

11.11.2021 № Исх. №05-19/1-99  
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  
Чибисовой Евгении Валерьевны на тему «Прогнозирование и обоснование  
стабильности механических свойств деформированных полуфабрикатов из  
титановых сплавов», представленной на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические  
науки)

### 1. Актуальность работы

Диссертационная работа относится к тем перспективным исследованиям, которые проводятся в последние годы в связи с распространением CALS технологий при проектировании и конструировании изделий, совершенствовании и оптимизации существующих технологических процессов производства, разработке новых материалов и технологий их обработки и т.п. В частности, такие работы активно развиваются в УрФУ, где создано новое научное направление «Консолидированный компьютерный анализ процессов получения и эксплуатации металлических материалов в

машиностроении», в рамках которого сформулирована концепция информационного материаловедения, включающего формирование и организацию баз данных, компьютерную обработку экспериментальных данных, математическое моделирование структуры и свойств материалов, создание на основе моделей качественного программного обеспечения для инженерингового анализа и др. Именно к этой области относятся исследования, выполненные в диссертационной работе Чибисовой Е.В.

Работа, в первую очередь, посвящена проблематике создания достоверных моделей для прогнозирования различных характеристик титановых сплавов, что в свою очередь позволяет проводить моделирование состава сплавов с заданными свойствами, оптимизацию марочного состава и режимов термической обработки, формирование баз данных по химическому составу и механическим свойствам промышленных полуфабрикатов и т.п.

Особенностью диссертационной работы является то, что исследования проведены с использованием комплексного статистического анализа результатов экспериментальных исследований, производственных испытаний и промышленного контроля полуфабрикатов, изготовленных по серийным технологиям. В этой связи работа Чибисовой Е.В., направленная на установление статистических закономерностей влияния химического состава, режимов термической обработки, структуры на механические свойства прутков и поковок из титановых сплавов, обоснование регрессионных моделей для прогнозирования комплекса свойств и повышение качества полуфабрикатов, является своевременной и актуальной.

## **II. Характеристика научной новизны**

В диссертационной работе показано, что марочные колебания каждого легирующего элемента и примесей могут удовлетворять нормативным требованиями и не оказывать значимого влияния на разброс свойств полуфабрикатов. Однако их суммарное воздействие (в перерасчете на эквиваленты по алюминию и молибдену) на температуру полиморфного превращения и механические свойства титановых сплавов может составлять до 40 % разброса в пределах технических нормативов. В связи с этим

обоснованы предельно допустимые колебания химического состава, которые обеспечивают стабильность свойств и температуры полиморфного превращения для сплавов типа Ti-6Al-4V. Установлено, что стандартные отклонения для эквивалентов по алюминию и молибдену должны удовлетворять требованиям:  $S_{[Al]} \leq 0,25\%$ ,  $S_{[Mo]} \leq 0,15\%$ . При этом среднее расчетное значение структурного эквивалента по алюминию не должно превышать 8,0% при стандартном отклонении  $S_{[Al]} \leq 0,25\%$  для исключения образования алюминида титана в сплавах типа Ti-6Al-4V.

Построена диаграмма «Температура полиморфного превращения – структурный эквивалент по алюминию – структурный эквивалент по молибдену», позволяющая проводить прогнозирование температуры полиморфного превращения титановых сплавов с доверительной вероятностью 0,95.

Научный интерес представляют данные о том, что что 0,1 % кислорода повышает предел прочности на 125 МПа только при его содержаниях в сплавах менее 0,15 % по массе. В интервале концентраций от 0,15 до 0,4% влияние кислорода ослабляется и составляет ~85 МПа, а при 0,4÷0,7% – ~60 МПа на 0,1%. Предложена корректировка формулы для расчета прочностного эквивалента по алюминию с учетом возможности легирования титана и его сплавов кислородом.

### **III. Оценка практической значимости работы**

Автором разработаны модели для прогнозирования (с доверительной вероятностью 0,95) температуры полиморфного превращения слитков титановых сплавов разных классов и механических свойств прутков сплавов типа Ti-6Al-4V, поковок сплавов ВТЗ-1 и Ti-10V-2Fe-3Al.

Предложены рекомендации для повышения стабильности температуры полиморфного превращения и механических свойств полуфабрикатов из сплавов типа Ti-6Al-4V путем корректировки состава слитков и режимов отжига. Показано, что для повышения качества слитков целесообразно сузить диапазон легирования алюминием, ванадием и кислородом, а также

контролировать предельно допустимое содержание алюминия с учетом других  $\alpha$ -стабилизаторов, исключая образование алюминида титана.

В диссертационной работе предложена концепция создания многопользовательской системы, предназначенной для сбора, хранения в открытом доступе и обработки данных по титановым сплавам, прогнозирования свойств сплавов и открытого обсуждения результатов. Разработаны прототипы базы данных и пользовательского интерфейса системы.

#### **IV. 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.

#### **V. Замечания**

1. В диссертации автор отмечает, что при эквиваленте по алюминию более 9% (по массе) наблюдается падение характеристик пластичности и ударной вязкости сплавов типа Ti-6Al-4V, что может быть связано с образованием  $\alpha_2$ -фазы. Следовало подтвердить это экспериментально или дать более полный обзор работ, в которых отражен этот факт.
2. В литературном обзоре обобщено много моделей для прогнозирования механических свойств различных титановых сплавов в зависимости от химического состава (см. табл. 1.2.1, 1.2.2) и структуры (см. табл. 1.3.6, 1.3.7). Следовало провести их сопоставление как между собой, так и с результатами, полученными в диссертационной работе.
3. В диссертации сделан вывод о том, что для поковок сплава ВТЗ-1 доля вариации прочности, обусловленная колебаниями химического состава,

составляет ~40%, а влиянием типа структуры - ~20%, параметров структуры – ~30-60%. Из текста следует, что этот вывод был сделан на основе исследования свойств поковок двух типоразмеров, хотя указано, что всего изучено 13 типоразмеров. Поэтому не ясно, подтвердилось ли это заключение для всех исследованных поковок. Этот факт никак не отражен в диссертации.

4. В диссертации предложена концепция открытой автоматизированной информационной системы «Титановые сплавы». Однако не проведено ее сопоставление с другими аналогичными системами, не отмечено, в чем ее особенность или специфика.

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 комплексного статистического анализа литературных, производственных и экспериментальных данных изложены научно обоснованные технические и технологические решения, связанные с разработкой принципов прогнозирования температуры полиморфного превращения и механических свойств полуфабрикатов из титановых сплавов, повышением их стабильности путем корректировки химического состава и режимов отжига, созданием автоматизированной информационной системы «Титановые сплавы».

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

Отзыв рассмотрен на заседании кафедры термообработки и физики металлов, протокол № 11 от 10 ноября 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](mailto:contact@urfu.ru)

Телефон: +7 (343) 375-44-44