

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. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Актуальность темы диссертации. Одним из наиболее важных направлений развития производства титановых сплавов является авиастроение, определяющее до 70% потребления этого материала. Поэтому повышенный интерес материаловедов связан с разработкой сплавов, технологии получения полуфабрикатов и изготовления конструкций из материалов с максимальной удельной прочностью в условиях эксплуатации. В тоже время на стадии производства такие материалы должны обладать высокой технологичностью, во многом определяемой невысокой прочностью и значительной пластичностью. В этом отношении наиболее эффективными являются псевдо- β -сплавы с коэффициентом β -стабилизации от 1,2 до 1,5 и ($\alpha+\beta$)-сплавы переходного класса с коэффициентом β -стабилизации 1,0-1,2. К последним относится сплав Ti-10V-2Fe-3Al, который в закаленном состоянии имеет условный предел текучести около 500 МПа, а после старения до 1200 МПа при сохранении хорошей пластичности ($\delta > 10\%$). Проблемой такого сплава является высокая чувствительность его механических свойств к структурно-фазовому состоянию, которое во многом определяется точным химическим составом материала и режимами термического воздействия при получении полуфабриката и обработки готового изделия.

Поэтому тема диссертационной работы Желниной А.В., посвященной исследованию влияния примесного углерода на формирование структуры и механических свойств сплава Ti-10V-2Fe-3Al в процессе упрочняющей термической обработки, является актуальной и важной как с научной, так и с практической точки зрения.

Структура и основное содержание работы. Диссертация изложена на 146 страницах, состоит из введения, 4 глав, общих выводов, списка литературы из 108 наименований.

Во **введении** обоснована актуальность и степень разработанности темы исследования, сформированы цели и задачи, представлены научная новизна и практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту, степень достоверности и

обоснованности результатов, апробация работы на конференциях, личный вклад автора, число публикаций по материалам работы.

В первой главе представлен обзор научной литературы по исследуемой теме диссертационной работы. Рассмотрены результаты основных работ по исследованию взаимосвязи химического состава, режимов термообработки со структурой и свойствами исследованного в работе титанового сплава Ti-10V-2Fe-3Al. Приводится информация о влиянии углерода на структуру и механические свойства высокопрочных титановых сплавов. Дается понятие о процедуре полнопрофильного анализа рентгеновских дифрактограмм, использованного автором в диссертационной работе. В целом, глава дает достаточное представление о направлениях работы и накопленных на настоящий момент данных по её тематике.

Во второй главе описаны объекты исследования, методика пробоподготовки, физические методы исследования. Материалом исследования служили прутки диаметром трех плавок титанового сплава Ti-10V-2Fe-3Al с содержанием углерода от 0,008 до 0,063 масс. %. Проведено описание подготовки образцов для механических испытаний.

В третьей главе описаны результаты комплексных исследований, направленных на изучение влияния содержания углерода в сплаве Ti-10V-2Fe-3Al на структуру, фазовый состав и механические свойства в закаленном и состаренном состоянии. Показаны и обоснованы структурные механизмы наблюдаемого изменения механических свойств сплава с различным содержанием углерода после типичных для сплава режимов термической обработки - закалки и старения при 500 и 530 °С с выдержкой 8 часов. Выявлено, что в сплаве, содержащем 0,063 масс. % углерода, присутствуют частицы карбида титана, которые способствуют сдерживанию роста зерна при нагреве в β – область. При испытании на растяжение образцов сплава с 0,063 масс. % углерода частицы карбида титана на этапе локализации деформации служат местами зарождения микропор, но сравнительно небольшая объемная доля частиц карбида титана в структуре сплава не оказывают существенного влияния на характеристики его пластичности.

В четвертой главе исследуется эволюция структурно-фазового состояния и механических свойств закаленного титанового сплава Ti-10V-2Fe-3Al с разным содержанием углерода при температуре старения 500 °С с выдержками вплоть до 32 часов и нагреве до 500 °С со скоростями 10, 20, 40 °С/мин. Показано, что прогнозируемое перераспределение легирующих элементов между фазами при старении оказывает закономерное влияние на изменение периодов кристаллических решеток фаз. Автором предложен оригинальный метод оценки дисперсности вторых фаз, образующихся при старении сплава. Важное значение для научного обоснования влияния углерода на

структурно-фазовое состояние и механические свойства сплава Ti-10V-2Fe-3Al имеют результаты исследования скорости нагрева закаленных образцов до температуры старения. Показано, что уменьшение скорости непрерывного нагрева с 40 до 10 °С/мин до температуры старения закаленных образцов из сплава Ti-10V-2Fe-3Al способствует получению более дисперсных выделений вторичных фаз в структуре, обеспечивая более высокий уровень твердости в сплаве после охлаждения с температуры нагрева. Такое влияние скорости нагрева на структуру и свойства связано с зафиксированным методом ДСК смещением в область более низких температур интервала превращения при снижении скорости нагрева, что способствует образованию более дисперсных зародышей вторичных выделений.

