

**РЕШЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА УрФУ 2.6.01.04  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК**

от «18» мая 2022 г. № 8

о присуждении Желниной Анне Владимировне, гражданство Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Влияние содержания углерода в титановом сплаве Ti–10V–2Fe–3Al на структурно-фазовое состояние и механические свойства, формируемые при термическом воздействии» по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов принята к защите диссертационным советом УрФУ 2.6.01.04 «12» апреля 2022 г. протокол № 4.

Соискатель, Желнина Анна Владимировна, 1991 года рождения, в 2014 г. окончила ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по направлению подготовки 150100 Материаловедение и технологии материалов;

в 2018 году окончила очную аспирантуру ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по направлению подготовки 22.06.01 Технологии материалов (Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов);

работает в ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА» (г. Верхняя Салда, Свердловская обл.) в должности инженера-исследователя I категории Научно-технического центра.

Диссертация выполнена в ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА» и на кафедре «Термообработка и физика металлов» Института новых материалов и технологий ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Минобрнауки России.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент, Илларионов Анатолий Геннадьевич, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Институт новых материалов и технологий, кафедра «Термообработка и физика металлов», доцент.

Официальные оппоненты:

**Коллеров Михаил Юрьевич** – доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», г. Москва, Институт материаловедения и технологий материалов, кафедра «Материаловедение и технология обработки материалов», профессор;

**Жеребцов Сергей Валерьевич** – доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород, Институт инженерных и цифровых технологий, кафедра «Материаловедение и нанотехнологии», профессор;

**Потехин Борис Алексеевич** – доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, кафедра «Технологические машины и технологии машиностроения», профессор

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 28 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 10 работ, из них 7 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ и индексируемых в базах данных Scopus и WoS. Общий объем опубликованных работ по теме диссертации – 5,6 п.л., авторский вклад – 1,56 п.л.

Основные публикации по теме диссертации  
статьи, опубликованные в рецензируемых научных изданиях,  
определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ:

1. Zhelnina, A. V. Effect of heat treatment temperature-rate parameters on structure and complex of physical-mechanical properties in VST5553 titanium alloy rod semi-finished goods / A. V. Zhelnina, A. G. Illarionov, M. S. Kalienko // Solid State Phenomena. – 2017. – V. 265. – P. 785-788. (0,4 п.л./0,13 п.л), (Scopus).

2. Zhelnina, A.V. Study of interstitial impurities influence on properties of titanium alloy Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr-1Zr / A.V. Zhelnina, A. G. Illarionov, A.V. Trubochkin // Solid State Phenomena. – 2018. – V. 284. – P. 460-464. (0,5 п.л./0,17 п.л), (Scopus).

3. Illarionov, A. G. Effect of the content of impurities on the temperature of polymorphic transformation and properties of high-strength titanium alloys / A. G. Illarionov, A. V. Zhelnina, A. A. Popov, N. V. Shchetnikov, M. O. Leder, M. S. Kalienko // Metal science and heat treatment. – 2018. – Vol. 60. – № 5-6. – P. 297-302. (0,5 п.л./0,1 п.л), (WoS, Scopus).

4. Kalienko, M. S. Use of full-profile x-ray analysis for estimation of the dispersity of the secondary alpha phase in high-strength titanium alloys / M. S. Kalienko, A. V. Volkov, A. V. Zhelnina // Crystallography reports. – 2020. – Vol. 65. – № 3. – P. 412-416. (0,6 п.л./0,19 п.л), (WoS, Scopus).

5. Zhelnina, A. V. Transformation of the structure and parameters of phases during aging of a titanium Ti-10V-2Fe-3Al alloy and their relation to strengthening / A. V. Zhelnina, M. S. Kalienko, A. G. Illarionov, N. V. Shchetnikov // Physics of metals and metallography. – 2020. – Vol. 121. - № 12. – P. 1220-1226. (0,8 п.л./0,2 п.л), (WoS, Scopus).

6. Zhelnina, A. V. Study of the effect of carbon on the deformation behavior and microstructure of a Ti-10V-2Fe-3Al alloy / A. V. Zhelnina, M. S. Kalienko, N. V. Shchetnikov // Physics of metals and metallography. – 2021. – Vol. 122. – № 2. – P. 154-160. (0,8 п.л./0,27 п.л), (WoS, Scopus).

