

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**федеральное государственное бюджетное**  
**образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**Рыбинский государственный авиационный**  
**технический университет**  
**имени П.А. Соловьева»**  
**(РГАТУ имени П.А. Соловьева)**

Пушкина ул., д. 53, Рыбинск,  
Ярославская обл., 152934.  
Тел. (4855) 28-04-70. Факс (4855) 21-39-64.  
E-mail: [root@rgata.ru](mailto:root@rgata.ru)

№ \_\_\_\_\_

**УТВЕРЖДАЮ**  
Ректор ФГБОУ ВО  
РГАТУ имени П.А.Соловьева,  
докт. техн. наук, профессор

В.А.Полетаев



2018

### **ОТЗЫВ**

**ведущей организации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева» на диссертационную работу Грушина Ивана Алексеевича «Влияние легирования редкоземельными металлами на структуру и свойства  $\alpha$ - и псевдо  $\alpha$ -титановых сплавов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.**

**Актуальность темы диссертации.** Разработка новых сплавов и технологий их получения и обработки с целью повышения комплекса удельных механических свойств материалов и эксплуатационных характеристик изделий авиационной техники является важной научной и практической задачей современного металловедения.

В качестве основы для таких сплавов наиболее перспективным является титан, обладающий хорошим сочетанием как прочностных, так и пластических свойств при комнатной и повышенных температурах с высокой коррозионной стойкостью и малой плотностью. На базе титана разработано много конструкционных и жаропрочных сплавов, успешно применяемых в конструкциях планера и силовых установок современных летательных аппаратов. Однако, повышение экологических и экономических требований к этим конструкциям определяет необходимость разработки новых вариантов титановых сплавов с пониженной плотностью и способов обеспечения оптимальной структуры для получения материала с высокой удельной

прочностью и характеристиками работоспособности.

Поэтому цель диссертационной работы Грушина И.А., состоящая в изучении влияния дополнительного легирования лёгкими и редкоземельными элементами на фазовый состав, структуру и свойства  $\alpha$ - и псевдо  $\alpha$ -сплавов на основе титана и разработке на этой основе технологий их обработки, обеспечивающих повышение удельных механических свойств и эксплуатационных характеристик является несомненно актуальной.

**Общая характеристика работы.** В качестве объектов исследований автор использует модельные сплавы титана, легированные легкими элементами Al, Sc, Si, В, а также опытный жаропрочный сплав Ti-6,5Al-4Zr-2,4Sn-0,95Nb,-0,7Mo-0,2Si микролегированный гадолинием. Выбор типа и содержания легких элементов для легирования сделан на основе анализа современной научно-технической отечественной и зарубежной литературы, а также по расчетам фазового состава и плотности с использованием компьютерной программы JMatpro. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили определить перспективность дополнительного легирования титановых сплавов скандием.

Более подробные исследования структуры и свойств сплавов системы Ti-6Al-Sc были обобщены в виде политермического разреза тройной диаграммы, позволившего выбрать конкретный состав модельного сплава и технологию его термической обработки. Автором установлено, что сплав Ti-6Al-10Sc обладает высокой удельной прочностью (до 25,7 км) при удовлетворительной пластичности. Эти результаты должны послужить основой для дальнейших исследований перспективного сплава с высоким комплексом механических свойств.

Другой металловедческий подход реализован на опытном жаропрочном сплаве Ti-6,5Al-4Zr-2,4Sn-0,95Nb,-0,7Mo-0,2Si, для которого предложено управление структурой за счет микролегирования редкоземельным металлом – гадолинием. Автор изучил влияние добавок (до 0,2%) гадолиния на структуру и свойства опытного сплава в литом, деформированном и термообработанных состояниях. Им установлены закономерности изменения типа и параметров структуры от содержания микродобавок Gd на различных стадиях обработки полуфабрикатов опытного сплава.

Показаны особенности формирования частиц  $\alpha_2$ -фазы и силицидов в деформированном материале. Совокупность этих результатов позволило определить оптимальные режимы микролегирования и термической обработки, повысившиеся усталостные характеристики сплава при комнатной температуре

и кратковременную прочность при 700°C.

В работе изучено влияние микролегирования гадолинием на структуру и свойства сварных соединений листов из опытного сплава. Определен способ сварки и термической обработки соединения, обеспечивающие повышение комплекса механических свойств.