В заключении сформулированы выводы по результатам работы.

Достоверность и обоснованность положений и выводов диссертации обеспечивается выбором объектов и методов исследований, соответствующим поставленным в работе цели и задачам, которые в результате теоретического и экспериментального анализов были достигнуты. Построение работы и описание ее результатов соответствует классическому металлостроению, успешно развиваемому в уральской школе металлостроения.

Несомненным достоинством работы является использование современных методов изучения структуры материала, позволившее выявить закономерности фазовых преобразований при варьировании различных технологических факторов, таких как содержание примесного углерода, температур нагрева под закалку и старения, кинетических параметров термообработки и других. Значение этих закономерностей позволяет сделать процесс структурообразования и формирования комплекса механических свойств сплава Ti-10V-2Fe-3Al управляемым и оптимизировать технологию получения полуфабриката и его термическую обработку для достижения требуемого уровня характеристик.

Научная новизна

Представляет значительный научный интерес, предложенный автором метод анализа упрочняющего эффекта при старении исследованного сплава. Разделение доли дисперсного и твердорастворимого упрочнения с использованием параметров тонкой структуры материала и количественных характеристик процесса перераспределения легирующих элементов между фазами имеет научную новизну и может быть использован для других ($\alpha+\beta$)- и псевдо β -сплавов титана.

Практическую значимость результатов диссертационной работы Желниной А.В. составляют установленные закономерности формирования фазового состава и структуры в

сплаве Ti-10V-2Fe-3Al с различным содержанием углерода, позволяющие корректировать режимы упрочняющей термической обработки материала для получения требуемого комплекса его механических свойств.

Замечания по диссертационной работе Желниной А.В.

1. В работе не указана технология, по которой были получены прутки исследованного сплава. Поэтому нет возможности оценить причины различного содержания углерода в них. Это не позволяет судить об однородности содержания углерода в прутках и пределах его изменения.

2. В методике не приведены ошибки определения измеряемых величин (периодов кристаллической решетки, размеров структурных составляющих, блоков когерентного рассеяния и др.), а также точность задания технологических параметров (температур закалки, старения нагрева и др.). Это не позволяет оценить значимость влияния различных факторов в установленных автором закономерностях.

3. При проведении полнопрофильного анализа дифрактограмм не учитывалась текстура прутков, которая сохранялась после закалки. О наличии ярко выраженной текстуры свидетельствует сравнение дифрактограмм закаленного сплава с 0,063% на рис. 3.6, с высокой интегральной интенсивностью отражения (200) β -фазы и на рис. 4.4, где максимальную интегральную интенсивность имеет отражение (110) β -фазы. По-видимому, образцы снимали с боковой поверхности прутка и с торца, соответственно. Можно предположить, что текстуру будут иметь первичные и вторичные частицы α -фазы, что усложняет разделение их пиков в объединенных отражениях. В работе автор пыталась в объединенных отражениях выделить еще и пики α'' -фазы, что вызывает сомнения в результатах полнопрофильного анализа дифрактограмм.

4. По моему мнению при определении химического состава карбидных частиц сделано не совсем объективное допущение, заключающееся в том, что наличие в спектре линии алюминия объяснено взаимодействием зонда с матрицей сплава. Однако в этом случае в спектре должны были присутствовать линии ванадия и железа, которых нет. Одним из объяснений этого может быть то, что изучаемые частицы представляют собой карбид Ti_3AlC_2 . В таком случае это объясняет тот факт, что в сплаве с высоким содержанием углерода в закаленном состоянии наблюдается более низкий уровень условного предела текучести из-за некоторого снижения содержания алюминия в матрице. Это же может быть причиной меньшей прочности сплава, содержащего карбидные частицы в термоупрочненном состоянии.

Сделанные замечания носят рекомендательный либо дискуссионный характер и не снижают общей положительной оценки диссертации официальным оппонентом.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на ряде международных научно-технических конференциях, опубликованы 7 статей 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.

Заключение.

Диссертация Желниной А.В. является законченной самостоятельной научной квалификационной работой. По актуальности темы, научной новизне, практической значимости, достоверности результатов, объему, структуре и оформлению диссертация отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ. Тема и содержание диссертации соответствуют специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки), по которым она представлена к защите. Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

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

Официальный оппонент:
Коллеров Михаил Юрьевич,
д.т.н, профессор,
профессор кафедры «Материаловедение и
технология обработки материалов»
Института материаловедения
и технологий материалов

Коллеров Михаил Юрьевич

Подпись Коллерова М.Ю. заверяю
Зам. нач. Управления по работе с персоналом



/Иванов М.А./

125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4
e-mail: mai@mai.ru
телефон: 8-499-158-4333
Федеральное государственное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»