

УДК 620.22

О. З. Умарова, А. А. Борисов, Д. С. Шарапкин

ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», г. Москва

toksyk@gmail.com

Научный руководитель – проф., д-р техн. наук *С. В. Скворцова*

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СПЛАВА НА ОСНОВЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИДА ТИТАНА Ti_2AlNb

АННОТАЦИЯ

В работе проведены исследования влияния режимов термической обработки на формирование структуры и свойства опытного образца плиты из жаропрочного сплава на основе интерметаллида титана Ti_2AlNb . Показано, что обработка по двухступенчатому режиму приводит к укрупнению структурных составляющих сплава, что позволяет получить высокие пластические свойства полуфабриката ($\delta = 8 \%$) при невысоком уровне прочности ($\sigma_B = 930$ МПа). Установлено, что низкотемпературная изотермическая выдержка позволяет повысить прочность сплава примерно на 100 МПа при сохранении пластических свойств на уровне 7 %.

Ключевые слова: температура нагрева, орторомбический алюминид титана

ABSTRACT

In this work we carried out the investigation on the effect of heat treatment modes on structure formation and properties of a pilot plate sample from high-temperature alloy based on Ti_2AlNb intermetallide. It was shown that a two-step heat treatment resulted in coarsening of structural constituents in the alloy, which allowed to obtain high plasticity of the semi-finished product ($\delta = 8 \%$) at not high strength level (UTS = 930 MPa). It was stated that a low-temperature isothermal holding allowed to increase strength level approximately by 100 MPa at retention of plasticity at the level of 7 %.

Keywords: heating temperature, orthorhombic titanium aluminide

Сплавы на основе орторомбического интерметаллида титана Ti_2AlNb (орто-сплавы) являются одними из наиболее перспективных жаропрочных материалов для изготовления деталей, работающих при температурах до 650°C, так как эти сплавы обладают высокими удельными прочностными характеристиками, высокой жаростойкостью и жаропрочностью и могут конкурировать с жаропрочными сталями [1]. По сравнению со сплавами на

основе других алюминидов титана (Ti_3Al и $TiAl$) орто-сплавы имеют более высокую технологическую пластичность, что позволяет изготавливать из них деформированные полуфабрикаты и изделия сложной формы [2; 3]. Достижение необходимого уровня прочностных и пластических характеристик полуфабрикатов возможно за счет формирования оптимального структурно-фазового состояния орто-сплавов, которое определяется технологическими параметрами горячей деформации и последующей термической обработки.

Целью данной работы является исследование влияния термической обработки на формирование структуры и свойства полуфабриката из сплава на основе орторомбического алюминида титана Ti_2AlNb .

Исследования проводили на образцах, вырезанных из плиты толщиной 40 мм из сплава ВТИ4 ($Ti-12Al-41,2Nb-0,89Mo-0,83V-1,27Zr-0,13Si$, масс. %). Плита была получена в АО ЧМЗ по опытно-промышленной технологии из слитка, выплавленного тройным вакуумно-дуговым переплавом с расходующим электродом, с последующей осадкой и ковкой в β - и ($\beta+O$)- областях [4; 5].

В исходном состоянии плита имеет хорошо проработанную структуру, состоящую из мелкодисперсной O -фазы в объеме зерен исходной β -фазы (рис. 1). Твердость плиты в исходном состоянии составила 37 ед. HRC.

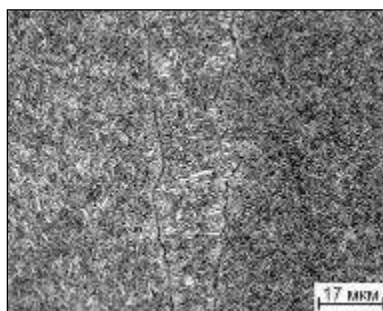


Рис. 1. Микроструктура плиты из сплава ВТИ4 в исходном горячекованом состоянии

Термическая обработка образцов осуществлялась по двухступенчатому режиму с промежуточным охлаждением в печи ($V_{\text{охл.}} = 0,1$ К/с). При выборе температур термической обработки полуфабриката использовались данные о положении фазовых областей в сплаве ВТИ4, полученные в работе методом пробных закалок [6]: температура нагрева на первой ступени обработки составила 980 °С, что соответствует трехфазной ($\beta+\alpha_2+O$)-области; температура нагрева на второй ступени соответствовала двухфазной ($\beta+O$)-области и составила 800 и 850 °С.

Установлено, что обработка по двухступенчатому режиму приводит к увеличению размера частиц O -фазы и снижению твердости до 33 ед. HRC

независимо от температуры изотермической выдержки (рис. 2; табл. 1).

