

11.11.2021 № Исх. №05-19/1-98

На № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке

ФГАОУ ВО «УрФУ»

Германенко А.В.

2021 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» на диссертационную работу Шмыровой Алисы Владимировны на тему «Прогнозирование механических свойств деформированных полуфабрикатов из титановых сплавов в зависимости от их химического состава и структуры», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

1. Актуальность работы

В нашей стране по инициативе ВИАМ в 2012 году разработана комплексная программа «Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года», в рамках которой, в частности, предполагается дальнейшее развитие материаловедения и технологий обработки материалов на основе информационных технологий, компьютерного конструирования, моделирования и прогнозирования. В настоящее время для прогнозирования свойств различных материалов и

моделирования технологических процессов обработки металлов давлением, термической и механической обработки разработаны различные программные комплексы, из которых наиболее распространенными являются DEFORM, QFORM, MTDATA, ThermoCalc, JMatPro и др. Однако они нуждаются в существенной корректировке и адаптации к реальным условиям производства. Это связано со сложностью разработки программных продуктов для прогнозирования из-за высокой структурной чувствительности титановых сплавов и неоднозначности влияния типа и параметров структуры на комплекс их механических свойств при комнатной и повышенных температурах. Поэтому для прогнозирования свойств промышленных полуфабрикатов в интервале температур, сопоставимых с условиями эксплуатации, целесообразно выявить степень влияния не только колебаний химического состава, но и структурного фактора. В связи с этим диссертационная работа Шмыровой А.В., направленная на решение вышеперечисленных задач, является своевременной и актуальной.

II. Общая характеристика работы

В работе проанализировано современное состояние исследований по влиянию химического состава, структуры и температуры испытания на механические свойства титановых сплавов. Дана характеристика сплавов типа Ti-6Al-4V. Отмечено, что для отечественных сплавов ВТ6, ВТ6С, ВТ6ч, ВТ6к не были проведены столь же масштабные исследования по влиянию температуры испытания и параметров структуры, как для сплавов ВТЗ-1, ВТ9 и др.

Особенностью диссертационной работы является то, что для исследований использованы не только экспериментальные и литературные данные, но и результаты производственных испытаний и промышленного контроля, которые имеются в больших объемах на предприятиях-производителях и предприятиях-потребителях титана.

В работе были обобщены и статистически проанализировать литературные данные, содержащие сведения о пределе прочности отожженных полуфабрикатов из титановых сплавов разных классов при температурах 20-600°C. Проведено сопоставление температурных

зависимостей предела прочности титановых сплавов на основе кластерного анализа.

На основе обобщения литературных данных, результатов производственных испытаний и промышленного контроля проведен корреляционно-регрессионный анализ для исследования зависимостей механических свойств от содержания легирующих элементов и примесей (в перерасчете на эквиваленты по алюминию и молибдену), типа и параметров структуры различных полуфабрикатов из сплавов типа Ti-6Al-4V. Выявлено структурное состояние с учетом химического состава, обеспечивающее требуемый уровень механических свойств прутков диаметром 16-155 мм из сплава ВТ6 после отжига. Проведена оценка влияния колебаний марочного состава и режимов закалки на механические свойства штампованных поковок дисков из сплава ВТ6, что позволило разработать рекомендации по повышению относительного удлинения и ударной вязкости путем корректировки состава шихты.

III. Характеристика научной новизны

В диссертационной работе на основе кластерного анализа выявлено 8 групп (кластеров) серийных титановых сплавов с одинаковой интенсивностью снижения предела прочности с ростом температуры. Разработаны зависимости, которые позволяют проводить прогнозирование уровня прочности отожженных полуфабрикатов в условиях эксплуатации, если известно его значение при комнатной температуре.

Научный интерес представляют данные по оценке степени влияния α -стабилизаторов и нейтральных упрочнителей (в перерасчете на прочностной эквивалент по алюминию) на прочностные свойства. Статистически обосновано, что основной вклад в сохранение прочности при повышенных температурах вносят элементы, эквивалентные алюминию. Установлено, что коэффициент упрочнения составляет 40-60 МПа/% (м.) в зависимости от температуры испытания в интервале 20-600°C.

На основе исследования температурных зависимостей предела прочности построены прочностные диаграммы в координатах «Предел

прочности – эквивалент по алюминию – эквивалент по молибдену», которые позволяют проводить моделирование состава сплава с заданным уровнем прочности при температурах 20-600°C.

Предложена корректировка моделей для оценки предела прочности, характеристик пластичности и ударной вязкости кованных, прессованных и катаных прутков разного диаметра из сплавов типа Ti-6Al-4V (ВТ6, ВТ6С, Grade 5, Grade23) после стандартного отжига. Статистически обосновано, что марочное изменение суммарного содержания ванадия и железа (в перерасчете на прочностной эквивалент по молибдену) с 2,0 до 3,5% не оказывает значимого влияния на их пластичность и ударную вязкость.