**Характеристика научной новизны.** Научная новизна диссертационной работы Грушина И.А. состоит:

- в экспериментальном построении политермического разреза тройной диаграммы состояния системы Ti-6Al-Sc (до 10 масс % Sc), позволяющей прогнозировать фазовые и структурные превращения в исследованных сплавах в интервале температур от 800 до 1100°C.
- в установлении закономерностей влияния микролегирования гадолинием опытного жаропрочного сплава Ti-6,5Al-4Zr-2,4Sn-0,95Nb,-0,7Mo-0,2Si на структуру и свойства литых, деформированных полуфабрикатов и сварных соединений, позволяющих осуществлять целенаправленный выбор режимов их обработки для обеспечения требуемого комплекса механических свойств и эксплуатационных характеристик.

**Практическая значимость работы** состоит в определении модельного состава сплава Ti-6Al-10Sc и доказательства его перспективности в качестве основы для разработки конструкционного материала с высокой удельной прочностью.

В разработке технологических рекомендаций деформационной и термической обработки опытного жаропрочного сплава Ti-6,5Al-4Zr-2,4Sn-0,95Nb,-0,7Mo-0,2Si микролегированного до 0,2% по массе гадолинием и сварных соединений из него, обеспечивающих формирование регламентированной структуры и высокого комплекса механических свойств при комнатной и повышенных температурах.

**Достоверность полученных результатов** обеспечена использованием современного поверенного оборудования с лицензионным программным обеспечением, проведением испытаний и измерений в соответствии с ГОСТ, хорошим совпадением экспериментальных данных и теоретических расчетов, использованием методов математической статистики при обработке результатов.

**Замечания:**

1) В задачах, на решение которых направлена диссертационная работа, поставлено изучение влияния элементов с плотностью меньше 4,5 г/см<sup>3</sup> на структуру и физические свойства титана (цель 1 на стр. 4). В третьей главе

указано, что выбор проводился по теоретическим расчетам так, чтобы плотность сплава была на 5% меньше плотности сплава ВТ6. Однако в описании главы не приведено причин выбора только Si, В и Sc в качестве таких элементов, и не рассмотрены Mg, Са и др. Кроме того, не понятно как в рассмотрение попал сплав Ti-8Si-4В, у которого по расчетам плотность 6,8 г/см<sup>3</sup> (табл. 3).

2) В описании особенностей формирования структуры опытного сплава с гадолинием на стр. 16 указано, что «...области вблизи  $\alpha$ -границ свободны от выделений ...  $\alpha_2$ -фазы...». В то же время в следующей фразе сказано, что «Помимо  $\alpha_2$ -фазы по границам происходит образование силицидов». Не понятно, что автор имеет в виду.

3) В таблице 6 приведено количество циклов до разрушения с точностью до 1 цикла без указания ошибки определения. В тексте диссертации нет указания на количество испытанных образцов и точности определения характеристик.

4) В тексте диссертации имеются погрешности. Так, рисунки 3.1, 3.3 и 3.4 на стр. 69-71, имеющие цветовую расшифровку, выполнены в черно-белом изображении, что затрудняет их анализ.

Сделанные замечания не снижают научной и практической ценности диссертации и общей высокой оценки работы.

В целом представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой обоснованы новые технические и технологические решения разработки сплавов на основе титана, легированных легкими и редкоземельными элементами с высокой удельной прочностью, а также режимов деформации, сварки и термической обработки для перспективных изделий авиационной техники.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 25 научно-технических конференциях, опубликованы в 17 печатных работах, в том числе 6 статей в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в различных областях машиностроения для изготовления деталей конструкций и силовых установок.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем

требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Грушин Иван Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Отзыв рассмотрен на заседании кафедры «Материаловедения, литья, сварки», протокол №9/18 от 8 мая 2018 года, присутствовало 10 человек из 10. Результаты голосования «за» -10, против – нет, воздержались – нет.

Отзыв составлен доктором технических наук, профессором кафедры Материаловедения, литья, сварки - Изотовым Владимиром Анатольевичем

Заведующий кафедрой  
Материаловедения, литья, сварки  
профессор, д.т.н.



А.А. Шатульский

Россия, Ярославская область, 152934, г. Рыбинск, ул.Пушкина, д.53

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева"

[www.rsatu.ru](http://www.rsatu.ru)

[rector@rsatu.ru](mailto:rector@rsatu.ru)

Телефон: 8(4855) 280-470