

LPG 재응축기용 순티타늄 박판의 Nd:YAG 레이저 용접성(I)

- 순티타늄의 물성과 용접변수 -

Weldability of Pure Titanium Thin plate for LPG Re-Condenser by Nd:YAG Laser

- Physical Constant and Welding Parameters -

김 종도*, 곽 명섭**, 이창제**, 김창수***

* 한국해양대학교 기관시스템공학부

** 한국해양대학교 대학원

*** (주)동화엔텍 열유체연구소

ABSTRACT Titanium and its alloys have excellent corrosion resistance, high strength to weight ratios and high temperature creep properties, which make them using many various fields of application. Responding to these needs, welding processes for titanium are also being used including TIG, MIG, resistance welding, plasma arc welding, diffusion welding, electron beam welding and laser welding. In this study, It is possible to get sound beads without humping bead and spatter with the decrease of peak power according to increase of pulse width and change of welding speed for heat input control at pulsed Nd:YAG laser welding of titanium plates for Lap welding.

1. 서 론

티타늄 및 티타늄합금은 우수한 내식성, 높은 비강도(강도/밀도)¹⁾, 비인성(인성/밀도) 및 고온 크립특성(Creep property)²⁾을 가지기 때문에 각종 화학 플랜트, 제트기 엔진 케이스, 자동차용 배기밸브, 군사용 방호설비 등의 우주항공, 자동차 및 군사설비 분야뿐만 아니라 인체에 대해 세포독성이 없고 생체친화성이 뛰어나기 때문에 임플란트, 인공관절 등의 의료분야에 이르기까지 그 사용이 확대되고 있다. 특히 해수환경에서 응력부식균열(Stress Corrosion Cracking), 틈새부식(Crevice Corrosion), 공식(Pitting) 및 미생물부식(Microbiologically Influenced Corrosion)에 대한 저항성이 탁월하고, 성형성이 좋은 순티타늄¹⁾은 열교환기, 밸러스트 탱크, 담수화설비 등의 제작에 최적의 재료로 부각되고 있다.

이러한 수요에 발맞추어 티타늄의 용접방법 또한 일반적으로 가장 많이 사용되는 TIG에서부터 MIG, 저항용접, 플라즈마 아크용접, 확산접합^{3, 4)}, 전자빔용접 및 레이저용접에 이르기까지 다양하다. 그러나, 티타늄은 고온에서 대단히 활성이기 때문에⁵⁾ 대기 중의 산소, 질소, 수소 및 탄소 등의 침입형원소의 영향으로 쉽게 취화하므로⁶⁾ 이들

로부터 용접부를 보호하기 위하여 불활성가스에 의한 실드가 요망된다.

본 연구에서는 고온·고압의 환경에서 사용되는 LPG선의 열교환기 제작을 위해 순티타늄판에 대한 펄스 Nd:YAG 레이저의 용접특성을 평가하고자 하였다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1 실험재료

시험편은 길이 150mm, 폭 50mm, 두께 0.6mm 또는 0.8mm의 판재를 사용하였으며 그 화학조성을 Table 1에 나타낸다. 각 시험편은 아세톤과 메탄올을 사용하여 유분 및 수분을 제거한 후 용접하였다. 시험편에 수분이 남아있을 경우, 용접 중 수소와 산소로 해리하여 티타늄을 산화시키므로 다른 재료보다도 엄중한 관리가 요구된다.

Table 1 Chemical composition of pure titanium

Elements Material	H	C	O	N	Fe	Ti
Pure titanium	0.001	0.01	0.05	0.01	0.04	Bal.

2.2 실험 장치 및 방법

본 실험에 사용된 레이저는 램프(lamp) 여기방식의 평균출력(E_a) 800W, 첨두출력(peak power, P_p) 20kW, 최대 펄스에너지 150J, TEM₀₀의 빔모드(beam mode)를 가지는 펄스 Nd:YAG레이저이며 3축의 CNC와 연동한다. 시험편은 겹치기 용접하였으며 이 때 레이저의 주요 용접매개변수를 Table 2에, 그 모식도 및 사진을 Fig. 1에 각각 나타낸다. 실드가스는 직경 5mm인 노즐에서 레이저빔과 동축으로 분사되며 용접전에 3초간 퍼지 후 용접을 행하였다.