Установлены значения эквивалентов по алюминию и молибдену с учетом параметров структуры разного типа, которые обеспечивают выполнение требований ОСТ1 90173-75 и ОСТ1 90266-86 к механическим свойствам катаных прутков диаметром 16-155 мм из сплава ВТ6.

IV. Оценка практической значимости работы

Автором разработаны различные модели для прогнозирования (с доверительной вероятностью 0,95):

- 1) средних типичных значений предела прочности отоженных прутков и листов разных сплавов в зависимости от эквивалентов по алюминию и молибдену и температуры испытания в интервале от 20 до 600°C. Показано, что это дает возможность не только проводить прогнозирование прочностных свойств серийных сплавов при различных температурах, но и обосновать оптимальные составы новых сплавов с учетом требований к условиям их эксплуатации;
- 2) механических свойств промышленных прутков диаметром 14-155 мм из различных модификаций сплава Ti-6Al-4V в зависимости от колебаний химического состава и структуры после отжига.

В диссертационной работе также предложены рекомендации по корректировке химического состава поковок дисков сплава ВТ6 на основе вероятностно-статистического подхода. Сделан вывод, что для исключения выпадов по «3σ»-интервалу и возможности появления брака целесообразно

снизить расчетное содержание легирующих элементов и кислорода в слитках сплава ВТ6 путем корректировки состава шихты.

V. Достоверность полученных результатов

Достоверность результатов, полученных в работе, подтверждается большим теоретическим, производственным и экспериментальным материалом, полученным в лабораторных условиях при использовании современных методов исследований, широким использованием статистических методов оценки достоверности полученных данных, применением современных программных средств обработки и анализа данных.

VI. Замечания

1. В диссертации автор отмечает, что при статистическом анализе температурных зависимостей предела прочности были объединены листы и прутки на основе процедуры «Сравнение регрессий». Следовало привести хотя бы несколько рисунков, на которых сопоставлены такие зависимости для листов и прутков. Как видно из табл. 3.1.2, такие данные имеются для технического титана, сплавов ВТ5-1, ОТ4-0, ВТ20, ВТ6С и др. Это сделало бы сопоставление более наглядным.
2. В первой главе приведен обзор работ по влиянию параметров структуры на механические свойства сплава Ti-6Al-4V. Следовало провести их сопоставление как между собой, так и с результатами, полученными в диссертационной работе. Кроме этого, в литературном обзоре проанализированы работы по влиянию структуры на механические свойства титановых сплавов при комнатной температуре, но аналогичные сведения при температурах эксплуатации освещены недостаточно.
3. В работе исследовано влияние только некоторых параметров структуры разного типа на механические свойства прутков сплава ВТ6. В

частности, в модель, позволяющую прогнозировать предел прочности прутков со смешанной структурой, включены размер глобулей первичной α -фазы и толщина пластин вторичной α -фазы. Вместе с тем, важное значение могут иметь такие параметры, как количество частиц глобулярной α -фазы, расстояние между ними, степень их глобуляризации.

Сделанные замечания носят рекомендательный характер и не изменяют общую высокую оценку работы.

VII. Заключение

В целом представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основе статистических исследований литературных, производственных и экспериментальных данных изложены научно-обоснованные технические и технологические решения, связанные с разработкой принципов прогнозирования механических свойств полуфабрикатов из титановых сплавов при температурах 20–600°C в зависимости от химического состава и структуры.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 22 научно-технических конференциях, опубликованы в 29 печатных работах, в том числе в 4 статьях в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК и в 3 статьях в журналах, включенных в международные системы цитирования. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в авиакосмической, машиностроительной, медицинской и других наукоемких отраслях, связанных с проектированием и производством изделий и конструкций из титановых сплавов.

Автореферат полностью отражает 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 Шмырова Алиса Владимировна заслуживает присуждения

ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 –
Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Отзыв рассмотрен на заседании кафедры термообработки и физики
металлов, протокол № 11 от 10 октября 2021 года. На заседании
присутствовало 31 членов из 36. Результаты голосования: «за» –
31, против – нет, воздержавшихся -- нет.

Заведующий кафедрой

термообработки и физики металлов,

ФГАОУ ВПО «УрФУ»

Проф., д.т.н.

Попов Артемий Александрович

Адрес организации:

620002, Уральский федеральный округ, Свердловская область,
г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

Наименование организации:

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина»

Электронный адрес: contact@urfu.ru

Телефон: +7 (343) 375-44-44