

## ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА ЛИТОГО АЛЮМИНИДА ТИТАНА

И. Р. Мухамадеев, С. П. Павлинич, О.Б. Деменок

*В работе изучали микроструктуру и микротвердость сплава Ti – 51,3; Al – 45,2; Nb – 1,5; Cr – 1,8; В – 0,2 в литом и термообработанном состоянии. Показано, что применение термообработки приводит к уменьшению среднего размера зерна колоний от 130 мкм до 60 мкм.*

*Ключевые слова: алюминид титана, микроструктура, интерметаллид.*

### Введение

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  $\gamma$ -TiAl и содержащие фазу  $\alpha_2$ -Ti<sub>3</sub>Al (далее  $\gamma$ -TiAl-сплавы). При удельном весе 3,7-4 г/см<sup>3</sup> потенциальные температуры эксплуатации этих сплавов составляют 600-900°C. 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  $\gamma$ -TiAl-сплавы частично заменят тяжелые ( $\rho \approx 8,5$  г/см<sup>3</sup>) 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  $\gamma$ -TiAl-сплавов остаются их низкие технологические свойства, прежде всего, низкая пластичность/вязкость разрушения в широком интервале температур и недостаточная механообрабатываемость.

Для повышения технологических свойств и сохранения, при этом, требуемой жаропрочности необходимо оптимизировать технологический процесс получения заготовки и режимы термообработки. Особенно актуально достижение необходимой структуры в объемных слитках из  $\gamma$ -TiAl-сплавов, поскольку изготовление изделий литьём – метод наименее затратный.

В данной статье приведены результаты работы, проделанной авторами, по исследо-

ванию влияния термической обработки на структуру и микротвердость литого алюминид-титана следующего состава: Ti – 51,3; Al – 45,2; Nb – 1,5; Cr – 1,8; В – 0,2 (атомных %).

### Материалы и методика

Заготовка для исследования была получена литьём в многослойную оболочковую форму. Из литой заготовки вырезали образцы, которые подвергали термической обработке состоящей из трёх последовательных этапов:

- 1) отжиг в  $\alpha$ -области с последующей закалкой в масле;
- 2) длительный отжиг в ( $\gamma + \alpha_2$ )-области;
- 3) отжиг в  $\alpha$ -области с охлаждением на воздухе.

Исследование микроструктуры выполнялось на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-6490 LV. Микротвердость определялась на микротвердомере DuraScan 80.

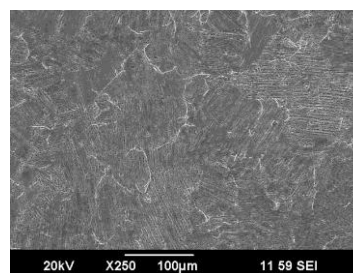


Рисунок 1 - Структура литого образца

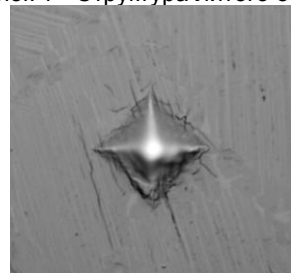
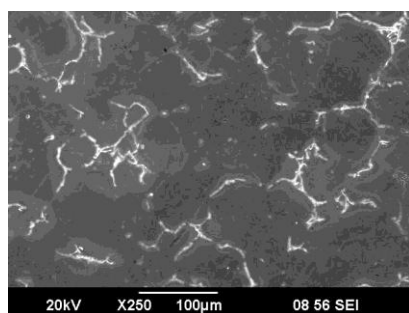
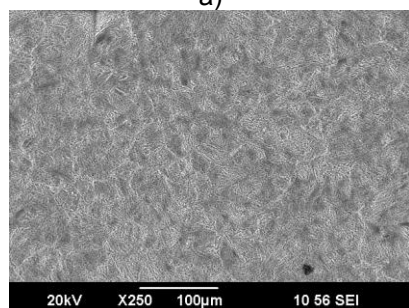


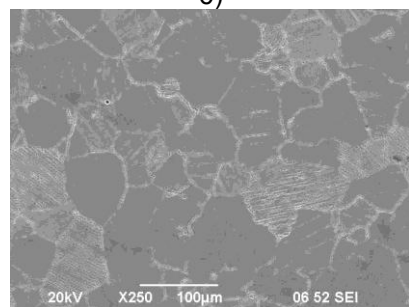
Рисунок 2 - Исследование микротвердости исходного образца



а)



б)



в)

Рисунок 3 - Структура образца после термической обработки:

а) после закалки; б) после отжига в  $(\gamma+\alpha_2)$ -области; г) после высокотемпературного отжига.

