

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Желниной Анны Владимировны «Влияние содержания углерода в титановом сплаве Ti-10V-2Fe-3Al на структурно-фазовое состояние и механические свойства, формируемые при термическом воздействии», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov i spлавov.

*Актуальность диссертационной темы.* Вопросы, связанные с воздействием углерода, кислорода и азота на структуру и механические свойства сплавов титана находятся в зоне особого внимания материаловедов с самого начала освоения производства титана и его сплавов. Это связано с тем, что влияние данных элементов на свойства титана весьма существенное, поэтому их содержание в сплавах ограничено сотыми долями массового процента. Больше содержание может приводить к хрупкости и разрушению при деформировании. Диссертационная работа Желниной Анны Владимировны посвящена исследованию структурно-фазового состояния, механических свойств титанового сплава Ti-10V-2Fe-3Al в зависимости от содержания углерода и термической обработки. Сплав Ti-10V-2Fe-3Al широко используется в авиастроении (в конструкции шасси). Поскольку концентрация углерода определяет физические и физико-химические свойства титановых сплавов, то важно изучать влияние его содержания в сплаве Ti-10V-2Fe-3Al в области концентраций, допустимых современными спецификациями (стандартами) для промышленных полуфабрикатов. В связи с этим актуальность диссертационной работы Желниной Анны Владимировны сомнений не вызывает.

*Структура и основное содержание диссертационной работы.* Диссертация Желниной А.В. состоит из введения, четырех глав, заключения с общими выводами, списка литературы из 108 источников и общий объем работы составляет 146 страниц.

*Во введении* рассмотрена актуальность выбранной темы диссертационной работы, сформулирована цель и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту, апробация полученных результатов и отмечен личный вклад автора.

*Первая глава* представляет собой обзор литературных источников по теме работы, в котором вначале рассмотрена общая классификация титановых сплавов, фазовые, структурные превращения и комплекс механических свойств сплава Ti-10V-2Fe-3Al. Далее проанализировано влияние углерода на структуру и механические свойства высокопрочных титановых сплавов.

*Вторая глава* содержит описание материалов исследования, в качестве которых использовали горячекатаные прутки из сплава Ti-10V-2Fe-3Al с содержанием углерода в диапазоне 0,008 ÷ 0,063 масс. %. Так же приведены режимы термических обработок и используемые в работе методики структурного, термического анализа, испытаний механических свойств.

*Третья глава* включает данные по влиянию содержания углерода на структурно-фазовое состояние и механические свойства сплава Ti-10V-2Fe-3Al после закалки и старения. Определено влияние углерода на температуру полиморфного превращения сплава при нагреве двумя методами (дифференциально-сканирующая калориметрия, метод пробных закалок). Установленное изменение температуры полиморфного превращения сплава в зависимости от содержания углерода имеет важное значение для производства, поскольку на практике она используется для разработки технологических маршрутов изготовления полуфабрикатов с заданным комплексом свойств в сплаве. Автором установлен уровень содержания углерода (0,053 масс. %) выше которого в структуре сплава Ti-10V-2Fe-3Al образуются частицы карбида титана. Карбиды титана в сплаве с 0,063 масс. % углерода практически не влияют на механические свойства. Можно лишь отметить, что при содержании углерода в сплаве 0,034 масс. % наблюдается существенный рост прочности после старения (таблица 3.2) в результате повышения дисперсности выделений вторичной  $\alpha_B$  - фазы. В структуре сплава с содержанием 0,063 масс. % углерода дисперсность вторичной  $\alpha_B$  - фазы уменьшается, что приводит к снижению прочности сплава в сравнении со сплавом, содержащим 0,034 масс. % углерода.

*Четвертая глава* посвящена рассмотрению эволюции структуры, фазового состава и свойств титанового сплава Ti-10V-2Fe-3Al в зависимости от скорости нагрева до температуры старения и длительности выдержки при 500 °С. Установлено влияние углерода на особенности образования вторых фаз при нагреве сплава до температуры старения и дальнейшую эволюцию  $\alpha_B$  - фазы в зависимости от выдержки. Приведены результаты исследований параметров кристаллических решеток структурных составляющих сплава при старении. Для этого автор провел детальный анализ рентгеновских дифрактограмм методом полнопрофильного анализа. Представлены новые данные влияния перераспределения легирующих элементов (алюминия, ванадия, железа) в ходе старения на параметры кристаллических решеток  $\beta$  -,  $\alpha_{II}$  -,  $\alpha_B$  - фаз. Данные экспериментальные результаты согласуются с выполненными автором теоретическими расчетами, основанными на аддитивном влиянии легирующих элементов на периоды кристаллических решеток фаз (таблица 4.2).

