

# 티타늄 합금 용접부에 대한 TIG Dressing 재용접 효과에 대한 연구

양해진\*<sup>†</sup> · 이희준\*\* · 이정수\*\* · 오명환\*\*\*

## The effect of TIG Dressing on titanium alloy weldment

Yang, Hae-Jin\*<sup>†</sup> · Yi, Hui-Jun\*\* · Lee, Jung-Soo\*\* · Oh, Myung-Hwan\*\*\*

### 초 록

티타늄 용접부의 기공 형성은 용접 중 대기중으로부터 유입되거나 모재 표면의 산화막으로부터 확산 과정을 통해 유입되는 산소 혹은 수소로 인해 형성된다고 알려져 있다. 용접부 기공은 용접부의 피로 수명과 인성을 저하시키며 취성 파괴의 원인이 된다. 이에 용접 후 비파괴 검사를 통해 용접부 기공을 확인하고 있으며 확인된 기공등의 결함은 재용접을 통해 제거하고 있다. 이번 연구에서는 기계적 가공 방법에 의해 기공을 제거한 후 재용접 하는 기존의 방식에서 벗어나 TIG Dressing 공법을 이용하여 용접부에 형성된 기공을 제거하고자 하였으며 이에 따른 용접부 노치 인성을 확인하였다. 시험 결과 TIG Dressing에 의한 기공 제거 효과와 노치 인성을 확인하였다.

Key Words: Titanium alloy, TIG welding, Porosity, TIG Dressing, Notch toughness

### 1. 서 론

용접부의 기공 형성은 용접 금속의 응고 과정 중 발생하는 수축에 의한 것이나 티타늄 합금 용접부에서 발생하는 기공의 경우 대부분이 대기중으로부터 유입되는 산소(O<sub>2</sub>) 혹은 수소(H<sub>2</sub>) 혹은 모재 표면의 산화막으로부터 확산과정을 통해 용접부로 유입되는 산소와 수소로 인해 형성된다고 알려져 있다. 용접부에 발생한 기공은 용접부의 피로 수명을 감소시키며 인성의 저하와 취성파괴의 원인이 된다. 이런 용접부에 대한 건전성을 확인하기 위해 초음파 검사(UT)와 방

사선 투과 검사(RT)등을 통해 용접 후 용접부에 대한 건전성을 확인하고 있으며, 시공 단계에서 기공 형성의 원인이 되는 대기 중의 산소 혹은 수소를 차단하기 위해 불활성 가스인 Ar 가스등을 이용하여 Ar gas purging을 하거나 모재 표면에 형성된 산화막으로부터 확산 과정을 통해 유입되는 산소와 수소를 제거하기 위해 용접 전 산세 처리 혹은 기계적 사상 작업을 통해 산화막을 제거하는 과정을 선행하고 있다 [1-3]. 하지만, 이런 용접 전처리 과정과 차폐 과정을 거친다 하더라도 용접부에 형성되는 약간의 미세 기공은 피할 수 없다. 이 경우 대부분이 기공이 형성된 부분을 드릴 혹은 기계 가공작업을 통해 제거한 후 재용접을 하는 보수용접 방법을 사용하고 있다. 하지만, 미세 기공의 경우 보수 용접 시 정확한 위치를 찾는 것이 어려우며 기계 가

\* 현대로템 주식회사 증기생산기술팀

\*\* 현대로템 주식회사 용접기술센터

\*\*\* 현대로템 주식회사 추진연구팀

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

공 후 다시 산세처리 과정이나 기계적 사상 작업을 통해 산화막과 가공유등의 오염 물질을 제거하는 과정이 추가로 수반된다.

이에 금번 연구에서는 TIG Dressing 작업을 통해 용접부에 형성된 미세 기공을 제거하는 방법에 대한 효과와 TIG Dressing 재 용접부에 대한 취성 정도를 노치 인장 시험을 통해 평가하고자 하였다.

## 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.

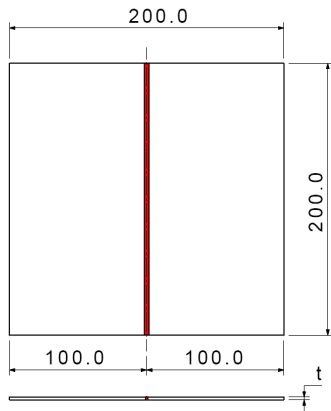


Fig. 1 Illustration of Titanium weld coupons

사용한 용접 모재와 용가재의 기계적 성질과 화학적 성질을 Table 1과 2와 같이 나타내었으며 최초 TIG 용접 조건과 3번에 걸쳐 수행한 TIG Dressing의 용접조건을 Table 3과 같이 나타내었다. 시험편 본 용접을 수행한 후 1회에서 3회까지 실시하였으며 각각 RE01, RE02, RE03으로 표기하였다. TIG Dressing 용접 시 앞면 용접부가 아닌 백 비드(Back bead)에서 용접 작업을 수행하였다. 용접부 기공 형성을 위해 모재를 산세처리 하지 않았으며 재 용접 시에도 산세 처

