

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Булахтиной Марины Анатольевны «Особенности структурных изменений в литейных сплавах на основе  $Ni_3Al$  при термической обработке, постоянных и циклических нагружениях при высоких температурах» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 (05.16.01) – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Потребность в повышении рабочих температур ответственных деталей авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) определяет актуальность данной работы, нацеленной на развитие физико-химических принципов легирования, уточнение режимов плавки, кристаллизации и термической обработки монокристаллических жаропрочных интерметаллидных сплавов на основе  $Ni_3Al$ . В качестве материалов исследования были взяты два интерметаллидных сплава – ВКНА-1В и ВКНА-25, уже применяемые в качестве конструкционных материалов в ГТД для изготовления лопаток и элементов сопла. Работа была посвящена выявлению фундаментальных соотношений между, с одной стороны, структурой, ее термостабильностью, распределением легирующих элементов и, с другой стороны, механическими свойствами и характером разрушения сплавов ВКНА-1В и ВКНА-25 при различных видах нагружения. Исходя из сказанного, актуальность диссертационной работы не вызывает сомнений.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и списка литературы из 113 наименований. Объем диссертации составляет 127 страниц.

Во введении отражена актуальность исследований, приведены цель работы и решаемые в ней задачи.

В первой главе диссертации проанализирована литература по сплавам на основе  $Ni_3Al$ . Рассмотрены существующие двойные и тройные диаграммы состояния, являющиеся базовыми для разработки сплавов типа ВКНА, рассмотрены вопросы кристаллизации, легирования, формирования различных структурно-фазовых состояний в этих сплавах.

Во второй главе рассмотрены материалы и использованные методики. Обращает на себя внимание разнообразие использованных методик при изучении механических свойств. В частности, были выполнены испытания на малоцикловую усталость, в том числе, в условиях термоциклирования.

Третья глава была посвящена изучению влияния способа выплавки (одновременного или поэтапного введения в шихту легирующих элементов), режимов направленной кристаллизации и термической обработки на структуру и механические свойства монокристаллических сплавов ВКНА-1А и ВКНА-25.

В четвертой главе представлены результаты исследований влияния кратковременных и длительных статических и циклических нагружений при постоянных температурах, а также циклических нагружений в условиях термоциклирования на структуру и характер разрушения монокристаллических сплавов ВКНА-1В и ВКНА-25.

В пятой главе отражены данные о практическом использовании некоторых результатов структурных исследований для достижения высоких характеристик жаропрочности в сплавах ВКНА-1В и ВКНА-25. В частности, были уточнены режимы кратковременной термической обработки сплавов, что позволило повысить долговечность литых изделий из этих сплавов. На этой основе был получен патент РФ на изобретение.

К числу важнейших результатов, полученных автором в рамках представленной работы, можно отнести следующее:

- был разработан способ постадийного введения элементов в шихту в зависимости от их реакционной способности при вакуумной индукционной плавке, что позволило предотвратить образование вредных крупных частиц ТПУ фаз;

- было показано влияние скорости охлаждения при направленной кристаллизации на размеры структурных составляющих;

- были уточнены режимы термической обработки сплавов;

- интересные результаты были получены по структурно-фазовым изменениям и характеру разрушения образцов сплавов при разных видах механических испытаний.

Таким образом, диссертационная работа обладает вполне весомой научной и практической значимостью. Достоверность полученных результатов обусловлена использованием разнообразных, современных и взаимодополняющих методов исследования структуры и механических свойств сплавов. Кроме того, полученные экспериментальные результаты хорошо согласуются с литературными данными, ранее полученными для сплавов типа ВКНА.

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 2.6.1 (05.16.01) – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

По тексту автореферата можно отметить некоторые недостатки:

1. Из текста следует, что влияние разной температуры при ТО1 на длительную прочность изучали для обоих сплавов. Однако влияние температуры при ТО1 на длительную прочность приведено только для ВКНА-1В (Рис. 6). Кроме того, на рис. 6 не показана температура и нагрузка, а также кристаллографическая ориентация, при которых проводились испытания.

2. Для рисунков 10-14 и таблиц 4 и 5 не совсем понятно, после какой термической обработки проводились испытания. По-видимому, испытания проводились после кратковременной термической обработки при 1150°C (ТО1). Это следовало отразить в подписях к рисункам и таблицам.

3. В выводе 1 отсутствует содержательная составляющая. Вывод не может быть просто констатацией того, что исследовано влияние чего-то на что-то. Вывод 1 мог бы быть частью более полного вывода.

4. Термин «долговечность» вместо хорошо апробированного термина «длительная прочность» немного вводит в заблуждение и его использование в данной работе представляется ненужным.



Сделанные замечания не снижают ценности представленной работы, которая выполнена на высоком научном уровне и вносит заметный вклад в развитие фундаментальных представлений о формировании структуры и механическом поведении монокристаллических интерметаллидных сплавов на основе Ni<sub>3</sub>Al, предназначенных для использования при температурах до 1100-1200°С.

По разработанным научным положениям, объему выполненного исследования, научной новизне и практической значимости полученных результатов и выводов, диссертационная работа полностью соответствует всем требованиям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Булахтина Марина Анатольевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 (05.16.01) – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Доктор технических наук, главный научный сотрудник,  
лаборатории 07 «Материаловедение труднодеформируемых сплавов»  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института проблем сверхпластичности металлов  
Российской академии наук (ИПСМ РАН)

В.М. Имаев

Дата: 05.05.2022

Подпись В.М. Имаева заверяю.

Начальник отдела кадров:

Соседкина Т.П.

Адрес ИПСМ РАН: 450001, г. Уфа, ул. Халтурина, д. 39

Адрес электронной почты: [imsp@imsp.ru](mailto:imsp@imsp.ru)

Телефон: +7-347-223-64-07

