

# Ti-6Al-4V 합금의 재현 HAZ 부 조직 및 기계적 특성 연구

## Microstructure and Mechanical Properties in Simulated HAZ of Ti-6Al-4V Alloy

문인채\*, 송근호\*

한국중공업(주) 용접기술개발팀

### 1. 서론

Ti-6Al-4V 합금은 전세계 티타늄 생산량의 약 60% 정도를 차지하는 전형적인 ( $\alpha+\beta$ )형 합금으로 강도와 무게의 비율이 우수하고, 내부식성이 뛰어나다는 특성 때문에 항공기 산업 분야 및 화학 플랜트 분야에 널리 사용되고 있다. Ti 합금은 첨가원소에 따라  $\alpha$ 형 합금과  $\beta$ 형 합금으로 분류되며,  $\alpha$ 형 합금은 용접성, 내식성, 고온 크립 저항성이 우수하고  $\beta$ 형 합금은 강도, 인성, 열처리성, 가공성 등이 우수하다. 본 시험에 사용된 Ti-6Al-4V 합금은  $\alpha$ 형과  $\beta$ 형의 좋은 성질을 겸비한 합금이다. 그러나 다른 Reactive Metal과 마찬가지로 공기중에서 산화되는 경향이 높아 실용접시 차폐에 특히 주의해야 하는 금속이다. 본 연구에서는 Ti-6Al-4V 합금의 HAZ 부를 재현 열처리하여 열영향부의 조직적 특성 및 기계적 특성을 비교, 평가 하였다.

### 2. 실험 방법

본 연구에 사용된 소재는 두께 12.7 mm의 ASTM B265 Gr.5 재질로 미국의 TIMET사에서 제조되었으며, 소재의 화학조성과 물성치는 Table 1과 Table 2에 각각 나타내었다. 실용접 열영향부에서의 열이력을 도출하기 위해 판재를 12.7t × 100w × 200 l로 절단후 Fig 1.과 같이 Hole 가공 하였다. Hole 가공깊이는 7.7 mm부터 0.5 mm씩 증가시켜 10.2 mm까지 가공하였으며, Hole 직경은 3 mm로 하였다. 가공완료후 PR 타입의 열전대를 설치하고 데이터를 열기 위해 Recoder를 연결하였다. 모든 열전대 연결완료후 GTAW 용접기법을 적용하여 Bead on Plate로 용접을 실시하였으며 이때 연결된 Recoder를 통해 실제 열영향부의 열이력 데이터를 얻었다. 적용된 용접변수는 Table 3에 나타내었으며, 얻어진 열이력은 Fig 2에 나타내었다. 재현 열처리는 일본에서 제작된 재현 열처리 전용장비인 High Deformation Simulator를 사용하였으며, 도출된 최고 도달온도와 냉각속도를 기준으로 최고 도달온도 및 냉각속도를 Fig 3과 같이 각각 변화 시킨후 인장시험, 충격시험, 미세조직 관찰을 실시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

재현열처리 시험편의 미세조직을 관찰해 본 결과, 최고 도달온도가 1200 °C 일때 등방형 조직에서 톱니형  $\alpha$ 상이 석출된 혼합조직을 보이고 있었으며, 최고 도달온도가 900 °C에서는 모재 조직과 거의 같았다. 또한 최고 도달온도가 1300 °C과 1400 °C로 올라감에 따라 톱니형  $\alpha$ 상의 Arm Spacing과 Grain이 크게 증가 하였다.

Fig 4는 재현열처리 시험편의 인장강도 및 단면수축율을 나타낸 것으로 인장강도의 경우, 최고 도달온도가 높을수록 인장강도는 조금씩 감소하는 경향이 있으나 큰 차이는 나타나지 않았다. 또한 냉각속도가 증가함에 따라서도 인장강도가 증가하는 경향은 있지만 크게 증가하지는 않았다. 그러나 단면수축율은 최고온도가 증가할수록 급격히 감소하는데 그 이유를 Fig 5에 나타내었다. Fig 5를 보면 1400 °C에서는 벽면파면의 양상이 나타나 단면수축율이 작고, 900 °C에서는 Dimple이 세밀해져 단면수축율이 큰 것으로 사료된다.

Fig 6의 충격치 결과를 보면 최고 도달온도가 1200 °C 일때가 가장 높은 충격치를 나타내고 있으며, 같은 최고 도달온도에서는 냉각속도가 느릴수록 충격치가 높게 나타났다.

일반적으로 충격치는 층상조직 (튽니형  $\alpha$ , 침상  $\alpha$ )이 등방형의  $\alpha$ 보다 높기 때문에 최고 도달온도가 높은 쪽이 충격치가 높으며, 1200 °C에서 충격치가 가장 높은 것은  $\alpha$ 상이 등방형과 층상의 혼합조직일 때 충격치가 가장 높다는 것을 설명해 주고 있다. SEM 관찰결과 900 °C에서 충격치가 현저히 감소하는데 이것은 압연방향의 락형  $\beta$ 상이 크랙전파의 경로 역할을 하는 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

본 실험을 통하여 열영향부 도달온도에 따른 미세조직과 실제 열영향부와의 관계를 파악할 수 있었으며, 각각의 최고 도달온도에 따른 기계적 성질을 알 수 있었다.