### Влияние термической обработки на микроструктуру

На рис. 1 представлена микроструктура сплава Ti – 51,3; Al – 45,2; Nb – 1,5; Cr – 1,8; В – 0,2 (атомных %) в исходном (литом) состоянии. Рассматриваемый сплав относится к двухфазным  $(\gamma+\alpha_2)$ -сплавам [3]. Почти полностью пластинчатая структура исходного образца состоит из колоний пластин  $\gamma/\alpha_2$ -фаз среднего размера 130 мкм (рис. 1). При определении микротвердости в области отпечатка, даже при малых нагрузках, наблюдалось растрескивание образца, что свидетельствует о низких пластических свойствах (рис. 2).

Структура закаленных образцов была представлена зернами  $\alpha$ -фазы и небольшим

количеством упорядоченных  $\alpha_2$ -доменов (рис. 3, а). Исследование показало значительное увеличение микротвердости по сравнению с исходным литым образцом (рис.4). Однако при этом увеличивается неоднородность по площади шлифа, о чем свидетельствует увеличение среднеквадратического отклонения микротвердости: в исходном состоянии – 8,4 HV, в закаленном – 32,8 HV.

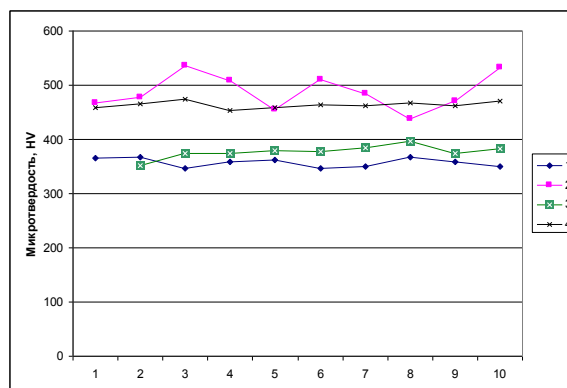


Рисунок 4 - Микротвердость образца  $\gamma$ -алюминиды титана:

1 – исходного; 2 – поле закалки; 3 – после отжига; 4 – после высокотемпературного отжига.

Последующий отжиг в  $(\gamma+\alpha_2)$ -области привел к мелкозернистой структуре, состоящей из равноосных  $\gamma$ -зерен размером 10–20 мкм (рис. 3, б), при этом снизилось значение микротвердости практически до величин исходного литого образца (рис. 4).

После заключительного высокотемпературного отжига сформировалась бимодальная структура с размером зерен 40–60 мкм (рис. 3, в). Микротвердость образца после всего цикла термической обработки превышала микротвердость образца в исходном состоянии в среднем на 107 HV (рис. 4). При этом среднеквадратичное отклонение результатов измерений составило 6,8 HV, что свидетельствует о равномерности распределения свойств. На всех отпечатках алмазной пирамиды, даже при максимально возможных нагрузках используемого оборудования, растрескиваний не наблюдалось, что свидетельствует о повышении пластических свойств термообработанного образца.

### Выводы

– Исследованием микроструктуры и микротвердости литого алюминиды титана (Ti–51,3; Al–45,2; Nb–1,5; Cr–1,8). установлено, что сплав в литом состоянии характеризуется

однородной микроструктурой со средним размером колоний 130 мкм.

– Применение ступенчатой термической обработки, позволяет уменьшить размер колоний до 40-60 мкм и увеличить пластические свойства.

– Проведение исследований по термовременной обработке позволило разработать технологические режимы термообработки литого интерметаллида титана.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колтыгин А.В., Белов В.Д., Петровский П.В., Павличич 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.

2. Оленёва Т.И., Имаев В.М., Имаев Р.М., Микроструктура и механические свойства интер-

металлидного  $\gamma$ -TiAl-сплава // Литейное производство, 2011 г. №12, ст. 31-34.

3. Ильин А.А., Колачев Б.А., Польшкин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. Справочник. – М.: ВИЛС – МАТИ, 2009. -520 с.

**Мухамадеев И.Р.**, аспирант каф. МуТЛП,  
e-mail: [muxamadееv-ilshat@yandex.ru](mailto:muxamadееv-ilshat@yandex.ru).

**Павличич С. П.**, д.т.н., проф. каф. МуТЛП, технический директор ОАО УМПО,  
e-mail: [mitlp@ugatu.ac.ru](mailto:mitlp@ugatu.ac.ru).

**Деменов О. Б.**, к.т.н., доц. каф. МуТЛП,  
e-mail: [mitlp@ugatu.ac.ru](mailto:mitlp@ugatu.ac.ru),  
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа