



121596, Tel. +7-495-446-89-50

www.titan-association.com

Дата № АТ-1/

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Чибисовой Евгении Валерьевны

«Прогнозирование и обоснование стабильности механических свойств деформированных полуфабрикатов из титановых сплавов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические науки)

1. Актуальность

В настоящее время трудно представить развитие и дальнейшее совершенствование современного авиа- и машиностроения без широкого применения титановых сплавов, несмотря на спад производства и потребления титановой продукции, связанный с пандемией коронавируса. По итогам 2020 года сокращение объемов потребления титановой продукции авиационного назначения в мире составило более 28%. Более того, в 2021 г. потребность относительно 2020 г. еще сократится на 32%.

По данным корпорации ВСМПО-АВИСМА в отличие от зарубежных стран пандемия коронавируса не оказала существенного влияния на потребление титана в Российской Федерации и в 2021 г. спрос сохранился на стабильном уровне по сравнению с 2020 г. (около 4 тыс. тонн в 1 полугодии). Восстановление рынка прогнозируется к 2022 году, при этом необходимо отметить, что в настоящее

время авиастроение находится на этапе интенсивной эволюции авиационной техники. В ведущих авиакомпаниях ожидается процесс обновления парка новыми моделями самолетов с более экономичными и экологичными двигателями нового поколения. Естественно, что все это стимулирует работы в области разработки новых высокотехнологичных материалов, оптимизации химического состава и свойств традиционных титановых сплавов, совершенствования существующих и разработки новых инновационных технологических процессов, в том числе основанных на IT технологиях. Особенно активно работы в этой области в нашей стране начали развиваться с 2010 года, когда по инициативе ВИАМ, Российской академии наук и ряда других крупных научных центров была принята Технологическая платформа «Материалы и технологии металлургии», в рамках которой, в частности предусматривается разработка технологий создания систем моделирования материалов, расчета и проектирования технологических процессов, прогнозирование свойств и структуры, создание новых компьютерных методов диагностики и контроля материалов и конструкций.

В связи с этим, диссертационная работа Чибисовой Е.В., направленная на установление статистических закономерностей влияния химического состава, структуры и режимов термической обработки на механические свойства титановых сплавов и разработку достоверных методов прогнозирования и обеспечения качества полуфабрикатов, является актуальной и перспективной.

2. Общая характеристика работы

Диссертация Чибисовой Е.В. посвящена поискам общих закономерностей, выявляющих зависимости температуры полиморфного превращения и кратковременных механических свойств от химического состава, выраженного через обобщенные (интегральные) характеристики, в качестве которых, как убедительно показано в диссертации, можно использовать эквиваленты по алюминию и молибдену. Кроме этого, проведены статистические исследования зависимости механических свойств прутков и поковок сплавов типа Ti-6Al-4V, VT3-1 и Ti-10-2-3 от структуры и режимов термической обработки.

Отличие работы Чибисовой Е.В. от аналогичных состоит в том, что, во-первых, исследования основаны на статистическом подходе и выполнены с использованием большого количества промышленных полуфабрикатов, изготовленных по серийным технологиям. Всего изучено более 6000 слитков и около 3750 образцов для механических испытаний. Во-вторых, особое внимание в работе уделено статистическому исследованию стабильности химического состава и свойств полуфабрикатов, а результаты прогнозирования использованы при разработке предложений по повышению качества полуфабрикатов из титановых сплавов типа Ti-6Al-4V. В-третьих, на этом автор не останавливается и предлагает концепцию создания открытой веб-платформы «Титановые сплавы», разрабатывает архитектуру базы данных и пользовательский интерфейс.

3. Научная новизна

Диссертантом на основе статистической оценки стабильности химического состава показано, что суммарное влияние легирующих элементов и примесей, выраженное через эквиваленты по алюминию и молибдену, может определять до 40% разброса температуры полиморфного превращения и кратковременных механических свойств полуфабрикатов из сплавов типа Ti-6Al-4V, BT3-1 и Ti-10-2-3 в пределах технических нормативов.

Для сплавов типа Ti-6Al-4V выявлены предельно допустимые колебания химического состава, которые обеспечивают стабильность свойств и температуры полиморфного превращения. Показано, что стандартное отклонение для эквивалента по алюминию не должно превышать 0,25% (по массе), а для эквивалента по молибдену – 0,15%. Установлено, что для исключения возможности образования алюминида титана в сплавах типа Ti-6Al-4V среднее расчетное значение эквивалента по алюминию должно соответствовать $\leq 8,0\%$.

Уточнена эффективность влияния кислорода, как легирующего элемента (до 0,7% по массе), на предел прочности титана и его сплавов. Предложена корректировка формулы для расчета прочностного эквивалента по алюминию с учетом возможности легирования кислородом титана до 0,4% и его сплавов до 0,25%.

На основе обобщения литературных сведений и производственных данных построена диаграмма в координатах «Температура полиморфного превращения - структурный эквивалент по молибдену – структурный эквивалент по алюминию»,

которая является статистическим обоснованием границы $\alpha+\beta \rightarrow \beta$ -перехода в зависимости содержания α - и β -стабилизаторов.

4. Практическая значимость

В диссертации получен целый ряд результатов, имеющих важное практическое значение. Статистически обоснованы уравнения регрессии, которые позволяют осуществлять прогнозирование температуры полиморфного превращения слитков титановых сплавов разных классов и кратковременных механических свойств деформированных полуфабрикатов (катаных прутков из сплава ВТ6 диаметром 15-150 мм; штампованных поковок из сплавов ВТЗ-1 и Ti-10-2-3) с ошибками, определяемыми современным технологическим уровнем производства.

Рекомендации, разработанные для повышения стабильности механических свойств прутков из сплава ВТ6, позволяют выбирать режимы отжига в зависимости от химического состава и типа структуры. Кроме этого, предложено сузить диапазон легирования алюминием, ванадием и кислородом, а также контролировать предельно допустимое содержание алюминия с учетом других α -стабилизаторов (кислорода, углерода, азота), исключая образование алюминида титана.

В диссертации предложена концепция открытой автоматизированной информационной системы «Титановые сплавы», состоящей из нескольких модулей, которые позволяют сохранять справочные и экспериментальные сведения, осуществлять поиск по различным параметрам, проводить прогнозирование и др. Особенностью является то, что в АИС предусмотрена возможность обсуждения полученных результатов.

5. Достоверность результатов

Основные положения диссертации и общие выводы по ней достоверны, что обусловлено использованием современных методов статистического исследования зависимостей свойств полуфабрикатов из титановых сплавов от их химического состава, структуры и термической обработки, согласованием полученных результатов с современными представлениями научного материаловедения, широким использованием статистических методов оценки достоверности

полученных данных, применением современных программных средств обработки и анализа данных.

6. Замечания

1. Целесообразно было привести расчетные данные для наиболее исследованных в диссертации сплавов (ВТ6, ВТ6С, ВТ3-1, Ti-10-2-3), легированных по верхнему и нижнему пределам, что могло бы дать рекомендации по обоснованности существующих пределов по ТУ.

2. В диссертации для оценки механических свойств поковок из сплава Ti-10-2-3 предложена модель, позволяющая проводить прогнозирование в зависимости от эквивалентов по алюминию и молибдену и температур закалки и старения. Судя по тексту диссертации, эта модель справедлива в довольно узком диапазоне изменения режимов термической обработки (температура нагрева под закалку 763-798°C, температура старения 500-515°C). Вместе с тем, в диссертации приведено и статистически проанализировано много литературных данных, которые следовало объединить с результатами производственных испытаний для получения обобщенной модели, позволяющей проводить прогнозирование механических свойств в зависимости от химического состава и режимов упрочняющей термической обработки, лежащих в более широких пределах, но удовлетворяющих НД.

3. В производственных условиях оценку стабильности техпроцессов проводят в соответствии с требованиями руководства сертификационного центра «Материал» Р СЦМ-04-2010 «Оценка качества авиационных материалов/полуфабрикатов при сертификации их производства». Для оценки стабильности, помимо стандартных статистических процедур, обычно строят контрольные карты и определяют индексы пригодности или воспроизводимости, что было бы целесообразно представить в диссертации.

4. В тексте встречаются не очень качественные рисунки (например, рис. 3.2.16) и опечатки (например, на стр. 127 вместо Cr напечатано непонятный символ Vj и др.).

Следует отметить, что замечания не снижают общей высокой оценки диссертации и относятся к пожеланиям, говорящим о важности проведенной работы и полученных в ней результатов.

7. Заключение

В целом представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения, связанные с разработкой методов прогнозирования и повышения стабильности свойств деформированных полуфабрикатов из титановых сплавов в зависимости от их химического состава, структуры и термической обработки.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 23 научно-технических конференциях, опубликованы в 46 печатных работах, в том числе в 12 статьях в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в машиностроении, медицине, аэрокосмической технике и других наукоемких отраслях промышленности.

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 Чибисова Евгения Валерьевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические науки).

Генеральный директор
ЗАО «Межгосударственная ассоциация Титан»

К.т.н.



Александров

Андрей Валентинович

09.11.2021