

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ДВУХФАЗНЫХ ($\gamma+\alpha_2$)–СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ ТИТАНА

И. Р. МУХАМАДЕЕВ¹, В. Р. МУХАМАДЕЕВ², О. Б. ДЕМЕНОК³

¹ muxamadeev-ilshat@yandex.ru, ² vener_muxamadeev@mail.ru, ³ dobor999@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Аннотация. В работе изучали микроструктуру и прочность сплава (Ti – основа; Al – 45,2; (Nb; Cr; V) – 3,5) в литом и термообработанном состоянии. Показано, что применение термообработки приводит к уменьшению среднего размера зерна колоний от 130 до 60 мкм и увеличению прочностных характеристик.

Ключевые слова: алюминид титана; микроструктура; интерметаллид; термообработка.

В настоящее время передовые авиа- и двигателестроительные корпорации (Boeing, Rolls-Royce) уделяют пристальное внимание новым литейным материалам для изготовления лопаток турбореактивных и турбовинтовых двигателей на основе интерметаллических соединений титана [1]. Прежде всего, это легкие интерметаллидные сплавы на основе фазы γ -TiAl и содержащие фазу α_2 -Ti₃Al (далее γ -TiAl-сплавы). При удельном весе 3,7–4 г/см³ потенциальные температуры эксплуатации этих сплавов составляют 600–900 °С. В данном интервале температур интерметаллиды обладают высокой жаропрочностью и жаростойкостью, а по удельной прочности и удельному модулю упругости превосходят все известные жаропрочные никелевые сплавы. Предполагается, что легкие γ -TiAl-сплавы частично заменят тяжелые ($\rho \approx 8,5$ г/см³) жаропрочные Ni-сплавы в газотурбинном двигателе, что позволит качественно увеличить соотношение тяга-масса летательного устройства и в целом повысить характеристики двигателя [2].

Ключевой проблемой освоения сплавов системы Ti-Al остаются их низкие технологические и литейные свойства. Если пористость можно убрать газостатированием, взаимодействие сплава и формы устранить за счет использования более инертных материалов, то для повышения технологиче-

ских свойств и сохранения, при этом, требуемой жаропрочности необходимо оптимизировать технологический процесс получения отливки и режимы ее термообработки. Особенно актуально достижение необходимой структуры в литых деталях из γ -TiAl-сплавов.

В данной статье приведены результаты работы, сделанной авторами, по исследованию влияния режимов высокотемпературного отжига на структуру и свойства сплавов на основе алюминидов титана следующего состава (атомные %): 1) Ti – основа; Al – 45,2; (Nb; Cr; V) – 3,5; 2) Ti – основа; Al – 43,5; (Nb; Mo; V) – 5,1 (рис. 1).

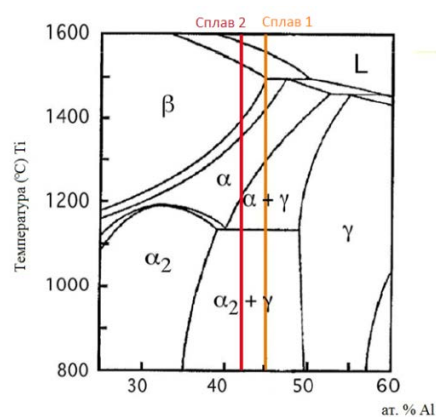


Рис. 1. Диаграмма состояния Ti-Al [3]

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Заготовка для исследования была получена литьем по выплавляемым моделям в

оболочковую форму. Из литой заготовки вырезали образцы, которые подвергали:

- 1) высокотемпературному отжигу в α -зоне с последующей закалкой в масле;
- 2) старению в $(\gamma+\alpha_2)$ -зоне.

Исследование микроструктуры выполнялось на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-6490 LV. Исследование прочностных характеристик проводили на разрывной машине Instron 5982.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Таблица 1

Результаты механических испытаний цилиндрических образцов при комнатной температуре (в таблице представлены средние значения по 5 испытаниям)

№	Схема обработки	$\sigma_{пр}$ МПа	$\sigma_{0,2}$ МПа	δ %
1	Сплав 1	Исходный	655	
2		После первой ступени термообработки	517	
3		После второй ступени термообработки	783	707
1	Сплав 2	Исходный	621	
2		После первой ступени термообработки	362	
3		После второй ступени термообработки	792	

