

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Веселовой Валерии Евгеньевны на тему «Влияние деформационно-термической обработки на структуру, механические свойства и характеристики трещиностойкости титанового сплава ВТ23», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Актуальность темы.

В настоящее время титановые сплавы мартенситного класса широко применяются в изделиях авиакосмической техники благодаря высокой удельной прочности, технологичности и коррозионной стойкости. Однако при проектировании деталей и конструкций, работающих в условиях статических, циклических и динамических нагрузок важно учитывать параметры трещиностойкости данных материалов. Известны исследования, посвящённые оценке трещиностойкости однофазных β -титановых сплавов. Однако результаты аналогичных работ по двухфазным ($\alpha+\beta$)-титановым сплавам и, в частности, широко применяемому в отечественном авиастроении титановому сплаву ВТ23 в литературе представлены фрагментарно. В связи с этим актуальность диссертационной работы Веселовой В.Е., посвященной исследованию влияния фазового состава и структуры на комплекс механических свойств и характеристик трещиностойкости сплава ВТ23 после различных режимов обработки, не вызывает сомнений.

Анализ содержания диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы, включающего 164 наименований. Общий объем диссертации – 154 страниц. Диссертация содержит 70 рисунков и 11 таблиц. Диссертационная работа оформлена в соответствии с требованиями ВАК РФ, основные результаты работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

Во введении представлено обоснование актуальности темы работы и общее направление проведения исследований.

В первой главе приведен аналитический обзор научных работ, по структурным и фазовым превращениям, механическим свойствам и сопротивлению разрушению конструкционных титановых сплавов. Отмечается ограниченность исследований по влиянию параметров структуры на механические свойства и трещиностойкость отечественных ($\alpha+\beta$)-титановых сплавов, в том числе сплава ВТ23, а также недостаточная проработка вопросов, связанных с влиянием превращения метастабильной β -фазы в α "-мартенсит напряжения на механическое поведение и сопротивление хрупкому разрушению.

Во второй главе приведен химический состав и режимы деформационно-термической обработки исследуемого сплава, дано описание методик исследования структуры и механических характеристик.

В третьей главе представлены результаты изучения реологических свойств и структуры титанового сплава ВТ23 после деформации осадкой в интервале температур 700-1200 °С. Выявлено изменение формы кривых деформирования с повышением температуры осадки, а также снижение напряжения пластического течения σ_s , которое в наибольшей степени происходит при деформации в $(\alpha+\beta)$ -области. Показано, что при пластометрических испытаниях сплава в двухфазной области наблюдаются максимумы напряжений σ_s , связанные с протеканием деформации преимущественно по α -фазе, а структура сплава характеризуется наличием искривленных границ β -зерен и измельчением исходных α -пластин. Деформации в β -области приводит к измельчению, возврату и рекристаллизации β -зерен при отсутствии максимумов на кривых деформирования.

Четвертая глава посвящена анализу изменения фазового состава и структуры сплава ВТ23 после различных режимов обработки в исходном состоянии, а также в зоне шейки разрывного образца. Установлено, что повышение температуры закалки с 800 до 860 °С приводит к росту параметра решетки и появлению на ПЭМ-изображениях β -матрицы «твидового контраста», что указывает на формирование метастабильного состояния β -фазы по отношению к механическому нагружению. Впервые в зоне шейки разрывного образца, в сплаве с метастабильной β -фазой, обнаружен игольчатый орторомбический α'' -мартенсит напряжения. Определены фазовый состав и параметры структуры в зависимости от температур старения и предварительной закалки. Методом ПЭМ-анализа после закалки от 800 °С и старения при 550 °С в сплаве выявлена субмикроструктурная структура бимодального типа.

