

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет»**

**Заключение диссертационного совета Д ПНИПУ.05.13  
по диссертации Веселовой Валерии Евгеньевны  
на соискание ученой степени кандидата технических наук**

Диссертация «Влияние деформационно-термической обработки на структуру, механические свойства и характеристики трещиностойкости титанового сплава ВТ23» по специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» принята к защите «28» декабря 2023 г. (протокол заседания № 8) диссертационным советом Д ПНИПУ.05.13, созданным по приказу ректора Пермского национального исследовательского политехнического университета от «06» апреля 2022 г. № 33-О в рамках реализации предоставленных ПНИПУ прав, предусмотренных абзацами вторым - четвертым пункта 3.1 статьи 4 Федерального закона от 23 августа 1996 г. N 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике» на основании распоряжения Правительства Российской Федерации от 23 августа 2017 г. N 1792-р.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт машиноведения имени Э.С. Горкунова Уральского отделения Российской академии наук.

**Научный руководитель** – доктор технических наук (05.02.01), доцент Гладковский Сергей Викторович, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения имени Э.С. Горкунова Уральского отделения Российской академии наук, главный научный сотрудник лаборатории деформирования и разрушения,

**Официальные оппоненты:**

1. Колобов Юрий Романович, доктор физико-математических наук (01.04.07 – Физика конденсированного состояния), профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук,

исполняющий обязанности заведующего лабораторией физико-химической инженерии композиционных материалов,

2. Дьяконов Григорий Сергеевич, кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологии», доцент кафедры общей физики, заведующий лабораторией многофункциональных материалов.

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск (отзыв ведущей организации утвержден Отто Артуром Исааковичем, кандидатом технических наук, проректором по научной работе и инновациям, заслушан на заседании научного семинара кафедры материаловедения в машиностроении 07.02.2024 г., протокол № 3, и подписан Батаевым Владимиром Андреевичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой материаловедения в машиностроении).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что: официальный оппонент доктор физико-математических наук Колобов Юрий Романович является высококвалифицированным специалистом в области металловедения, имеет стаж работы по специальности более 35 лет, более 160 научных статей, опубликованных в рецензируемых научных журналах, в том числе более 15 публикаций за последние 5 лет по тематике диссертационной работы; официальный оппонент кандидат технических наук Дьяконов Григорий Сергеевич, является высококвалифицированным специалистом в области металловедения, имеет более 15 публикаций в рецензируемых журналах за последние 5 лет по тематике диссертационной работы; ведущая организация - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» имеет многолетний опыт научной работы в области металловедения, имеет более 15 публикаций в рецензируемых журналах за последние 5 лет по тематике диссертационной работы, располагает соответствующим научным и кадровым потенциалом (кафедра материаловедения и машиностроения), что обеспечивает ее способность определить научную и практическую ценность диссертационной работы.

По теме диссертации соискателем опубликовано 11 научных трудов, в том числе 7 работ – в ведущих рецензируемых научных изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы

основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени, и приравненных к ним, из них 4 работы – в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Web of Science Core Collection, Scopus.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем научных трудах. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Influence of Heat Treatment on Microstructure and Mechanical Characteristics of the Titanium Alloy Ti 5Al 5 V 2Mo Cr with Metastable  $\beta$  Phase / S. V. Gladkovsky, V. E. Veselova, S. N. Sergeev, A. M. Patselov // Transactions of the Indian Institute of Metals. – 2023. – V. 76. – P. 2091–2097 [Scopus, Web of Science].

2. Влияние режимов термической обработки на характеристики трещиностойкости и механизмы разрушения метастабильного титанового сплава VT23 / С. В. Гладковский, В. Е. Веселова, С. В. Дубинский, Р. В. Воронков, Н. И. Ковалев, А. В. Кулемин, И. Е. Ковалев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета «Машиностроение, материаловедение». – 2023. – Т. 25. № 1. С. – 16-26.

3. Влияние режимов термической обработки на структуру и статическую трещиностойкость ( $\alpha+\beta$ )-титанового сплава VT23 / С. В. Гладковский, В. Е. Веселова, Д. И. Вичужанин, М. Ч. Зиченков, С. В. Дубинский, Н. И. Ковалев, А. В. Кулемин, И. Е. Ковалев // Деформация и разрушение материалов. – 2022. -№ 9. – С. 19-27.