Размер областей когерентного рассеяния фаз, формирующихся при старении (от 5 до 60 нм), определенный методом полнопрофильного рентгеноструктурного анализа оказался более эффективным способом оценки дисперсности фаз в сравнении с методами, использующими растровую электронную микроскопию. Важным достижением, полученным Желниной Анной Владимировной и приведенным в этой главе, является определение вклада дисперсионного и твердорастворного упрочнения сплава в процессе старения, которые составили 82 и 18 %, соответственно (стр.112 – 115).

*Заключение* по работе содержит общие выводы по результатам диссертации.

*Теоретическая значимость работы* заключается в том, что она вносит существенный вклад в установление закономерностей изменения структуры высокопрочных сплавов титана при варьировании содержания углерода и старении.

Результаты численных расчетов, основанных на известных представлениях о влиянии легирующих элементов на периоды кристаллической решетки титана и эффекте дисперсионного эффекта упрочнения согласуются с экспериментальными результатами, полученными в диссертационной работе, это доказывает, что развиваемые теоретические подходы в целом правильно описывают основные закономерности исследуемых процессов.

*Практическая значимость работы* определяется тем, что результаты исследований легли в основу рекомендаций, связанных как с оперативным контролем структуры высокопрочных титановых сплавов с использованием метода полнопрофильного анализа дифрактограмм, так и с корректировкой содержания углерода в химическом составе высокопрочного сплава титана Ti-10V-2Fe-3Al в условиях промышленного производства.

*Достоверность и обоснованность положений и выводов диссертационной работы* сомнений не вызывает, так как они получены на основе большого экспериментального материала и с помощью использования современных методов исследования структуры, фазового состава и свойств и выполнены на современном аттестованном оборудовании.

Содержание автореферата Желниной Анны Владимировны соответствует содержанию диссертации.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на международных научно-технических конференциях, опубликованы 7 научных работ в рецензируемых научных журналах, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, индексируемых в базах данных Scopus и WoS, а также 3 статьи в сборниках трудов российских и международных конференций. Опубликованные работы полностью отражают структуру и содержание диссертации, вместе с тем по работе можно сделать замечания и поставить вопросы.

#### *Замечания по диссертационной работе.*

1. Максимальная растворимость углерода в исследуемом титановом сплаве, полученная теоретическими расчетами, составляет 0,053 масс. % при температуре 800 °С, однако следует полагать, что при длительном старении 500 °С до 32 часов понижается растворимость углерода, что неизбежно должно приводить к формированию карбидов титана.

2. Работа посвящена термическому упрочнению высокопрочного двухфазного титанового сплава переходного класса, при этом, если получены новые знания о структурообразовании, то почему в заключении нет каких-либо рекомендаций в этом направлении?

3. В заключении п.6 рекомендовано содержание углерода 0,03 – 0,04 масс. % достаточно ли у диссертанта теоретических и экспериментальных оснований, чтобы уверенно определить данный интервал?

4. В диссертации масштабную линейку на рисунках с трудом, но можно прочитать, а в автореферате такой возможности нет.

Сделанные замечания носят дискуссионный характер и не снижают общую высокую научную ценность и практическую значимость данной работы.

*Заключение.*

Представленная диссертационная работа Желниной Анна Владимировны выполнена на высоком методическом, научно-техническом уровне, является законченной научно-квалификационной работой, обладает внутренним единством и научной новизной. В работе изложены научно обоснованные методические и технологические решения по комплексному изучению фазовых и структурных превращений, происходящих в процессе термического воздействия и определению рационального содержания углерода в сплаве Ti-10V-2Fe-3Al, обеспечивающего получение наиболее высокого комплекса механических свойств.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа «Влияние содержания углерода в титановом сплаве Ti-10V-2Fe-3Al на структурно-фазовое состояние и механические свойства, формируемые при термическом воздействии» в полной мере соответствует специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки), отвечает требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ.

Автор диссертационной работы Желнина Анна Владимировна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

**Официальный оппонент:**

доктор технических наук, профессор  
профессор кафедры «Технологические  
машины и технологии машиностроения»

Подпись Потехина Б.А. заверяю

Ведущий  
документовед

«07»

07

2022г.

А.В. Кошкин  
(ФИО)

**ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ**

Потехина Б.А.

Специалист по кадрам  
Кадрово-правового управления

Кервешинская С.И.

Потехин Борис Алексеевич

27 апреля 2022г.

620100, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 37  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный лесотехнический университет»  
e-mail: pba-nn@yandex.ru  
телефон: 89126735037