

열처리 조건에 따른 TiAl화합물의 미세조직과 기계적 성질에 관하여

박 정 중 · 이 철 형 · 최 진 일

단국대학교 재료공학과

Effect of Heattreatment condition on structure
and properties of TiAl alloys.

J. J. Park, C. H. Lee, J. I. Choe

Dept. of Materials Sci. & Eng., Dankook University

ABSTRACT

Various heat-treatments were conducted to Ti-48.1at%Al and Ti-48.3at%Al-1.2at%Mn alloys casted by plasma arc melting system. Mechanical properties, microstructure and high temperature oxidizing behaviors of as-casted and heat-treatment alloys were investigated.

Ti-48.1Al and Ti-48.3Al-1.2Mn alloys were decreased in strength according to increased of heat-treatment temperature. Oxidizing weight gain of Ti-48.1Al alloy which conducted at 1273°K was linearly increased. In case of adding Mn to alloy, there was no rapid increase of oxidizing weight gain during early time.

1. 서 론

Ti합금은 일반적으로 near α 합금, Ti-Aluminide, MMC(metal matrix composite)로 구분되며¹⁾, 이중 Ti-Aluminide계 금속간화합물에는 Ti_3Al 계 (DO_{19}), Ti-Al계 ($L1_0$), $TiAl_3$ 계 (DO_{22})등이 있는데 TiAl계 금속간화합물인 γ Ti-Aluminide는 저밀도, 고용점, 고온강도, 내산화성, Creep특성이 우수하므로 최근에는 자동차, 항공재료의 경량화 및 제트엔진의 고성능화의 필요성이 증가함에 따라 경량고온재료로서²⁾ 각광을 받고 있다

TiAl화합물은 상온에서의 낮은 인성으로 인한 가공의 어려움과 용해시 Ti의 높은 활성으로 인한 가스흡수 및 용탕과 도가니와의 반응으로 인하여 건전한 합금의 제조가 어려우므로 정밀주조법을 이용하거나 연성개선을 위해 제3의 원소를 첨가하여 r 단상이나 α_2+r 의 2상조직에 관해 연구³⁾가 되고 있으나 층상조직의 분율, 형상 및 결정입도 등과 같은 미세조직을 제어하는 열처리에 관해서는 미흡하다. 또 TiAl 2원상태도에서 Ti과 Al의 화학양론적 조성은 50.2at%이지만, Ti과 Al원자는 공결을 형성하지 않고 상호치환하여 49~66at%Al의

넓은 γ 상 조성영역이 존재하므로 γ 단상영역이나 $\alpha + \gamma$ 구역에서의 균질화 처리가 행해지고 있는데 단순한 균질화처리만으로는 층상조직의 형상과 분율을 제어할 수 없을 뿐 아니라 입자의 조대화나 불안정한 α 상이 석출되기도 한다.

따라서 본 연구에서는 TiAl 금속간화합물의 실용화의 문제점인 상온취성과 Ti활성화로 인한 산화를 방지하기 위해 합금제조시 불활성분위기인 Ar 분위기하에서 수냉 Copper Crucible을 이용한 Plasma arc melting system을 채택하였고 Ti-48at%Al합금과 제3의 원소로 Mn을 2at% 첨가한 Ti-48Al-1.2Mn합금의 각 열처리 조건에 따른 미세조직과 기계적 성질을 조사하였다.

2. 실험방법

2.1 용해 및 열처리

TiAl시편제조는 sponge Ti(99.8%), Al(99.9%), Mn(99.8%)이 원료로 사용되었으며 용해는 수냉 Copper Crucible을 사용한 Plasma arc melting system이 이용되었는데 시료장입 후 1×10^{-3} Torr까지 진공배기한 후 순도 99.99%의 Ar gas를 1.1기압까지 채운 후 용해하였다. Table. 1은 열처리시 사용된 시편의 화학조성이고 열처리 조건은 α 구역에 재결정시키기 위해 1650°K에서 2시간 유지하고 급냉한 후 1573, 1473, 1373, 1273°K의 온도로 5시간 유지한 후 노냉하였다. 냉매는 상온의 물을 사용하였으며 열처리시 발생하는 시편의 산화를 방지하기 위해 진공배기한 석영관에 시편을 봉입한 후 열처리 하였으며 각시편의 열처리 조건은 Fig. 1과 같으며 Fig. 2는 TiAl 2원합금의 상변화를 나타내었다.