Переводная версия: Effect of Heat-Treatment Conditions on the Microstructure and the Static Fracture Toughness of an  $\alpha + \beta$  VT23 Titanium Alloy / S. V. Gladkovskii, V. E. Veselova, D. I. Vichuzhanin, M. Ch. Zichenkov, S. V. Dubinskii , N. I. Kovalev , A. V. Kulemin , and I. E. Kovalev // Russian Metallurgy (Metally), Vol. 2023, No. 4, pp. 425–432. [Scopus, Web of Science].

4. Веселова В. Е., Гладковский С. В., Ковалев Н. И. Влияние режимов термической обработки на структуру и механические свойства метастабильного титанового сплава VT23 // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета «Машиностроение, материаловедение». – 2021. – Т. 23. № 4. – С. 31-39.

5. Влияние деформационной стабильности  $\beta$ -фазы в титановом сплаве VT23 на фазовый состав, структуру и механические свойства при растяжении и ударном изгибе / С. В. Гладковский, В. Е. Веселова, А. М. Пацелов, В. А. Хотинков // Вестник

Пермского национального исследовательского политехнического университета «Машиностроение, материаловедение». – 2019. – Т. 21. – № 4. С. 26-33.

*В данных работах соискателем проведено исследование влияния термической обработки на фазовый и структурный состав, механические свойства, характеристики трещиностойкости и механизмы разрушения титанового сплава VT2. Изучено влияние стабильности  $\beta$ -фазы на механическое поведение сплава VT23 при однократном и повторном одноосном растяжении.*

1. Использование динамической спекл-интерферометрии для бесконтактной диагностики зарождения усталостной трещины и определения скорости ее роста / А. П. Владимиров, И. С. Каманцев, В. Е. Веселова, Э. С. Горкунов, С. В. Гладковский // Журнал технической физики. – 2016. – Т. 86. – № 4. – С. 85-90.

Переводная версия: Use of dynamic speckle interferometry for contactless diagnostics of fatigue crack initiation and determining its growth rate A. P. Vladimirov, I. S. Kamantsev, V. E. Veselova, E. S. Gorkunov, S. V. Gladkovskii S.V. // Technical Physics. – 2016. – Т. 61. – № 4. – С. 563-568. [Scopus, Web of Science].

2. Изучение процесса зарождения усталостной трещины по изменению рельефа поверхности образца и ее спекловых изображений / А. П. Владимиров, И. С. Каманцев, А. В. Ищенко, В. Е. Веселова, Э. С. Горкунов, С. В. Гладковский, С. М. Задворкин // Деформация и разрушение материалов. – 2015. – № 1. – С. 21-26.

*В данных работах соискателем изучены особенности зарождения и роста усталостных трещин и выявлены возможности мониторинга процесса трещинообразования с применением физических методов неразрушающего контроля.*

Реологическое поведение сплава VT23 при деформировании в широком интервале температур / С. В. Гладковский, В. П. Волков, Д. Р. Салихьянов, В. Е. Веселова, А. М. Пацелов // Деформация и разрушение материалов. – 2020. – № 5. – С. 18-21.

Переводная версия: Rheological behavior of a VT23 alloy during deformation in a wide temperature range / S. V. Gladkovskii, V. P. Volkov, D. R. Salikhyanov, V. E. Veselova, A. M. Patselov // Russian Metallurgy (Metally). - 2020. – Т. 2020. – № 10. – С. 1147-1150. [Scopus, Web of Science].

*В данной работе соискателем по результатам пластометрических испытаний определено сопротивление пластической деформации в широком диапазоне температур и изучена эволюция структуры титанового сплава VT23.*

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных**

соискателем исследований:

**Установлено** наличие пиковых напряжений на пластометрических кривых в  $(\alpha+\beta)$ -области (700-900 °С), определены значения напряжений пластического течения ( $\sigma_s$ ) при температурах деформаций до 1200 °С. Установлены режимы термической обработки сплава ВТ23, обеспечивающие наибольшие значения циклической трещиностойкости (зак. 800 °С и стар. 500 °С), а также статической трещиностойкости и конструкционной прочности (зак. 800 °С и стар. 550 °С).

