

# 용접 입열량에 따른 티타늄 합금의 기계적 성질 평가에 대한 연구

이희준\* · 이정수\* · 양해진\*\* · 오명환\*\*\*

## The Effect of Weld heat input energy to mechanical properties of Titanium alloys

Yi, Hui-Jun\* · Lee, Jung-Soo\* · Yang, Hae-Jin\*\* · Oh, Myung-Hwan\*\*\*

### 초 록

티타늄 합금은 높은 내부식성, 우수한 피로 수명과 무게비에 비해 높은 강도를 가진다는 우수성으로 인해 항공기 부품과 화학 공업 분야등에 다양하게 사용되고 있다. 이번 연구에서는 Ti-3Al-2.5V 합금 TIG 용접부에 대하여 용접부 인성과 기계적 성질에 영향을 주는 가장 중요한 인자인 용접 입열에 대한 영향을 평가하고자 하였다. 이에 입열조건에 대한 용접부에 대한 강도, 충격 인성과 노치 인성을 평가하였으며 적정 입열 조건에서 강도와 인성이 우수한 용접부를 얻을 수 있다는 것을 확인하였다.

Key Words: Titanium alloys, Welding heat input, Mechanical properties, Toughness

### 1. 서 론

티타늄 합금은 높은 내부식성, 우수한 피로 수명과 무게비에 비해 높은 강도를 가진다는 우수성으로 인해 가스 터빈엔진, 항공부분과 화학 공장등에 널리 사용되고 있다. 티타늄 합금을 접합하기 위해서 사용되는 대표적인 용접방법은 TIG(Tungsten Inert Gas) 용접으로서 높은 접합 효율과 용접 품질 그리고 용접 시공이 수동과 자동으로 가능하다는 장점을 가지고 있다. 하지만, 티타늄 합금의 우수한 반응성으로 인해 용접 중 대기 중으로부터 유입되는 산소(O<sub>2</sub>)와 질소

(N<sub>2</sub>)등과 반응하여 용접부가 산화 혹은 질화 되는 문제점을 가지고 있다. 이 때문에 용접 시공 시 불활성 차폐가스인 Ar 가스를 이용하여 대기 중으로부터의 산소 혹은 질소의 유입을 방지 하고 있다. 티타늄 용접부의 기계적 성질은 용가재와 모재 간의 확산에 따른 화학 반응, 용접 중 불순물의 유입, 동적 응고와 그 편향성에 따라 틀려지며 국부적으로 투여되는 용접 입열에 의해 발생하는 냉각 속도에 따른 용접부 혹은 열영향부 조직의 결정립(Grain size) 크기에 따라 용접부의 기계적 성질이 증가하거나 감소하는 경향이 나타나게 된다 [1-5].

이번 연구의 목적은 티타늄 합금(Ti-3Al-2.5V)에 대해 다양한 입열 조건을 이용하여 용접 작업을 수행한 다음, 용접 입열량에 따른 용접부의 기계적 강도, 충격 인성과 노치 인장 시험편을 이용한 노치 인성을 확인하였다.

\* 현대로템 주식회사 용접기술센터

\*\* 현대로템 주식회사 중기생산기술팀

\*\*\* 현대로템 주식회사 추진연구팀

† 교신저자, E-mail: jun@hyundai-rotem.co.kr

## 2. 실험 방법

### 2.1 용접 시험 방법

금번 연구에서는 티타늄 합금 중 성형성과 용접성이 우수한 Ti-3Al-2.5V 합금을 사용하였으며 Figure 1과 같이 용접 시험편을 TIG 용접을 이용하여 제작 하였다.

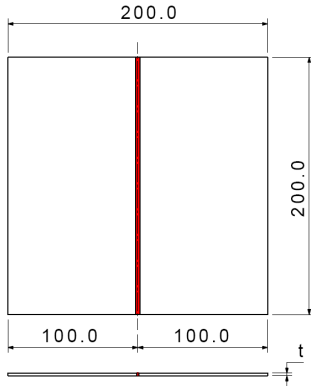


Fig. 1 Illustration of Titanium weld coupons

사용한 용접 모재와 용가제의 기계적 성질과 화학적 성질을 Table 1 과 같이 나타내었으며 TIG 용접 조건을 Table 2와 같이 나타내었다. 용접은 자동 TIG 용접 장치를 사용하였으며 보호 가스는 순도 99.9%의 Ar가스를 사용하였다. 유량은 15 l/min이며 이면 백비드와 용접부 산화 방지를 위해 이용한 1차·2차 퍼징 장치의 유량은 각각 25 l/min과 50 l/min 이다.