Table. 1 Chemical composition of alloys based on TiAl intermetallic compound.

	Chemical Composition(at%)				
	Ti	Al	Mn	Ni	Cu
Ti-Al	bal.	48.12	—	0.0018	0.0032
Ti-Al-Mn	bal.	48.35	1.22	0.0012	0.0028

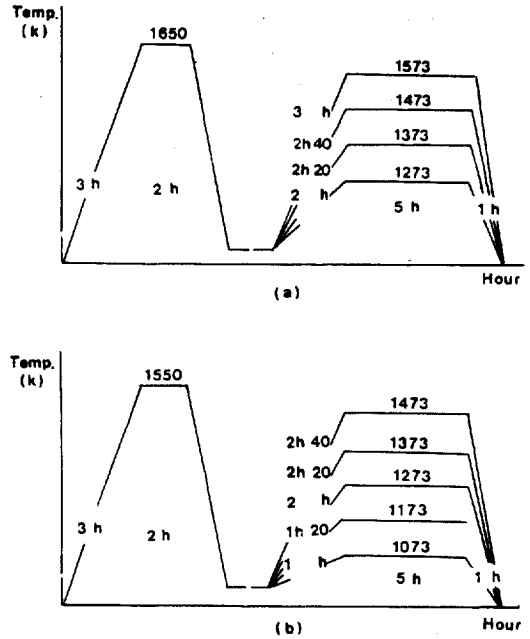


Fig. 1 Heat treatment conditions of alloys based on TiAl intermetallic compound. (a) Ti-48.1Al (b) Ti-48.3Al-1.22Mn

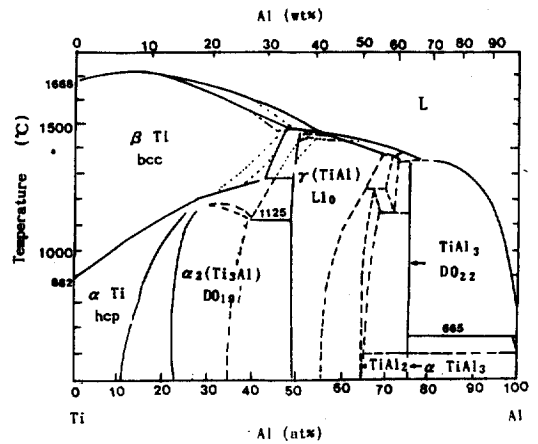


Fig. 2 Phase diagram of Ti-Al binary system.

2.2 압축시험 및 X선회절시험

일반적으로 취성이 있는 재료는 시편의 길이를 직경의 1~1.5배로 하므로 직경 5mm, 길이 8mm의 봉상으로 하고 1×10^{-3} mm/s의 일정한 변형속도로 시험하였다. 조직관찰은 광학현미경을 이용하였으며 etching은 Ti-48Al합금은 15% HF + 5% HNO₃

+80% H₂O 용액에서 약 20초 행하였고 Ti-48.1Al-1.22Mn 합금은 10% HF + 5% HNO₃ + 85% H₂O 용액에서 약 10초 행하였고 각 열처리 조건에 따른 상변화를 조사하기 위하여 X-ray 회절 패턴 분석을 하였는데 Cu target가 사용되었다.

2.3 고온 산화실험

TiAl 화합물의 내고온산화성을 조사하기 위하여 1273°K의 대기중에서 가열한 후 단위면적당 산화증량으로 산화시험을 행하였는데 사용된 시편은 주조한 것과 열처리한 것을 가로 7mm, 세로 7mm, 두께 1mm로 제조하였으며 시편의 표면적효과를 최소화하기 위해 emery paper #2,000까지 연마한 후 시편의 두께를 micrometer로 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 조직관찰

Photo 1, 2는 제3의 원소인 Mn을 첨가한 것과 첨가하지 않은 TiAl 합금의 현미경조직인데 사진에서 나타난 바와 같이 Ti-48.1Al 합금의 경우 1, 650°K에서 2시간 유지한 후 수냉하면 주조조직인 dendrite는 사라지고 α₂상과 γ상이 보이고 있다. (c), (d), (e), (f)는 수냉후 열처리를 달리하여 열처리한 것으로서 열처리 온도가 증가할수록 상경계가 불분명하게 되고 (e)조직에서는 α₂+γ상이 보여진다. Mn첨가의 경우는 Mn의 원자 반경이 Ti보다 작고 Al을 치환하여 γ상 안정영역 쪽으로 이동시키고 결정입자를 미세하게 하는데⁴⁾ 사진에서 보이는 바와같이 quenching에 의해 dendrite조직은 사라지고 수냉 후 열처리온도가 낮아짐에 따라 α₂+γ층상구조의 분율이 증가하고 있다.