**Выявлен** двухстадийный характер пластического течения, связанный с образованием  $\alpha''$ -мартенсита напряжения, при испытаниях на растяжение сплава ВТ23 с метастабильной  $\beta$ -фазой и зафиксировано образование замкнутых петель механического гистерезиса, свидетельствующих о проявлении эффекта мартенситной сверхупругости в результате развития упруго-обратимого  $\beta \leftrightarrow \alpha''$  превращения.

**Теоретическая значимость исследования** обоснована тем, что: **доказано**, что увеличение параметра решетки  $\beta$ -фазы, определенное с помощью рентгенофазового анализа, свидетельствует о формировании метастабильного состояния сплава по отношению к нагружению. Испытания на растяжение сплава с метастабильной  $\beta$ -фазой **использованы** для определения фазового и дислокационного предела текучести, триггерного напряжения, соответствующего началу мартенситного  $\beta \rightarrow \alpha''$  превращения под напряжением, а также выявления эффекта мартенситной сверхупругости;

**изложена** последовательность фазовых и структурных превращений в сплаве при различных режимах термической обработки;

**раскрыты** закономерности эволюции структурно-фазового состава сплава ВТ23 при различных режимах термомеханической обработки; показано формирование бимодальной субмикроструктурной микроструктуры в образце после закалки от 800 °С и старения при 550 °С оказывающей положительное влияние на характеристики трещиностойкости сплава; механизмы распространения трещины при циклическом и статическом нагружении;

**изучено** влияние размеров структурных элементов сплава на протяженность зон статической и циклической пластической деформации в вершине трещины.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается тем, что:

**обоснован** режим термической обработки сплава (закалка от 800 °С и старение 550 °С, 8ч.), позволивший получить наилучший комплекс механических свойств, статической и динамической трещиностойкости, данные 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;

**определена** и показана эффективность использования инструментированных ударных испытаний для определения составляющих энергии разрушения и динамической трещиностойкости сплава;

**представлены** рекомендации по режимам горячего деформирования сплава ВТ23, обеспечивающие пониженное сопротивление пластической деформации и сохранение исходного размера  $\beta$ -зерна.

Результаты диссертационного исследования Веселовой В.Е. рекомендуется использовать в практике предприятий авиакосмической отрасли: ФГБОУ «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», ФАУ «ЦАГИ» имени проф. Н. Е. Жуковского, ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА», НИЦ «Курчатовский институт – ВИАМ» и в других организациях.

#### **Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** использовано сертифицированное оборудование, стандартные методики определения механических свойств и характеристик трещиностойкости, показана воспроизводимость результатов исследования;

**теория** построена на известных положениях физического металловедения и термической обработки, согласуется с данными других исследователей по теме диссертации;

**идея** повышения уровня механических свойств и трещиностойкости за счет оптимизации структурно-фазового состава **базируется** на обобщении теоретического и практического опыта использования деформационно-термической обработки титановых сплавов;

**использованы** современные методики статистической обработки данных и соответствующие прикладные программы;

**установлено** качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике.

рентгенофазового анализа, структурных и фрактографических исследований, а также результатов определения механических характеристик. Вошедшие в диссертационную работу результаты и выводы были получены и сформулированы совместно с научным руководителем и соавторами публикаций.

**Диссертационный совет пришел к выводу** о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и Порядком присуждения ученых степеней в ПНИПУ, утвержденным приказом ректора ПНИПУ от 09 декабря 2021 г. № 4334-В: в ней содержатся технические и технологические решения в области повышения механических свойств и трещиностойкости титанового сплава ВТ23, имеющие перспективу промышленного применения для изделий повышенной надежности в авиакосмической отрасли.

На заседании «24» мая 2024 г. диссертационный совет Д ПНИПУ.05.13 принял решение присудить Веселовой Валерии Евгеньевне ученую степень кандидата технических наук (протокол заседания № 6).


При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 15 человек, входящих в состав совета, проголосовало: за присуждение ученой степени – 12, против присуждения ученой степени - 0.

Председатель диссертационного совета Д ПНИПУ.05.13  
доктор технических наук

И.о. ученого секретаря диссертационного совета Д ПНИПУ  
доктор технических наук



 Юрий Дмитриевич Щицын

 Татьяна Васильевна Ольшанская

М.П.