Table 2 Laser parameters for Lap welding

Defocused distance(f_d)	0
Pulse width(τ_p)	1 ~ 6ms
Lamp voltage(V)	200 ~ 300V
Welding speed(ν)	200 ~ 1400mm/min
Shield gas	Ar(25 l/min)

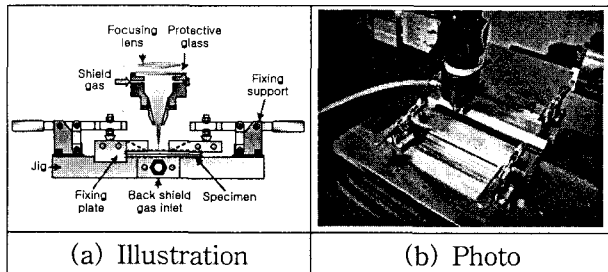


Fig. 1 Schematic illustration and photo of Lap welding

3. 실험결과 및 고찰

3.1 펄스폭 및 램프전압에 따른 용입깊이의 변화

펄스레이저에서 가공에 큰 영향을 미치는 것은 첨두출력과 펄스폭이다. 첨두출력은 펄스폭을 길게함에 따라 낮추는 것이 가능하므로 펄스폭이 주된 가공변수라 하겠다. 펄스폭 및 램프전압의 변화에 따른 용입깊이(penetration depth)의 변화를 Fig. 2에 나타낸다.

펄스폭 1ms에서는 램프전압이 증가함에 따라 거의 선형적으로 용입깊이가 증가하다가 완전용입용접에 이르고, 펄스폭이 2ms와 3ms로 증가함에 따라 점점 낮은 램프전압에서도 완전용입용접이 되고 있다. 그러나 펄스폭 1~3ms에서는 높은 첨두출력에 의해 모든 용접부에서 험핑비드

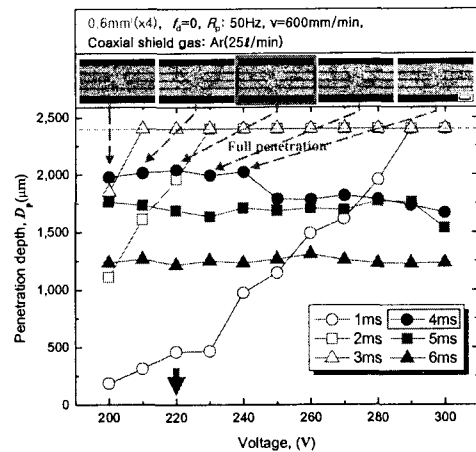


Fig. 2 Variation of penetration depth according to the pulse width and lamp voltage

(humping bead)와 스패터(spatter)가 발생하였다. 펄스폭 4ms에서부터 건전한 비드가 얻어지기 시작하고 용입깊이도 일정한 값을 나타내었다. 따라서 용입깊이가 가장 깊고 램프전압이 낮은 조건인 펄스폭 4ms, 램프전압 220V가 최적의 조건으로 선정되었다.

3.2 용접속도에 따른 용입깊이 및 비드폭의 관계

펄스폭 및 램프전압을 고정하고 용접속도를 달리하여 실험한 결과를 Fig. 3에 나타낸다. 용접속도 200~1,000mm/min의 모든 조건에서 완전용입용접되었으나 600mm/min을 기준으로 이보다 느린 속도에서는 입열 과잉으로 인해 조대한 조직 및 넓은 비드폭을 가지는 용접부가 얻어졌고 빠른 속도에서는 용액의 불안정에 의해 험핑비드 및 스패터가 발생하였다. 비드폭은 용접속도가 증가함에 따라 선형적으로 감소하고 있다.

3.3 동일 중첩율에서의 용접속도 및 펄스반복률 변화에 따른 용입깊이 및 비드폭의 관계

고온·고압의 환경에서 사용될 제품의 특성을 고려하여 용접비드의 중첩률(R_o)⁷⁾이 80% 이상이 되도록 용접속도 및 펄스 반복율을 변화시켜 용접하였다. 이 때 사용된 중첩률 계산식과 용입특성을 Eq.1과 Fig. 4에 각각 나타낸다.