Таблица 2

Результаты механических испытаний цилиндрических образцов при 800 °С

№	Схема обработки	$\sigma_{пр}$ МПа	$\sigma_{0,2}$ МПа	δ %	
1	Сплав 1	Исходный	684	522	0,7
2		После первой ступени термообработки	482		-
3		После второй ступени термообработки	728	693	4,1
1	Сплав 2	Исходный	606		
2		После первой ступени термообработки	683		-
3		После второй ступени термообработки	911		

На рис. 2 представлена микроструктура сплава №1 в исходном (литом) состоянии. Рассматриваемый сплав относится к двухфазным $(\gamma+\alpha_2)$ -сплавам. Почти полностью пластинчатая структура исходного образца состоит из колоний пластин γ/α_2 -фаз среднего размера 130 мкм. Двухступенчатая термообработка привела к мелкозернистой структуре, состоящей из равноосных γ -зерен размером 40–60 мкм (рис. 3).

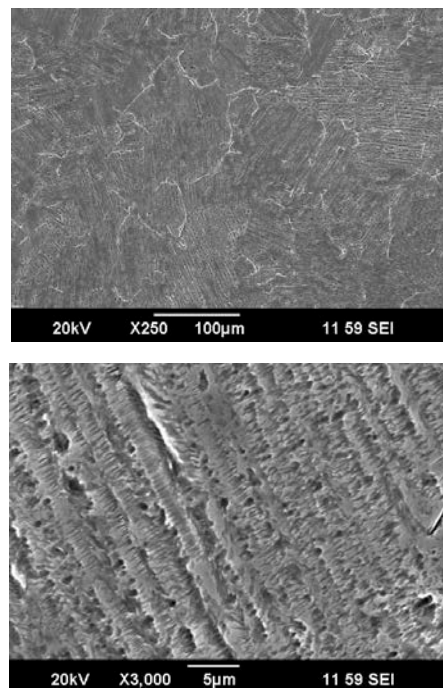


Рис. 2. Микроструктура Сплава 1 после литья

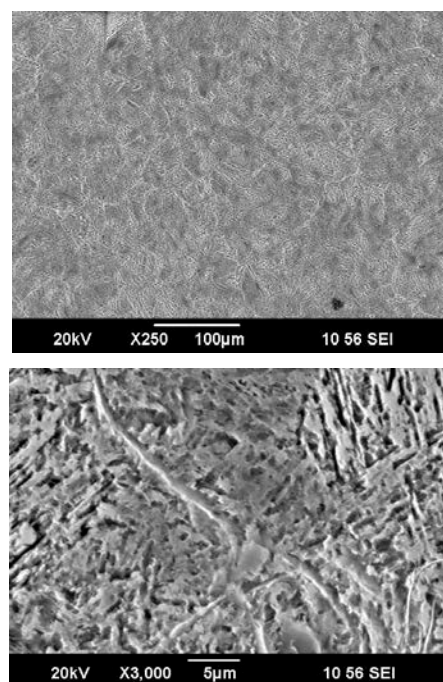


Рис. 3. Микроструктура Сплава 1 после второй ступени термообработки

Термическая обработка сплава №2 привела к увеличению прочности при высоких температурах, что обусловлено значительным ростом зерен (рис. 5).

