 사료된다.<sup>[3][4]</sup>

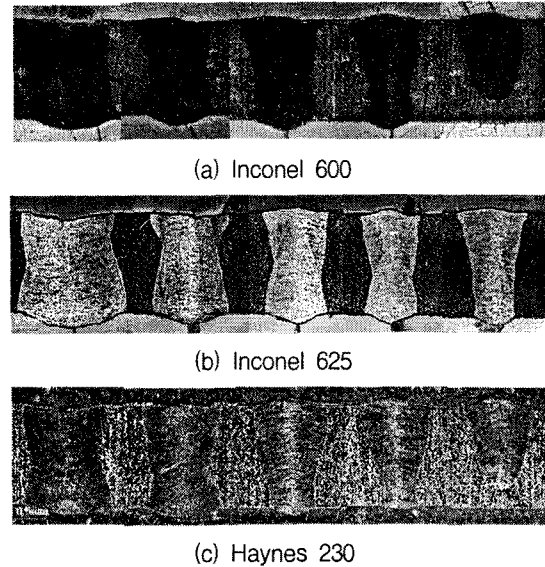


Fig. 1 Cross section of laser welding bead as welding speed: (a) Inconel 600, (b) Inconel 625 and (c) Haynes 230

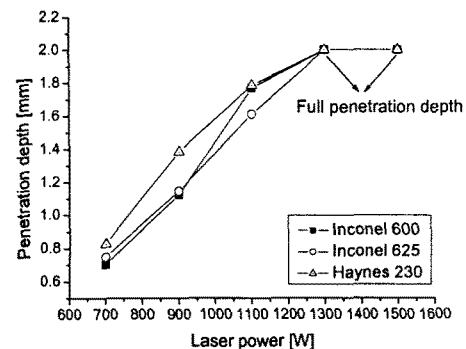


Fig. 2 Penetration depth for laser welding versus laser power (V=1.8m/min, z=0mm)

#### 3.2 경도시험

용접부, 열 영향부 및 모재의 경도변화를 알아 보기 위해서 SIMADZU사의 HMV2 마이크로 비커스 경도계를 사용하여 경도측정을 하였다. 측정시 하중은 2.942N(HV 0.3)이었으며 각각 시험편에 대해 표면으로부터 1.0mm 부근을 용접부 중심으로부터 150μm 간격으로 횡단면을 따라 측정하였고 Fig. 4는 미세경도 분포를 나타낸

것이다.

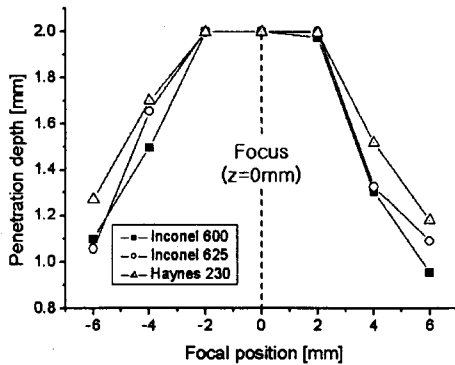


Fig. 3 Penetration depth for laser welding versus focal position

### 3.3 인장강도 시험

열영향부에서의 미세균열과 강도변화를 알아보고 용접부에서의 강도를 측정하기 위하여 두께 2mm 시험편을 JIS 7호형 규격으로 가공한 후 만능재료시험기(Instron 4484)를 사용하여 인장강도 실험을 하였다. Table 2는 인장강도 결과를 나타낸 것이다.

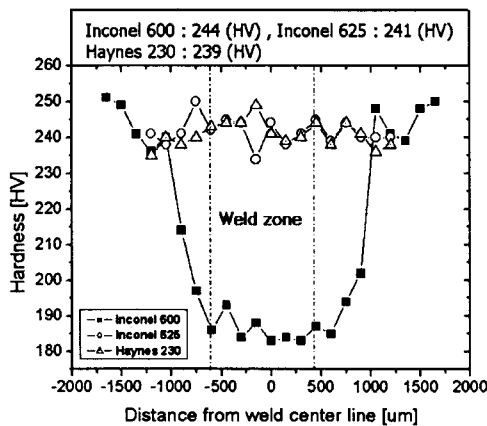


Fig. 4 micro-Hardness test

Table 2 tensile strengths of super alloys

	Inconel 600	Inconel 625	Haynes 230
base metal (2mm)	868 MPa	873 MPa	855 MPa
laser welding (2mm)	719 MPa	871 MPa	855 MPa

### 4. 결론

인공위성 추력기 개발에 적용되는 초합금 소재를 가지고 레이저 용접 실험을 한 후 용입깊이, 비드폭을 측정하고 미세경도 및 인장강도 실험을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 레이저 용접 시 용접속도의 증가에 따라 용입깊이와 비드폭은 감소되었고 출력의 증가에 따라 용입깊이와 비드폭은 증가하는 경향을 보였으며 각 시편의 두께가 2mm일 때 최적의 용접 조건은  $z=0\text{mm}$ , Laser power 1.3kW, Welding speed 1.8m/min, Shield gas(Ar) 1bar 였다.
- 2) 양호한 용입 현상을 보인 시편의 미세경도 값은 Inconel 600은 719(HV), Inconel 625는 871(HV) 그리고 Haynes 230은 855(HV)로 나타났다.
- 3) 인장강도 실험 결과 Inconel 600은 모재에 대해 80%이상의 인장강도 값을 얻었으며 Inconel 625와 Haynes 230의 인장강도 값은 모재에 대해 비슷하게 나타나는 결과를 얻을 수 있었다.

### 후기

본 연구에 도움을 주신 조선대학교 유영태 교수님을 비롯하여 레이저용접 실험실 여러분들께 감사의 말씀 드립니다.

### 참고문헌

1. "다목적실용위성 2호 추진계 개발사업" 과제 2차년도 연차보고서(2001), p.105-107
2. C. Daws, C,Eng, "Laser Welding", Abington publishing, 16-30 (1992)
3. Kim T.H 1996, Laser Manufacturing, Kyung Moon, Page 154-215
4. S. Gobbi, Li Zhang J. Norris, K.H. Richter and J.H. Loreau, 1996, HIGH POWER CO<sub>2</sub> AND Nd:YAG LASER WELDING OF WROUGHT INCONEL 718, journal of Materials Processing Technology, Vol. 56, Page 333-345