В пятой главе изучены механические свойства сплава ВТ23 при испытаниях на растяжение и ударный изгиб. Показано, что с ростом температуры закалки до 860 °С в результате изменения фазового состава и дестабилизации β -фазы повышаются временное сопротивление разрыву σ_b , и ударная вязкость. Установлено что кривая растяжения сплава с метастабильной β -фазой характеризуется наличием «двойного предела текучести». При испытаниях на растяжение по схеме отнулевого «нагружения-разгрузки» в сплаве с метастабильной β -фазой выявлен эффект сверхупругости, вызванный развитием упруго-обратимого мартенситного $\beta \leftrightarrow \alpha''$ превращения. Установлено, что в закаленном сплаве с метастабильной β -фазой за счет развития $\beta \rightarrow \alpha''$ превращения достигается наибольшее значение составляющей ударной вязкости – работы на распространение трещины (A_p). Дополнительное старение сплава при температуре 500 °С обеспечивает наиболее высокий уровень прочностных свойств, но приводит к значительному снижению пластичности и ударной

вязкости. Показано, что наилучший комплекс механических характеристик при испытаниях на растяжение и ударный изгиб достигается после закалки от 800 °С и старении при 550 °С.

В шестой главе изучено влияние режимов термообработки на трещиностойкость и микромеханизмы разрушения сплава ВТ23 при различных условиях нагружения. Показано, что повышение температуры закалки до 860 °С в результате дестабилизации β-фазы приводит к росту показателя K_{1C} закаленного сплава и снижению скорости роста усталостной трещины в области значений $\Delta K \leq 25 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$. Наиболее высокие значения показателей статической трещиностойкости и конструкционной прочности при вязком межзеренном механизме разрушения достигаются после закалки от 800 °С и упрочняющего старения при 550 °С за счет формирования субмикроструктурной бимодальной структуры. В то же время, наибольшая циклическая трещиностойкость сплава наблюдается после закалки от 800 °С и старения при 500 °С, что обусловливается уменьшением доли фасеток циклического скола в изломе и локальными изменениями направления роста усталостной трещины, способствующими ее торможению.

Научная новизна диссертационной работы:

- Впервые на сплаве ВТ23 с метастабильной β-фазой установлен двухстадийный характер пластического течения и обнаружен эффект мартенситной сверхупругости, обусловленный развитием упруго-обратимого β↔α"-мартенситного превращения.
- Методом ПЭМ и рентгенофазового анализа подтверждено образование при механическом нагружении сплава с метастабильной β-фазой α"-мартенсита напряжения и выявлены различия в изменении фазового состава на поверхности статического и циклического излома.
- Показано, что формирование в сплаве субмикроструктурной бимодальной структуры, состоящей из ультрамелкодисперсной смеси частиц α- и α"-фаз после закалки от 800 °С и старения при 550 °С обеспечивает наибольшие значения статической трещиностойкости и конструкционной прочности.
- Установлено влияние соотношения между протяженностью пластической зоны в вершине трещины и параметрами структуры сплава на показатели статической и циклической трещиностойкости сплава.

Теоретическая значимость работы состоит в том, что с использованием подходов структурной механики разрушения определены регулируемые режимами термической обработки размеры структурных элементов состаренного сплава (длина α-частиц и расстояние между ними), обеспечивающие наибольшие показатели трещиностойкости и конструкционной прочности материала. Проанализировано соотношение между размерами структурных элементов и протяженностью зон статической

и циклической пластической деформации в вершине трещины (зон предразрушения).

Практическая значимость работы:

- На основании данных пластометрических испытаний в однофазной и двухфазной ($\alpha+\beta$)-областях рекомендованы режимы горячего деформирования сплава, обеспечивающие пониженное сопротивление пластической деформации и сохранение исходного размера β -зерна.
- Предложен режим термической обработки сплава (закалка от 800 °С и старение 550 °С, 8ч.), позволивший получить наилучший комплекс механических свойств, статической и динамической трещиностойкости.
- Предложен режим термической обработки (закалка от 800 °С и старение 500 °С, 8 ч), обеспечивающий наибольшее сопротивление росту усталостной трещины в условиях циклического нагружения.
- Показана эффективность использования инструментированных ударных испытания для определения составляющих энергии разрушения и динамической трещиностойкости сплава.

Полученные в диссертации результаты внедрены в НИР по государственному контракту от 02.10.2019 г. № 19411.1770290019.18.015, заключенному между ФАУ «ЦАГИ» и Министерством промышленности и торговли РФ, в части рекомендаций по режимам термической обработки сплава ВТ23, обеспечивающим получение комплекса повышенных механических свойств, статической трещиностойкости и конструкционной прочности.