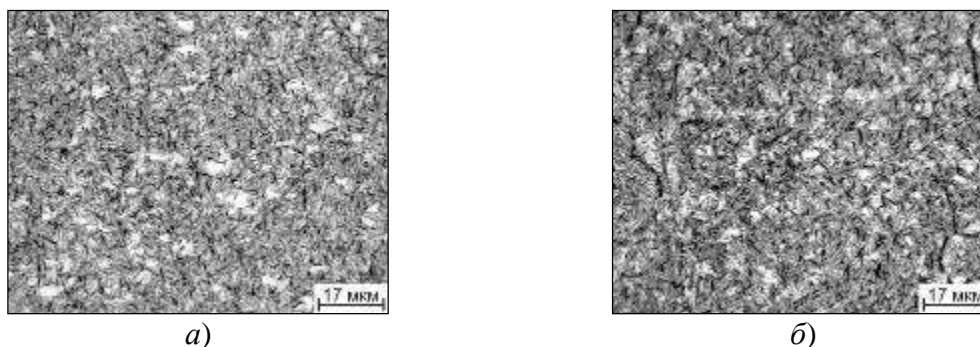


Рис. 2. Микроструктура плиты из сплава ВТИ4 после различных режимов термической обработки: а) 980 °С, 1 ч, охлаждение с печью до 850 °С, 6 ч, воздух; б) 980 °С, 1 ч, охлаждение с печью до 800 °С, 7 ч, воздух

Таблица 1

Твердость сплава ВТИ4 в исходном состоянии и после различных режимов термической обработки

Режим термической обработки	Твердость, ед. HRC
Исходное горячекованое состояние	37
980 °С, 1 ч, охлаждение с $V_{\text{охл}} = 0,1$ К/с (печь) до 850 °С, 6 ч, $V_{\text{охл}} = 10$ К/с (воздух)	33,5
980 °С, 1 ч, охлаждение с $V_{\text{охл}} = 0,1$ К/с (печь) до 800 °С, 7 ч, $V_{\text{охл}} = 10$ К/с (воздух)	33

Кратковременные механические испытания на растяжение проводили при нормальной температуре на образцах, подвергнутых двухступенчатому режиму термической обработки с низкотемпературным старением (800 °С) в течение 7 часов (табл. 2).

Таблица 2

Механические свойства сплава ВТИ4 после двухступенчатой термической обработки

Режим термической обработки	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %
980 °С, 1 ч, охлаждение с $V_{\text{охл}} = 0,1$ К/с (печь) до 800 °С, 7 ч, $V_{\text{охл}} = 10$ К/с (воздух)	930	750	8,0	8,0

Результаты испытаний показали, что при термической обработке по двухступенчатому режиму достигается высокий уровень пластических свойств полуфабриката из орто-сплава, однако уровень прочности невысокий – 930 МПа.

Так как структура плиты была хорошо проработана в процессековки, и твердость в горячекованом состоянии имеет достаточно высокое значение, была опробована длительная изотермическая выдержка при температуре (β +O)-области – 800 °С (табл. 3).

Установлено, что изотермическая выдержка при температуре 800 °С приводит к повышению прочности до 1010 МПа при сохранении пластичности на уровне 7 %.

Таблица 3

Механические свойства сплава ВТИ4 после изотермической обработки

Режим термической обработки	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %
800 °С, 12 ч, $V_{\text{охл}} = 10$ К/с (воздух)	1010	870	7,0	5,0

Таким образом, проведенные исследования показали, что в зависимости от температуры нагрева в сплаве на основе интерметаллида титана Ti_2AlNb можно достичь разного уровня прочности при сохранении пластичности на уровне 7–8 %.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках государственной поддержки кооперации российских высших учебных заведений, государственных научных учреждений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218, ГК № 02.G25.31.0104 на оборудовании ЦКП «АКМиТ» МАТИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кашапов О. С., Новак А. В., Ночовная Н. А., Павлова Т. В. Состояние, проблемы и перспективы создания жаропрочных титановых сплавов для деталей ГТД // Труды ВИАМ 2013. – № 3 (электронный журнал).
2. Nochovnaya N., Ivanov V., Alexeev E., Izotova A. Opportunities of increase of mechanical properties of the deformed semi-finished products from Ti–Al–Nb system alloys // Proc. of 12th World Conference on Titanium (June 19-24, 2011) (Beijing: CNCC: 2011). – Vol. 2. PP. 1383–1386.
3. Wang W., Zeng W., Xue C., Liang X., Zhang J. Microstructural evolution, creep, and tensile behavior of a Ti–22Al–25Nb (at%) orthorhombic alloy // Materials Science and Engineering A 603. 2014. – PP. 176–184.
4. Ночовная Н. А., Скворцова С. В., Анищук Д. С., Алексеев Е. Б., Панин П. В., Умарова О. З. Отработка технологии опытного жаропрочного сплава на основе интерметаллида Ti_2AlNb // Титан. – 2013. – № 4. С. 24–29.
5. Алексеев Е. Б., Ночовная Н. А., Скворцова С. В., Панин П. В., Умарова О. З. Определение технологических параметров деформации опытного жаропрочного сплава на основе интерметаллида Ti_2AlNb // Титан. – 2014. – №2. – С. 34–39.
6. Скворцова С. В., Умарова О. З., Грушин И. А., Агаркова Е. О., Анищук Д. С. Влияние температуры на фазовый состав и структуру интерметаллидного сплава ВТИ4 // Титан. – 2015. – № 2. – С. 11–15.