7. Zhelnina, A. V. Evolution of the structure-phase state of quenched Ti-10V-2Fe-3Al alloy during aging / A. V. Zhelnina, M. S. Kalienko,

N. V. Shchetnikov, F. V. Vodolazskii // Inorganic materials. – 2021. – Vol. 57. – № 4. – С. 427-434. (0,9 п.л./0,23 п.л), (WoS, Scopus).

На автореферат поступили отзывы:

1. Емелюшина Алексея Николаевича, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры литейных процессов и материаловедения ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Содержит замечание касательно того, что во всех исследованных сплавах, как показано в таблице 1 автореферата, присутствует азот, причем в сплаве 3 его в 2 раза больше, чем в сплавах 1 и 2, но о его влиянии в автореферате не сказано.

2. Дзуновича Дмитрия Анатольевича, кандидата технических наук, доцента, начальника лаборатории измерений и испытаний ФГУП «ЦИТО», г. Москва. Содержит замечание касательно того, что было бы интересно изучить вопрос влияния объемной доли первичной  $\alpha$ -фазы на дисперсность вторичной  $\alpha$ -фазы, образовавшейся при старении в исследуемом сплаве.

3. Трубачева Михаила Владимировича, кандидата технических наук, директора по производству АО «УРАЛПРЕДМЕТ», Свердловская обл., г. Верхняя Пышма. Содержит замечание, касающееся способа достижения различного содержания углерода при изготовлении исследуемых образцов сплава Ti-10V-2Fe-3Al?

4. Найденкина Евгения Владимировича, доктора физико-математических наук, заведующего лабораторией физического материаловедения, и Раточки Ильи Васильевича, кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника лаборатории физического материаловедения ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, г. Томск. Содержит следующие замечания:

- в тексте автореферата широко используются понятия первичной ( $\alpha_{\text{п}}$ ) и вторичной ( $\alpha_{\text{в}}$ )  $\alpha$ -фазы, но не даётся их определения;

- в работе, судя по тексту автореферата, не проводится сравнения полученных экспериментальных результатов по влиянию концентрации углерода на структурно-фазовое состояние и механические свойства сплава Ti-10V-2Fe-3Al с имеющимися литературными данными;
- в четвертой главе автор утверждает, что скорость роста вторичной  $\alpha$ -фазы существенно выше «скорости диффузии алюминия, ванадия и железа в  $\alpha$ -фазе при температуре старения 500 °С». Однако конкретных значений коэффициентов диффузии указанных элементов не приводится, что не позволяет оценить полученные экспериментальные результаты о скорости роста вторичной фазы.

5. Плохих Андрея Ивановича, кандидата технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Материаловедение» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет)», г. Москва. Содержит замечания касательно того, что для подтверждения эффективности нового подхода целесообразно было установить возможность его применения на большей номенклатуре титановых сплавов ( $\alpha+\beta$ )-переходного класса и отсутствия данных о подтверждении приоритета разработки патентами Российской Федерации.

6. Леонова Валерия Петровна, доктора технических наук, старшего научного сотрудника, заместителя генерального директора по научной работе – начальника научно-производственного комплекса «Титановые сплавы», и Козловой Ирины Рудольфовны, кандидата технических наук, старшего научного сотрудника научно-производственного комплекса «Титановые сплавы» НИЦ «Курчатовский институт» – Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» имени И. В. Горынина, г. Санкт-Петербург. Содержит следующие замечания:

- автор исследует структурно-фазовое состояние сплава при термическом воздействии, однако не представлена структура в исходном состоянии;

- в тексте автореферата дважды изложены методики проведения исследований (стр.6 и стр.9);
- на представленных в автореферате изображениях структур на всех рисунках практически не видны данные об их увеличении;
- в тексте автореферата не представлены механические свойства исследуемого сплава в исходном и закаленном состояниях;
- на рис. 10 есть несоответствие между подписями к рисунку, обозначениями параметров по оси ординат и нанесенными на график данными;
- в автореферате на рис.1в представлена карта фаз исследуемого сплава, полученная методом ДОРЭ-анализа. При наличии возможности использовать метод ДОРЭ-анализа, весьма логично было бы воспользоваться им, чтобы определить фактические размеры и дисперсность выделившихся наноразмерных фаз (режим SEM), степень искаженности кристаллической решетки, размеры периодов кристаллических решеток. Однако в работе не использованы эти возможности;
- в п.4 заключения описано различное изменение параметров кристаллических решеток первичной и вторичной альфа-фазы с увеличением длительности старения, а также соотношение этих параметров первичной и вторичной альфа-фаз. Объяснение причин указанных изменений в тексте автореферата не приведено. Следует отметить, в процессе длительных выдержек при температуре старения происходит перераспределение всех легирующих элементов, а не только алюминия, ванадия и железа. Альфа-фаза обогащается альфа-стабилизаторами – алюминием, кислородом и углеродом, при этом кислород и углерод как элементы внедрения естественным образом повышают параметр  $c/a$ , бета-фаза обогащается ванадием и железом;
- непонятен вывод автора о том, что повышение параметра  $c/a$  во вторичной альфа-фазе при увеличении содержания углерода в сплаве связано с образованием комплексов углерод-кислород-вакансия в бета-фазе;

