

## Отзыв

официального оппонента доктора технических наук, доцента, профессора кафедры «Материаловедение и нанотехнологии» ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» **Жеребцова Сергея Валерьевича** 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. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

### Актуальность темы диссертации

Титановые сплавы находят широкое применение в различных отраслях промышленности благодаря сочетанию высокой удельной прочности, хорошей жаропрочности, коррозионной стойкости и биосовместимости. Сплав переходного класса Ti-10V-2Fe-3Al - один из первых высокопрочных сплавов титана на основе  $\beta$  - твёрдого раствора используемых с конца прошлого века для изготовления крупногабаритных штамповок шасси самолетов. Сплавы этой группы имеют большое многообразие возможных структурных состояний, контролируемых параметрами деформации и режимами термической обработки. Отмечается также высокая чувствительность к вариации химического состава даже в пределах марки сплава. При этом, как вынужденное повышение содержания примесных элементов (кислорода, углерода, азота) в сплавах при использовании отходов в шихтовых материалах для снижения себестоимости, так и контролируемое легирование элементами внедрения для улучшения эксплуатационных характеристик требует глубокого понимания связи состава, структуры и свойств. Поэтому актуальность диссертационной работы Желниной Анны Владимировны, посвященной установлению влияния содержания углерода на структурно-фазовое состояние и механические свойства титанового сплава Ti-10V-2Fe-3Al, подвергнутого различным видам термического воздействия, не вызывает сомнений.

## Структура и основное содержание работы.

Диссертационная работа Желниной А.В. изложена на 146 страницах, содержит 76 рисунков, 10 таблиц, 22 формулы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы из 108 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы цели и задачи работы, а также положения, выносимые на защиту. Излагается мнение автора о научной новизне и практическом значении полученных результатов.

В первой главе автор приводит общие сведения о титановых сплавах и их классификации. Обсуждаются механические свойства, фазовые и структурные превращения в сплаве Ti-10V-2Fe-3Al. Проанализированы закономерности перераспределения легирующих элементов между фазами в сплавах титана при термической обработке. Дан обзор фундаментальных исследований влияния углерода на структуру и механические свойства высокопрочных титановых сплавов. Рассмотрены возможности метода полнопрофильного рентгеноструктурного фазового анализа, используемого в работе для установления особенностей структурно-фазовых превращений в сплаве Ti-10V-2Fe-3Al. Сформулирована цель работы и поставлены задачи исследования.

Во второй главе изложено описание исследуемого материала, схем термических обработок, методик исследований и используемое при выполнении исследований оборудование.

В третьей главе приводятся результаты содержания углерода в сплаве Ti-10V-2Fe-3Al на структуру, фазовый состав и механические свойства в закаленном и состаренном состоянии. Установлено, что предел максимальной растворимости углерода в  $\beta$  - твердом растворе исследуемого сплава Ti-10V-2Fe-3Al составляет около 0,053 масс. %. Выявлено влияние содержания углерода на дисперсности вторичных выделений альфа фазы и прочность сплава. На основании полученных данных рекомендовано легирование сплава Ti-10V-2Fe-3Al углеродом в диапазоне 0,03 ÷ 0,04 масс. %, что позволяет

получить сбалансированный комплекс прочностных и пластических характеристик.

В четвертой главе представлены результаты исследования эволюции структурно-фазового состояния и свойств закаленного титанового сплава Ti-10V-2Fe-3Al с разным содержанием углерода в ходе нагрева и старения. С использованием полнопрофильного анализа дифрактограмм показано изменение параметров кристаллических решеток  $\beta$  -,  $\alpha_{II}$  -,  $\alpha_{IV}$  - фаз при старении за счет перераспределения легирующих элементов (алюминия, ванадия, железа). Обнаружено, что уменьшение скорости непрерывного нагрева смещает  $\beta \rightarrow \alpha_{IV}$  ( $\alpha''$ ) - превращение в область более низких температур, приводя к формированию более дисперсных выделений вторичных  $\alpha_{IV}$  ( $\alpha''$ ) - фаз и обеспечивая более высокий уровень твердости в сплаве.

Результаты диссертационной работы используются ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА» при корректировке химических составов высокопрочных сплавов на основе титана.

Заключение содержит основные выводы диссертационного исследования.

Приложение содержит справку об использовании результатов работы.

**Достоверность и обоснованность положений и выводов диссертации** обеспечивается использованием современных методов исследования и оборудования. Воспроизводимость экспериментальных результатов подтверждается достаточно большим массивом данных. Научные положения, выносимые на защиту и выводы, сформулированные в работе, обоснованы физически адекватной интерпретацией экспериментальных данных, качественным совпадением авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по аналогичной тематике. Основные результаты прошли апробацию на научных конференциях российского и международного уровня, опубликованы в журналах из перечня ВАК и БД Scopus, WoS. Надежность полученных результатов, а также обоснованность научных положений и сделанных выводов не вызывает сомнений.