리 공정을 적용하지 않았다. 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/min와 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

| Identification | Current (A) | Volt (V) | Welding speed (cm/min) | Wire feeding speed (cm/min) | Remarks |
|----------------|-------------|----------|------------------------|-----------------------------|---------|
| Weld           | 58.0        | 9.2      | 25.0                   | 34.0                        | -       |
| RE01           | 68.0        | 9.8      | 25.0                   | -                           | A       |
| RE02           | 68.0        | 9.8      | 25.0                   | -                           | B       |
| RE03           | 68.0        | 9.8      | 25.0                   | -                           | C       |

### 2.1 방사선 투과 검사 및 기공 확인

최초 용접 및 TIG Dressing 작업 수행 후 방사선 투과 검사 장치인 MG452 X-RAY SYSTEM(Philips 사, 독일)를 이용하여 용접부에 분포하고 있는 기공을 확인하였다. 시험의 정확성을 높이기 위해 매 시험편 마다 방사선 투과 검사를 수행하였으며 필름을 통해 확인한 기공의 위치는 투과용지를 이용하여 용접부 기공의 위치와 개수를 표기 하였다.

## 2.1 인장 특성 확인 시험

TIG 용접부에 대한 노치 인성을 확인하기 위하여 노치 인장 시험편을 ASTM E 338에 따라 제작하였으며 인장시험편은 ASTM E 370에 따라 Figure 2와 같이 용접선 직각 방향으로 채취하여 제작하였다. 노치 인장 시험의 노치 위치는 용접부 중심부와 용접선에서 1.0mm로 하였다. 인장 시험은 만능시험기(Instron 8501)을 이용·시험 하였다.

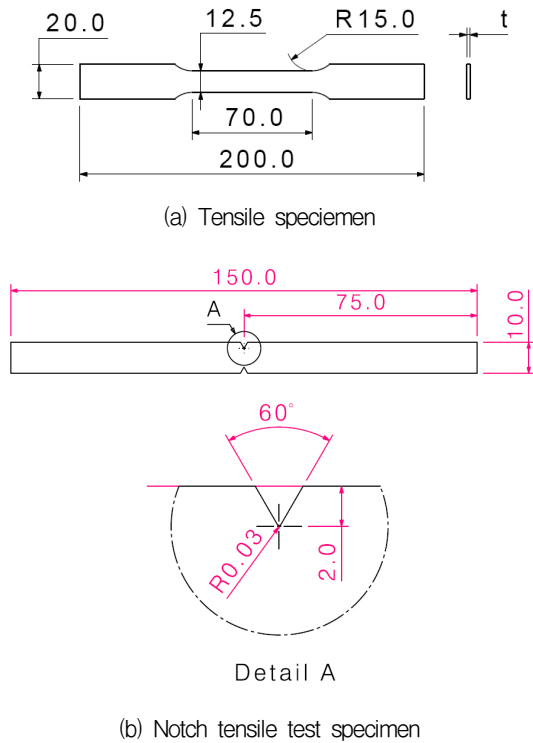


Fig. 2 Illustration of tensile and notch tensile test specimens

## 3. 시험 결과

### 3.1 기공 감소 효과 확인

TIG Dressing 작업에 따른 기공 감소 효과를 Table 4와 같이 나타내었다.

Table 4. Results of X-ray inspection

| Identification |                | Porosities<br>> 0.25mm | Porosities<br>≤ 0.25mm |
|----------------|----------------|------------------------|------------------------|
| Specimens      | Number of weld |                        |                        |
| A              | Weld           | 29                     | 2                      |
|                | RE01           | 0                      | 2                      |
| B              | Weld           | 40                     | 2                      |
|                | RE01           | 0                      | 2                      |
|                | RE02           | 0                      | 2                      |
| C              | Weld           | 12                     | 5                      |
|                | RE01           | 0                      | 5                      |
|                | RE02           | 0                      | 5                      |
|                | RE03           | 0                      | 5                      |

방사선 투과 검사 결과 최초 용접부에서 발생된 기공의 크기에 따라 TIG Dressing 재용접 효과가 다르게 나타나는 것을 확인 하였다. 최초 용접 시 발생된 기공의 크기가 0.25mm 이하인 경우에는 TIG Dressing을 재용접을 통해 100% 감소하는 결과를 나타내었지만, 발생된 기공의 크기가 0.25mm 이상인 경우에는 기공이 제거되지 않고 그대로 용접부에 분포하는 것을 확인하였다.