Fig. 3과 Fig. 4는 Mn을 첨가한 것과 첨가하지 않은 것의 열처리에 따른 X선회절을 나타낸 것인데 Mn을 첨가하지 않은 것은 열처리온도가 증가함에 따라 α₂상의 peak가 보이고 있으나 Mn을 첨가한 경우는 peak가 보이지 않고 있는데 이것은 균질화 처리시 α₂상이 소멸되면서 γ상계면에 쌍정인

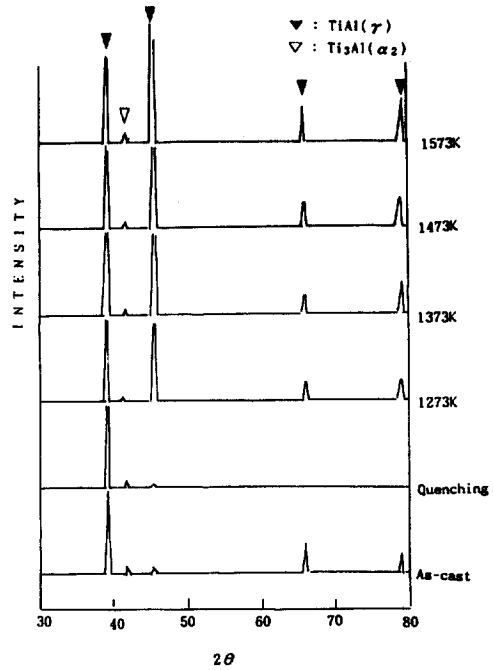


Fig. 3 X-ray diffraction patterns of Ti-48.1at% Al alloy.

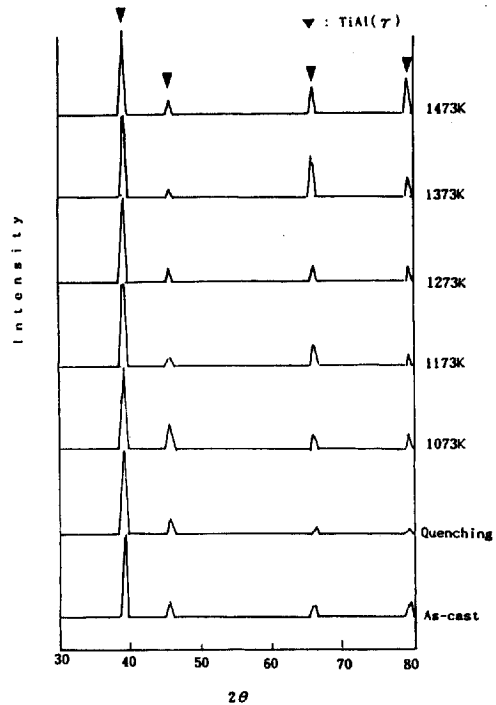


Fig. 4 X-ray diffraction patterns of Ti-48.3at% Al-1.22at% Mn alloy.