- увеличение дисперсности вторичной альфа-фазы при проведении упрочняющей термической обработки автор связывает с влиянием определенного количества углерода без объяснения механизма этого воздействия.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их широкой известностью своими достижениями и исследованиями в области материаловедения сплавов на основе титана, наличием публикаций в ведущих рецензируемых изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований содержится решение научной задачи по оптимизации химического состава высокопрочного конструкционного титанового сплава с целью гарантированного получения заданных свойств в готовых полуфабрикатах, имеющей существенное значение для развития материаловедения.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Установлено, что предел максимальной растворимости углерода в  $\beta$  - твердом растворе сплава Ti-10V-2Fe-3Al составляет 0,053 масс. %, превышение содержания углерода в сплаве выше этого предела приводит к образованию в структуре карбида титана.

2. Выявлено, что при повышении содержания углерода в сплаве Ti-10V-2Fe-3Al в пределах растворимости в  $\beta$  - твердом растворе, наблюдается рост прочности закаленного сплава при старении за счет повышения дисперсности вторичной  $\alpha_B$  - фазы.

3. Показано, что упрочнение сплава при увеличении выдержки с 2-х до 32-х часов при старении зависит по крайней мере от двух составляющих – дисперсионного упрочнения за счет выделения вторичной  $\alpha_B$  - фазы, уровень которого снижается при росте ее размеров, и твердорастворного упрочнения  $\beta$  - матрицы, за счет ее обогащения ванадием и железом в результате  $\beta \rightarrow \alpha_B$  - превращения.

4. Методом полнопрофильного РСФА впервые осуществлен комплексный анализ изменения параметров кристаллической решетки первичной и вторичной  $\alpha$  - фазы при старении сплава Ti-10V-2Fe-3Al. Показано, что прогнозируемое перераспределение легирующих элементов между фазами при старении оказывает закономерное влияние на изменение периодов кристаллических решеток фаз.

5. Обнаружено, что уменьшение скорости нагрева закаленных образцов с 40 до 10 °C/мин до температуры старения 500 °C и увеличение содержания углерода в сплаве с 0,008 до 0,063 масс. % способствует получению более дисперсных выделений вторичных  $\alpha_B$  ( $\alpha''$ ) - фаз с наименьшим размером при 0,034 масс. % углерода, обеспечивая более высокий уровень твердости в сплаве после охлаждения с температуры старения.

Практическая ценность полученных результатов заключается в предложенном оптимизированном химическом составе сплава Ti-10V-2Fe-3Al, позволяющем получать более высокий комплекс механических свойств по сравнению с существующим на сегодняшний день. Адаптирована методика полнопрофильного анализа рентгеновских дифрактограмм. Методика позволяет оценить фазовый состав, дисперсность вторых  $\alpha_B$  ( $\alpha''$ ) - фаз, эволюцию параметров кристаллической решетки фаз в процессе термического воздействия в высокопрочных сплавах титана и используется в исследовательских работах на ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА» (г. Верхняя Салда, Свердловская обл.). Практическая значимость работы подтверждена использованием результатов исследования при корректировке химических составов высокопрочных сплавов на основе титана в ПАО «Корпорации ВСМПО-АВИСМА».



На заседании 18 мая 2022 г. диссертационный совет УрФУ 2.6.01.04 принял решение присудить Желниной А.В. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет УрФУ 2.6.01.04 в количестве 18 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 18, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель

диссертационного совета

УрФУ 2.6.01.04

Ученый секретарь

диссертационного совета

УрФУ 2.6.01.04



Попов Артемий Александрович

Селиванова Ольга Владимировна

18.05.2022 г.