Table 1 Mechanical properties of Ti-3Al-2.5V

Mechanical properties		
Yield strength(MPa)	Tensile strength(MPa)	Elongation (%)
610.0	720.0	17.0

Table 2 Chemical composition of Ti-3Al-2.5V

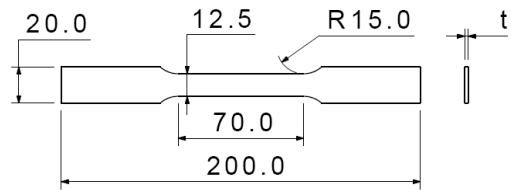
Chemical composition (wt%)						
Ti	C	O	N	Al	V	Fe
Bal	0.03	0.12	0.02	3.02	2.49	0.25

Table 3 Welding condition of specimen

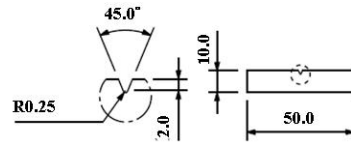
Identifi-cation	Current (A)	Volt (V)	Welding speed (cm/min)	Wire feeding speed (cm/min)	Heat Input (J/cm)
HE01	135.0	13.6	25.0	40.0	4406.4
HE02	145.0	14.0	25.0	40.0	4872.0
HE03	155.0	14.1	25.0	40.0	5245.2
HE04	165.0	14.4	25.0	40.0	5702.4
HE05	175.0	14.7	25.0	40.0	6174.0

### 2.2 기계적 성질 시험 방법

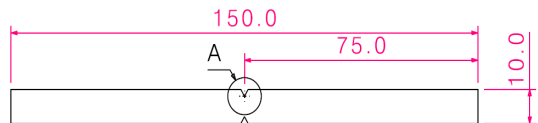
인장 시험편은 ASTM E 370에 따라 Figure 2와 같이 용접선 직각 방향으로 채취하여 제작하였으며 노치 인장 시험편을 ASTM E 338에 따라 제작하였다. 노치 인장 시험의 노치 위치는 용접선에서 1.0mm로 하였으며 인장 시험은 만능시험기(Instron 8501)을 이용·시험 하였다. 충격 시험편은 ASTM E 23에 근거하여 제작하였으며 노치 위치는 용접 중심부와 용접선에서 1mm 구간으로 하였다.

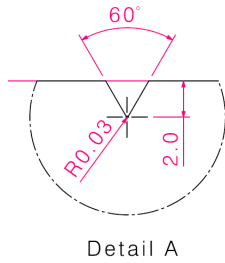


(a) Tensile specimen



(b) Charpy impact test specimen





(c) Notch tensile test specimen

Fig. 2 Illustration of tensile test, Charpy impact test and notch tensile test specimens

### 3. 시험 결과

#### 3.1 기계적 성질 시험

찬류 용력 측정 결과를 Figure 3과 같이 나타내었다. 시험 결과 항복 강도와 인장 강도의 경우 4.2~5.7KJ/cm 구간에서 증가하다가 용접 입열이 6.0KJ/cm 이상이 되면 감소하는 경향을 나타내었으며 연신율의 경우에는 약 4.8 KJ/cm 구간에서 최고치를 나타내지만 항복강도와 인장강도가 가장 높게 나타나는 구간에서 감소하는 경향을 나타내었다.

#### 3.2 충격 시험

충격 시험 결과를 Figure 4와 같이 나타내었다. 시험결과 용접부 충격 인성은 용접 입열량과

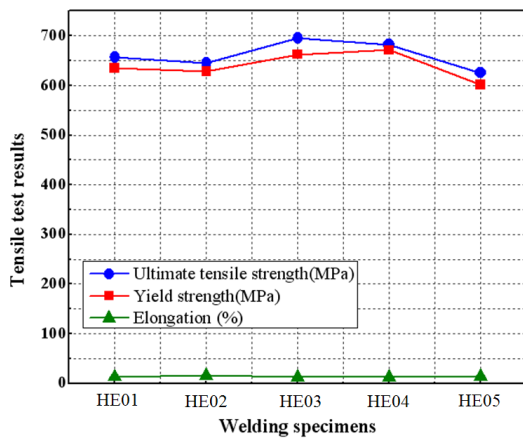


Fig. 3 Results of tensile test

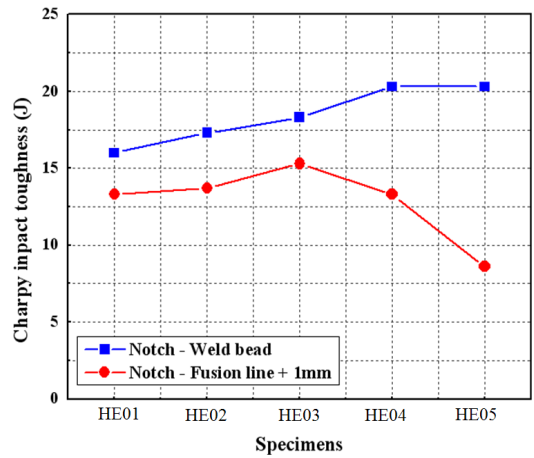


Fig. 4 Results of Charpy impact test

비례하여 증가하는 것을 알 수 있으며 용접선에서 1mm 구간에서는 용접 입열에 비례하여 서서히 증가하다가 약 5.0KJ/cm 이상의 입열량이 부여되는 경우 감소하는 경향을 나타내었다.