## Научная новизна

В качестве наиболее важных научных результатов работы, определяющих ее новизну, необходимо отметить следующие:

1. Определено, что предел максимальной растворимости углерода в  $\beta$  - твердом растворе сплаве Ti-10V-2Fe-3Al составляет 0,053 масс. %. При повышении содержания углерода в сплаве до предела его максимальной растворимости наблюдается рост прочности состаренного сплава за счёт увеличения дисперсности пластин вторичной  $\alpha_B$  - фазы.

2. Выявлено, что повышение содержания углерода в метастабильном  $\beta$  - твердом растворе сплава и снижение скорости нагрева до температуры старения приводит к понижению температурного интервала выделения вторичных  $\alpha_B$  ( $\alpha''$ ) - фаз, увеличению её дисперсности и росту прочностных свойств.

3. Показано, что с увеличением длительности старения закаленного сплава Ti-10V-2Fe-3Al наблюдается рост объёма элементарной ячейки вторичной  $\alpha_B$  - фазы за счет перераспределения легирующих элементов (алюминия, ванадия, железа) между  $\beta$  -,  $\alpha_{II}$  -,  $\alpha_B$  - фазами.

Результаты работы, определяющие ее новизну, в полном объеме отражены в выводах диссертации и не вызывают сомнений.

## Практическая значимость

Теоретическая значимость полученных в представленном исследовании результатов заключается в расширении знаний о влиянии углерода в диапазоне 0,008 ÷ 0,063 масс. % и параметров упрочняющей термической обработки на эволюцию структурно-фазового состояния сплава Ti-10V-2Fe-3Al. Выявленные в работе закономерности, характеризующие влияние термической обработки и содержания углерода на изменение зеренной структуры, комплекс механических свойств, демонстрируют новые возможности для оптимизации химического состава и режимов термической обработки. Установленные закономерности были подтверждены при изготовлении трех плавок прутков из сплава Ti-10V-2Fe-3Al в

промышленных условиях на предприятии ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА».

Практическую ценность представляет возможность использования методики полнопрофильного анализа рентгеновского спектра на дифрактограммах для оценки фазового состава, дисперсности вторичных  $\alpha''$  ( $\alpha''$ ) - фаз, эволюции параметров кристаллической решетки фаз в процессе термического воздействия в высокопрочных сплавах титана.

Содержание автореферата Желниной А.В. соответствует содержанию диссертации и опубликованных работ.

### **Замечания по диссертационной работе Желниной А.В.**

1. Отсутствует описание структуры исходных сплавов до закалки и история деформационно-термической обработки. Судя по структуре закаленных сплавов, исследовалось не литое состояние.

2. На графиках не приведены ошибки измерений.

3. Судя по структуре состаренных сплавов (например, рис. 3.12), повышение количества углерода приводит к изменению морфологии вторичных выделений альфа фазы с пластинчатой к глобулярной, что, в свою очередь, может быть связано с изменением анизотропии межфазной энергии. К сожалению, в диссертации этот вопрос не обсуждается.

4. Не показано как изменяются объемные доли структурных составляющих в ходе старения с учетом одновременного роста вторичных выделений альфа фазы и расстояния между ними.

5. Нет объяснения, почему с физической точки зрения ОКР коррелирует с толщиной вторичных выделений альфа фазы.

6. В тексте диссертации не обнаружено четкого объяснения формирования более грубой структуры в сплаве с 0,063% С по сравнению с 0,034%.

### **Заключение по работе**

Диссертация Желниной Анны Владимировны на соискание ученой степени кандидата технических наук является законченной научно-

квалификационной работой, в которой решена задача влияния углерода в титановом сплаве Ti-10V-2Fe-3Al на структурно-фазовое состояние и механические свойства, формируемые при термическом воздействии. Решенные в диссертации задачи имеют существенное значение для развития материаловедения титановых бета сплавов и производства из них деталей авиационной техники.

Отмеченные замечания не снижают значимости полученных результатов и выводов и не влияют на общую положительную оценку диссертации Желниной А.В.

Диссертация соответствует специальности 2.6.1. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallorv i spлавov (технические науки), отвечает требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а ее автор, Желнина Анна Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallorv i spлавov.

**Официальный оппонент:**

Официальный оппонент:  
Жеребцов Сергей Валерьевич,  
д.т.н, доцент,  
профессор кафедры  
«Материаловедение и нанотехнологии»  
Института инженерных и  
цифровых технологий

Жеребцов Сергей Валерьевич



308015, Белгородская область, г. Белгород, ул. Победы, д. 85  
e-mail: zherebtsov@bsu.edu.ru  
телефон: 8-4722-585416

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет».