Достоверность научных результатов и обоснованность выводов

Достоверность научных результатов и обоснованность выводов определяется всесторонним анализом выполненных ранее работ по предмету исследования, применением в диссертации метрологически поверенного оборудования, взаимодополняющих методов структурного анализа (оптическая, растровая и просвечивающая электронная микроскопия), апробированных методов определения механических свойств и характеристик трещиностойкости. Проведен тщательный анализ полученных данных и их сравнение с результатами других исследований. Выводы убедительно обоснованы и соответствуют поставленным задачам исследования. По теме диссертационной работы опубликовано 11 научных трудов, из них 7 статей в рецензируемых научных журналах из списка ВАК, 3 в рецензируемых научных журналах из списка WOS и SCOPUS, материалы работы доложены на 9 российских и международных конференциях и школах-семинарах (Международная конференция «АПП» (Пермь), Международной научно-технической уральской школе-семинаре металловедов – молодых ученых (Екатеринбург); Международная конференция «МРДМК» (Екатеринбург), Уральская школа металловедов-термистов (Екатеринбург); Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «ИТММ»

(Пермь), Международная школа «Физическое материаловедение» (Тольятти). Содержание автореферата соответствует тексту диссертации.

В процессе ознакомления с диссертационной работой были сделаны следующие замечания:

1. Какие по мнению автора структурные параметры играют ключевую роль в отношении величины KCV?
2. В работе практически не обсуждается влияние текстуры на комплекс механических свойств сплава после различных видов обработок. Какое влияние могут оказывать металлографическая и кристаллографическая текстура на величину прочности, пластичности и KCV?
3. В чем природа возникновения «двойного предела текучести» и какие механизмы контролируют развитие пластической деформации на участке «двойного предела текучести»?

Указанные замечания носят частный характер и не снижают общей положительной оценки диссертации, которая представляет собой законченную научную квалификационную работу, выполненную на высоком научно-методическом уровне.

Соответствие диссертационной работы указанной специальности.

Диссертационная работа Веселовой В.Е. по содержанию и полноте изложенного материала соответствует паспорту специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» в следующих пунктах:

п. 2. «Теоретические и экспериментальные исследования фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах, происходящих при различных внешних воздействиях, включая технологические воздействия, и влияние сварочного цикла на металл зоны термического влияния, их моделирование и прогнозирование»;

п. 3. «Теоретические и экспериментальные исследования влияния разнородных структур, в том числе кооперативного, на физические, химические, механические, технологические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов, их моделирование и прогнозирование»;

п. 5. «Теоретические и экспериментальные исследования механизмов деформации, влияния фазового состава и структуры на зарождение и распространение трещин при различных видах внешних воздействий, их моделирование и прогнозирование».

Заключение.

Диссертационная работа Веселовой Валерии Евгеньевны на тему «Влияние деформационно-термической обработки на структуру, механические свойства и характеристики трещиностойкости титанового сплава ВТ23» представляет собой законченную квалификационную работу, посвященную актуальным проблемам металловедения и термической обработки металлов.

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается выбором различных современных методик исследований, позволяющих разносторонне анализировать данные. Диссертационная работа техническим языком, аккуратно оформлена, представлены иллюстративные результаты исследований, работа оформлена в соответствии с нормативными требованиями. Автореферат полно отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней» постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в редакциях от 21.04.2016 № 335 и 12.10.2018 № 1168), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Я, Дьяконов Григорий Сергеевич, даю свое согласие на обработку моих персональных данных и включение их в документы, связанные с работой диссертационного совета.

Официальный оппонент,
кандидат технических наук (05.16.01 –
Металловедение и термическая обработка металлов и
сплавов),
доцент каф. общей физики, заведующий лабораторией
многофункциональных материалов Федерального
государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Уфимский
университет науки и технологии»

Дьяконов Григорий Сергеевич

«19» 03 2024 г.

Подпись заверяю: __
должность

__ ФИО

Дьяконов Г. С.
» 03 2024 г.
отдела УУНИТ Т. Шам
Т. Р.

Адрес организации: 450076, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул.
Заки Валиди, дом 32
E-mail: dgr84@mail.ru
Номер телефона: +7(917)7410352