#### 3.3 노치 인장 시험

노치 인장 시험을 입열량에 따른 용접부 노치 인성을 평가하기 위하여 노치 인장 시험을 수행하였다. 노치의 위치는 용접부 미세 조직이 조대화되어 인성이 상대적으로 저하되는 조립화 영역인 용접선(Fusion line)으로부터 1.0mm 구간에서 채취하였다. 노치 인장 시험을 수행한 결과를 노치항복비(Notch Yield Ratio)로 평가하여

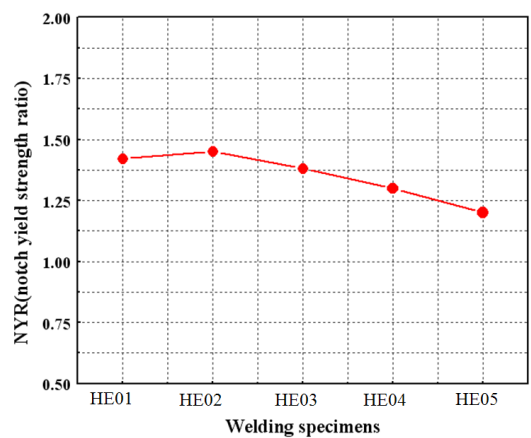


Fig. 5 Notch yield strength ratio

Figure 3과 같이 나타내었다. 노치항복비는 노치 인장시험에서 얻은 노치가 있는 시험편의 노치 인장강도를 인장시험을 통해 얻은 항복강도로 나눈 값으로 재료의 노치 인성을 평가하기 용이한 방법이다.

시험 결과 약 4.8KJ/cm 입열구간에서 최고점을 나타내다 이후 구간에서는 입열량 증가에 따라 서서히 감소하는 결과를 나타내었으며 전구간에 서 노치 인성을 확보하고 있음을 확인하였다.

#### 4. 결 론

입열량에 따른 티타늄 용접부의 기계적 성질을 평가하기 위해 서로 다른 용접조건을 이용하여 용접한 시험편을 이용하여 인장 강도, 충격 인성 그리고 노치 인성을 확인하였다.

- (1) 인장 시험 결과 항복 강도와 인장 강도의 경우 4.8~5.7KJ/cm 구간에서 증가하다가 용접 입열이 6.0KJ/cm 이상이 되면 감소하는 경향을 나타내었다.
- (2) 용접부 충격 인성은 용접 입열량과 비례하여 증가하는 것을 알 수 있으며 용접선에서 1mm 구간에서는 용접 입열에 비례하여 서서히 증가하다가 약 5.0KJ/cm 이상의 입열량이 부여되는 경우 감소하는 경향을 나타내었다.
- (3) 용접선에서 1.0mm 구간에 대한 NYR 측정 결과 4.8KJ/cm 입열구간에서 최고점을 나타내다 용접 입열이 5.0KJ/cm 이상 되는 경우

노치 인성이 감소하는 것을 확인하였다.

- (4) 상기 (1), (2), (3) 항에 대한 시험 결과, 두께 3.0mm 이하의 Ti-3Al-2.5V 합금에 대해서는 TIG 용접 입열이 약 4.8~5.0KJ/cm 구간에서 최적의 기계적 성질과 인성을 가진다는 것을 확인하였다.

#### 참 고 문 헌

1. ASTM International, ASTM Welding Handbook, 2002
2. Ellis, M. B. D and Gittos, M. F., "Tungsten inert gas welding of titanium and its alloys," Welding and metal fabrication, January, 1995, pp.9-12
3. Balasubramanian, V., Jayabalan, V. and Balasubramanian, V., "Effect of current pulsing on tensile properties of titanium alloy," Material and Design, Vol. 29, 2008, pp.1459-1466
4. Mohandas, T., Banerjee, D. and Kutumba, Rao, V. V., "Observations on impact toughness of electron beam welds of an  $\alpha$ + $\beta$  titanium alloys," Materials science and engineering A, Vol. 254, 1998, pp.147-154
5. Choi, B. H. and Choi, B. K., "The effect of welding conditions according to mechanical properties of pure titanium," Journal of materials processing technology, Vol. 201, 2008, pp.526-530