방사선 투과 검사를 통해 용접부에 발생된 기공을 확인하는 경우 장비 성능 혹은 검사상의 한계로 인해 미세 기공의 정확한 크기를 확인하기 어렵다. 이번 연구의 실험 결과 0.25mm 이하의 크기를 가진 용접부 기공의 경우 재용접을 통해 방사선 투과 검사 결과에는 나타나지 않지만 이것이 재용접 중의 재용고 과정에서 완전히 소멸된 것인지 아니면 재 용고 과정 중에 방사선 투과 검사에 검출이 되지 않는 미세 기공으로 재 형성된 것인지에 대한 결론은 내리기 어려운 실정이다.

### 3.2 인장 특성 평가

TIG Dressing 재용접부의 인성을 평가하기 위해 노치 인장 시험을 수행한 결과를 NSR(Notch Strength Ratio)를 평가하여 Figure 3과 같이 나타내었다. 동일한 재료에서 노치강도비

(N.T.S/U.T.S)와 노치항복비(N.T.S/T.Y.S)의 값이 클수록 재료의 노치인성이 좋는데 실제 재료의 사용범위는 완전과단보다 항복까지를 기준으로 하고 파괴에 대한 저항성은 응력집중부에서의 소성변형이 크게 좌우하므로 노치항복비의 값이 보다 유용하다고 알려져 있다. 그래서 이번 연구에서도 노치를 갖는 재료가 고유항복강도 내에서 소성변형을 유발하는지를 확인하고자 노치항복비를 사용하였다 [4,5].

$$NYR = \frac{NTS(\text{Tensile strength for notched specimen})}{TYS(\text{Yield strength for unnotched specimen})}$$

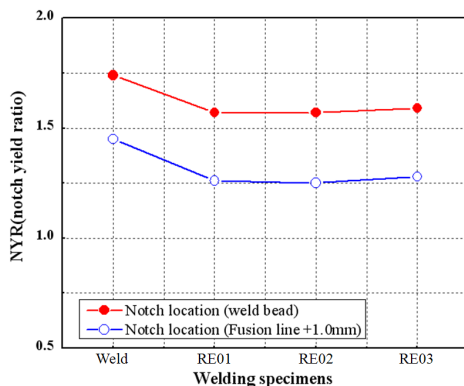


Fig. 3 NYR of weld bead notched and fusion line+1.0mm notched specimens

시험결과 TIG Dressing을 이용한 재용접부의 경우 최초 용접부와 열영향부의 노치항복비에 비해 노치항복비가 저하비가 감소하는 경향을 나타내었다. 하지만, 재용접부의 노치항복비가 1보다 크므로 파괴 시 응력집중부에서 소성변형이 발생하는 것과 재 용접부에 대해 노치 인성을 확인할 수 있다.

#### 4. 결 론

이번 연구에서는 TIG Dressing 공법을 이용하여 용접부에 형성된 기공을 제거하는 방법에 대해 연구하였으며 TIG Dressing으로 인한 용접부

의 인성을 노치인장시험을 통해 확인하고자 하였다.

- (1) TIG Dressing 공법을 이용하여 재용접한 결과 티타늄 용접부에 형성된 0.25mm 이하 크기의 기공이 감소하는 결과를 나타내었다.
- (2) 하지만, (1)항의 결과에 대하여 방사선 투과 검사로 인하여 0.25mm 이하의 기공이 TIG Dressing 재용접으로 인해 완전 소멸된 것인지 아니면 방사선 투과 검사에 검출이 되지 않는 크기의 미세 기공으로 재형성된 것인지에 대한 결론은 얻지 못하였다.
- (3) TIG Dressing 재용접에 따른 노치 인장 시험 결과 용접부와 용접선에서 1mm 구간에 대하여 노치인성을 확인하였다.

#### 참 고 문 헌

1. ASTM International, ASTM Welding Handbook, 2002
2. Smith, L. S. and Gittos, M. F., "A review of weld metal porosity and hydride cracking in titanium and its alloys," TWI, 1998
3. 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
4. Megahed, M. M., Abd-Allah, N. M. and Eleiche, A. M., "Modeling of notch tensile behavior of martensitic steels," journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 12, No. 1, February, 2003, pp.61-67
5. 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