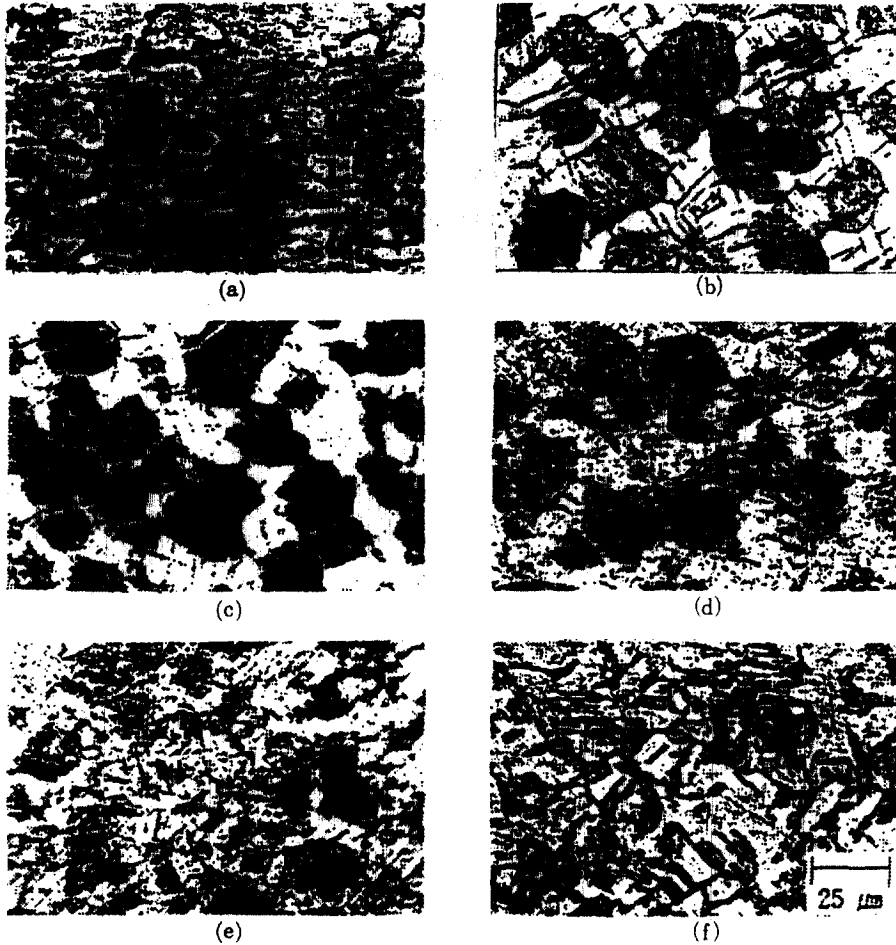


Photo. 1 Effect of heat treatment conditions on microstructure of Ti-48.1at%Al alloy.

(a) As-cast (b) Quenching (c) 1273K (d) 1373K (e) 1473K (f) 1573K

생기는데 Mn이 이들 계면에 편석되어 적층계면에
너지를 안정화시키고 계면에 있는 전위가 쌍정변형
발생원으로 작용해⁵⁾ α 상과 층상조직이 소멸되는
것으로 고려된다.

3. 2 강도시험

Fig. 5는 Mn을 첨가한 것과 첨가하지 않은 것을
 $\alpha+r$ 구역으로 냉각시킨 후 $\alpha+r$ 구역과 α_2+r 구역
에서 5시간동안 열처리한 것을 온도에 따른 기계
적 성질로 나타낸 것인데 용체화처리 후 수냉하였
을 때보다 열처리 후 강도가 낮아지고 있는데 이것
은 α_2 상이 제2상으로 입계에 무질서하게 나열되어

소성변형시 저항을 나타내어 단상조직보다는 층상
조직과 r 상으로 구성되는 2상조직에 의한 연성증
가 때문으로 고려된다. 또 1473°K까지 온도가 증
가함에 따라 감소하다가 1573°K에서는 다시 증가
하고 있는데 이것은 수냉시 편석된 Al이 열처리에
의해 재고용되어 강도에 영향을 미친 것으로 고려
된다. Mn을 첨가한 경우에는 첨가 안한 경우보다
월등히 낮은 강도값을 보이고 있는데 이것은 Al을
치환하여 r 상의 연화를 일으키는 Mn이 r 상의 소
성변형용력의 저하를 일으켜 강도의 감소를 가져온
것으로 고려된다. 즉 Mn첨가에 의해 쉽게 생성되
는 쌍정변형이 소성변형을 증가⁶⁾시키기 때문이다.