- 1) 인장강도값은 열영향부의 최고도달온도에 따라 일정한 경향성은 보이고 있으나 그 차이는 크지 않았으며, 단면수축율은 최고 도달온도가 1400 °C에서 900 °C로 감소함에 따라 증가 하였다.
- 2) 충격치는 최고 도달온도가 1200 °C일 때 가장 높았다.

Table 1. Chemical Composition of Ti-6Al-4V

성분	Ti	C	Fe	N	Al	V	O	H <sub>2</sub> (ppm)	Yt (ppm)
조성(w/o)	Bal.	0.016	0.150	0.013	6.195	3.945	0.150	66	10

Mill Annealed 30 Minutes at 1350 °F (732 °C) + AC

Maker : TIMET (U.S.A)

Table 2. Mechanical Properties of Ti-6Al-4V

시험온도	시험편방향	인장강도 (ksi)	0.2% 항복강도 (ksi)	연신율 (%)	단면수축율 (%)
R.T	L	147	133	14	33
	T	149	136	18	44

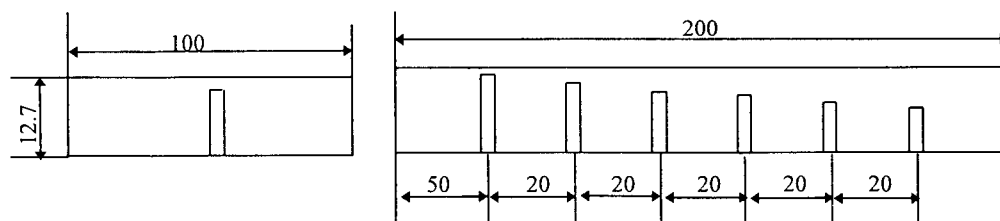


Fig 1. Schematic Diagram of Weld Specimen

Table 3. Welding Condition for GTAW

Current (A)	Voltage (V)	Welding Speed (cm/min)	Heat Input (KJ/cm)
300	15	25.6	10.5

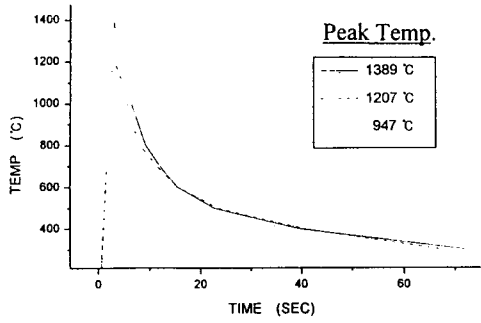


Fig 2. Thermal Cycle gained by Welding

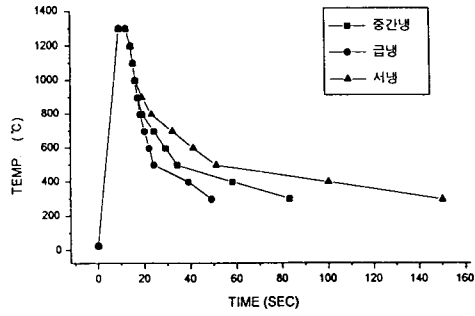


Fig 3. Thermal Cycle for HAZ Simulation

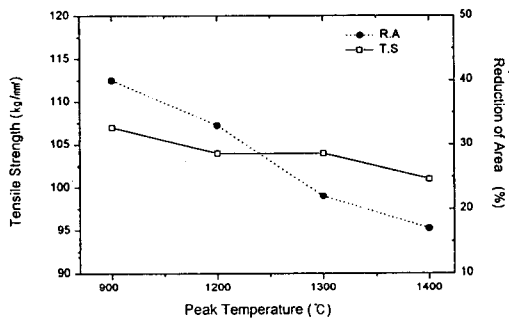


Fig 4. Tensile Strength and Reduction of Area in Simulated HAZ

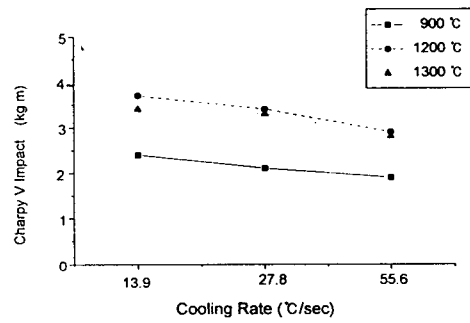
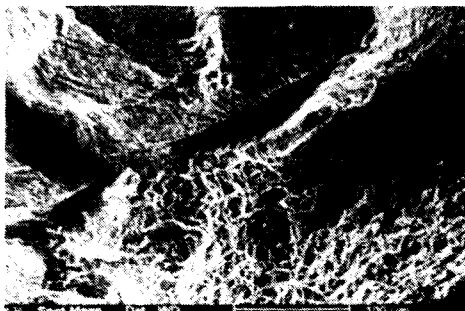
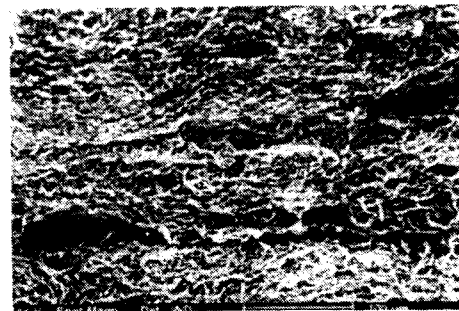


Fig 6. Impact Value in Simulated HAZ



a) 1400 °C



b) 900 °C

Fig 5. SEM Fractography at Peak Temperature 1400 °C and 900 °C