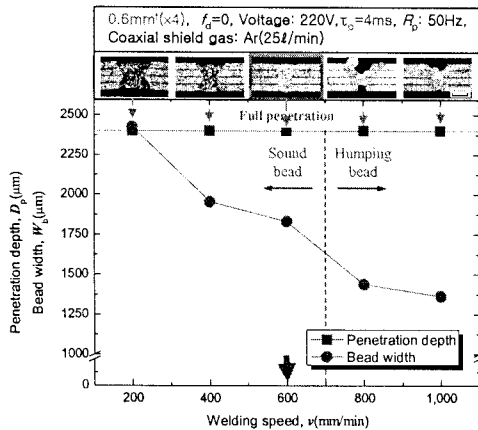


Fig. 3 Relations between penetration depth and bead width with welding speed

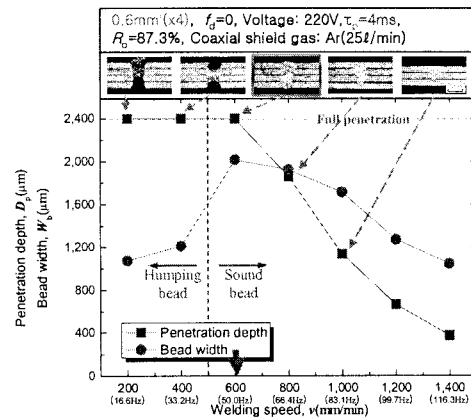


Fig. 4 Relations between penetration depth and bead width with welding speed at same overlap rate

$$R_0 = \left(1 - \frac{v}{d \times R \times 60}\right) \times 100(\%) \dots \text{Eq. 1}$$

여기서, v 는 용접속도(mm/min), d 는 빔스폿 직경(mm), R 은 펄스 반복율(Hz)이다.

용접속도 400mm/min이하에서는 과도한 입열에 의한 용락으로 인해 험핑비드가 발생하였으나 이보다 빠른 속도에서는 건전한 비드가 얻어졌고 용입깊이는 입열량의 감소에 따라 선형적으로 변화하고 있다. 비드폭 또한 입열 감소에 따라 용락이 발생하는 구간에서는 용락의 감소와 함께 증가하고 건전한 비드구간에서는 점진적으로 감소하고 있다.

4. 결 론

순티타늄판의 펄스레이저 겹치기용접에서 용접 가공변수에 따른 용입깊이 및 비드폭의 변화를 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 펄스폭의 증가에 따른 피크출력의 감소에 의해 험핑비드 및 스파터의 제어가 가능하다.
- 2) 용접속도에 따른 입열량의 제어로 험핑비드 및 스파터를 감소시키고 건전한 비드를 얻을 수 있다.
- 3) 중첩률이 동일한 용접의 경우, 용접속도 변화에 따른 입열의 제어로 용락이 발생하지 않는 건전한 용접부를 얻을 수 있다.

후 기

본 연구는 산업자원부 지역산업기술개발사업(과제번호:10027454)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] S. Lathabai, B. L. Jarvis and K. J. Barton : Comparison of keyhole and conventional gas tungsten arc welds in commercially pure titanium, Materials Science and Engineering A299, 2001, 81-93
- [2] 이용태, 김승언, 현용택, 정희원, 꿈의 신소재 티타늄, 한국철강신문, 2003.
- [3] 大橋 修, 顯娃 一夫, 入江 宏定 : SUS304L 스텐레스강과 티타늄과의拡散接合, 溶接學會論文集, 13-33(1995), 390-394
- [4] 瀬戸佐智生, 大脇 桂, 小口 徹, 入沢 敏夫 : 異種金屬の短時間拡散接合に関する研究, 溶接學會論文集, 10-2(1992), 246-251
- [5] 김주우, 유정희, 이규복, 이오연 : 순Ti 및 Ti-6Al-4V합금의 기계적 성질에 미치는 용접조건의 영향, 대한용접학회 특별강연 및 학술발표대회 개요집 1998년, 2(1998), 228-230
- [6] 藤井 信之, 福原 祥雅, 日向 輝彦, 安田 克彦 : 純チタン材の熔融特性と溶接施工条件の検討 -純チタン材の溶接と継手性能 (第1報)-, 溶接學會論文集, 20-1(2002), 20-25
- [7] 朝比奈敏勝, 時末 光, 伊藤久敬, 田口成一 : マグネシウム合金パルスレーザー溶接部の諸性質, 日本大學生産工學部研究報告A, 38-2(2005), 1-9