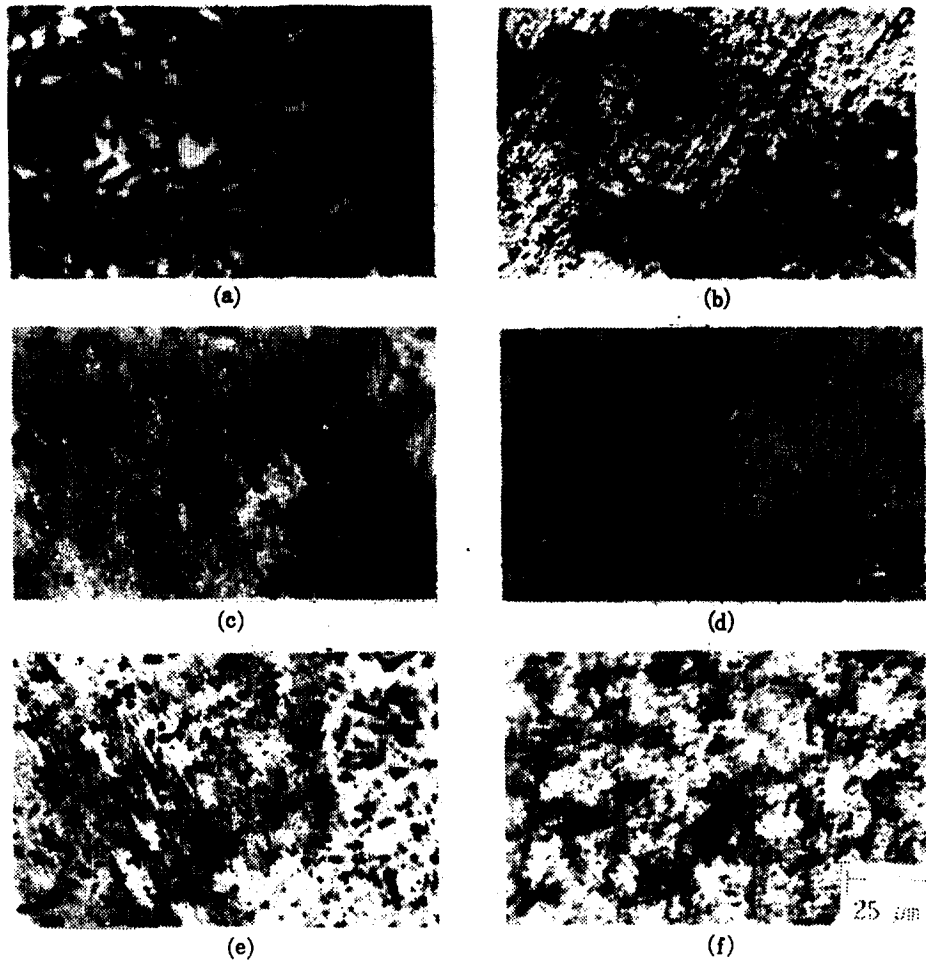


Photo. 2 Effect of heat treatment conditions on microstructure of Ti-48.3at%Al-1.22at%Mn alloy. (a) As-cast (b) Quenching (c) 1173K (d) 1273K (e) 1373K (f) 1473K

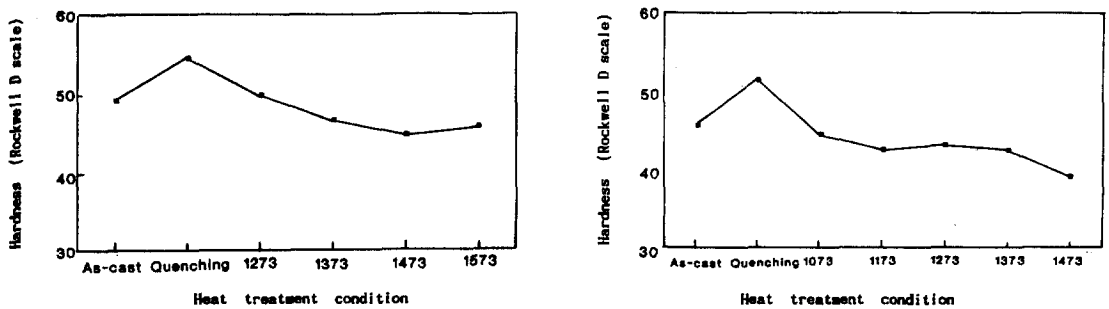


Fig. 5 Effect of heat treatment conditions on hardness test of Ti-48.1at%Al and Ti-48.3at%Al-1.22at%Mn alloys. (a) Ti-48.1at%Al (b) Ti-48.3at%Al-1.22at%Mn