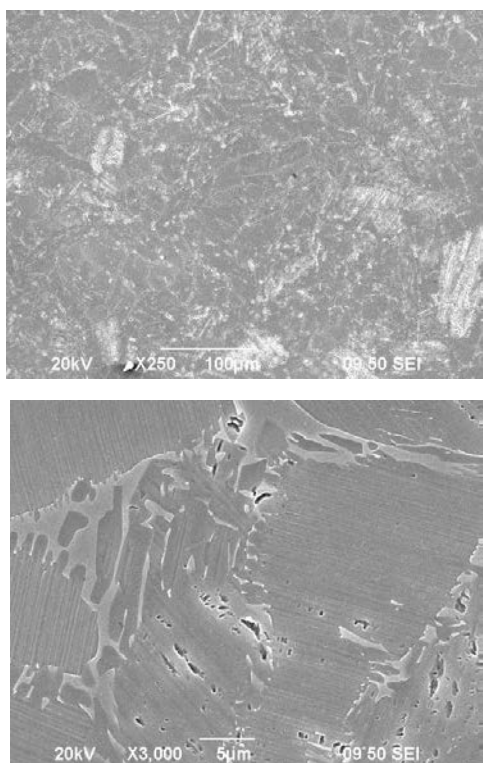


Рис. 4. Микроструктура Сплава 2 после литья

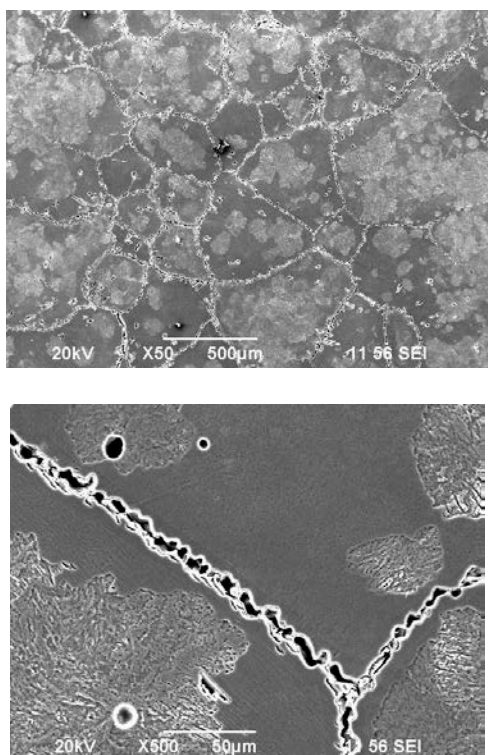


Рис. 5. Микроструктура образца после второй ступени термообработки

Выводы по работе:

Исследованием микроструктуры сплавов литого алюминиды титана установлено, что сплав в литом состоянии характеризуется однородной пластинчатой микроструктурой со средним размером зерен 130 мкм.

Применение ступенчатой термической обработки для сплава №1 позволяет уменьшить размер колоний до 40–60 мкм, что приводит к появлению пластичности как при повышенных, так и при комнатной температуре с сохранением прочностных характеристик, что и являлось основной задачей работы.

Для сплава №2 выбранные режимы термической обработки позволяют значительно увеличить жаропрочность, но основная задача (появление пластичности) не достигается. Вероятнее всего, это связано с тем, что для данного химического состава α -зона (рис. 1) начинается при более низких температурах, в связи с чем в процессе отжига наблюдается значительный рост зерна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колтыгин А. В., Белов В. Д., Петровский П. В., Павлович С. П., Аликин П. В. Использование компьютерного моделирования при разработке литниковых систем для изготовления отливок типа "лопатка" из сплавов на основе титана // Литейщик России, 2011 г. №12, ст. 22-24. [A.V. Koltigin, V.D. Belov, P.V. Petrovsiy, S.P. Pavlinich, P.V. Alikin, Use of computer simulation in the development of gating systems for the manufacture of castings such as "blade" of titanium // Russian Foundrymen, no. 12, 2011]
2. Оленёва Т. И., Имаев В. М., Имаев Р. М., Микроструктура и механические свойства интерметаллидного γ -TiAl-сплава // Литейное производство, 2011 г. №12, ст. 31-34 [Т.И. Olenyova, V. M. Imayev, R. M. Imayev. Microstructure and Mechanical Properties of Intermetallide γ -TiAl alloy // Foundry engineering, no/ 12, 2011]
3. F. Appel. Gamma Titanium Aluminide Alloys: Alloy Design and Properties Institute for Materials Research GKSS Research Centre Geesthacht D-21502 Geesthacht, Germany Berlin Oct.6, 2005

ОБ АВТОРАХ

МУХАМАДЕЕВ Ильшат Рифкатович, ст. препод. каф. СЛАТ.

МУХАМАДЕЕВ Венер Рифкатович, ст. препод. каф. ОКМиМ.

ДЕМЕНОК Олег Борисович, к.т.н., доцент каф. СЛАТ

METADATA

Title: Effect of thermal treatment modes on the structure and properties of two-phase melts based on titanium intermetallides

Authors: I. R. Mukhamadeev ¹, V. R. Mukhamadeev ²,
O. B. Demenok ³

Affiliation:

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹ muxamadeev-ilshat@yandex.ru

² vener_muxamadeev@mail.ru, ³ dobor999@mail.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 2 (21), pp. 88-91, 2019. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: We studied the microstructure and strength of the alloy (Ti - base; Al - 45.2; (Nb; Cr; B) - 3.5) in the cast and heat-treated state. It is shown that the use of heat treatment leads to a decrease in the average grain size of the colonies from 130 μm to 60 μm and an increase in the strength characteristics.

Key words: titanium aluminide, microstructure, intermetallic, heat treatment.

About authors:

MUKHAMADEEV, Ilshat Rifkatovich., professor, Ufa state aviation technical University

MUKHAMADEEV, Vener Rifkatovich., professor, Ufa state aviation technical University

DEMENOK, Oleg Borisovich., candidate of technical Sciences, professor, Ufa state aviation technical University