

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уфимский государственный  
авиационный технический университет»  
(ФГБОУ ВО «УГАТУ»)**

К. Маркса ул., д. 12, Уфа, 450008

Телефон: +7 (347) 272-63-07

Факс: +7 (347) 272-29-18

E-mail: [office@ugatu.su](mailto:office@ugatu.su); <http://www.ugatu.su>

28.05.2018 № 546/1405-13

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

О согласии ведущей организации

Уважаемый Владимир Дмитриевич!

Университет подтверждает свое согласие выступить в качестве ведущей организации по диссертационной работе Дашкевич Н.И. на тему «Исследование фазового состава и разработка новой технологии приготовления многокомпонентных сплавов на основе алюминидов титана с целью получения фасонных отливок с заданным комплексом служебных свойств», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04 – Литейное производство.

Ректор



Н.К. Криони

Председателю  
диссертационного совета Д 212.132.02  
на базе НИТУ «МИСиС»  
д.т.н., профессору В.Д. Белову

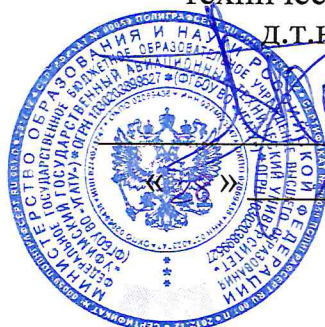
119049, г. Москва,  
Ленинский проспект, 4

**УТВЕРЖДАЮ**  
Ректор ФГБОУ ВО «Уфимский  
государственный авиационный  
технический университет»

Д.Т.Н., профессор

Н. К. Криони

\_\_\_\_\_ 2018 г.



### **Отзыв ведущей организации**

на диссертационную работу Дашкевич Нины Игоревны

«Исследование фазового состава и разработка новой технологии  
приготовления многокомпонентных сплавов на основе алюминидов титана с  
целью получения фасонных отливок с заданным комплексом  
служебных свойств»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.16.04. – «Литейное производство»

#### **Актуальность темы исследования**

В настоящее время улучшение эксплуатационных характеристик газотурбинных двигателей является одной из основных задач в области авиадвигателестроения. Непрерывное ужесточение требований к снижению массы и повышению надежности работы элементов конструкций авиадвигателей требует использование новых материалов и технологий при производстве деталей. Одним из перспективных материалов для изготовления деталей авиадвигателей, включая лопатки турбины и компрессора, являются гамма-сплавы на основе алюминида титана. В связи с чем проблема исследования фазового состава и разработка технологии многокомпонентных сплавов на основе алюминидов титана является весьма актуальной, а для авиадвигателей следующих поколений, которые разрабатываются в настоящее время, для ряда узлов является определяющей. При замене никелевых сплавов гамма-сплавами происходит снижение почти в 2 раза массы лопаток, что обеспечивает уменьшение действующих центробежных напряжений в компрессоре и турбинах почти в 2 раза.



Наряду с высокими удельными механическими свойствами гамма-сплавов имеются сложности как с разработкой составов, так и с технологией их получения, поскольку данные сплавы обладают высокой чувствительностью к изменениям фазового состава при небольших изменениях концентраций легирующих элементов и параметрам технологии производства, что сказывается на структуре сплавов и их механических и литейных свойствах. Следует отметить, что в настоящее время в России отсутствует серийное производство гамма-сплавов третьего поколения на основе алюминидов титана и изделий из них. При этом для изготовления опытных деталей используются импортные сплавы, что недопустимо для изделий специальной техники.

В соответствии с вышеотмеченным, работу Дашкевич Нины Игоревны следует считать актуальной, так как она посвящена решению важных для практики проблем, а именно исследованию фазового состава и разработке новой технологии приготовления многокомпонентных сплавов на основе алюминидов титана с целью получения фасонных отливок с заданным комплексом служебных свойств.

### **Оценка структуры и содержания работы**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 125 наименований и 5 приложений. Диссертация изложена на 255 страницах машинописного текста, содержит 89 таблиц, 6 формул, 148 рисунков.

Во введении автором обоснована актуальность исследуемых проблем, описаны цели работы, научная новизна и практическая значимость.

В первой главе представлен аналитический обзор литературы по тематике исследования. Приведены конкретные данные, позволяющие оценить связь между составом известных гамма-сплавов, структурой и их служебными свойствами. Представлены особенности технологий получения гамма-сплавов. Сформулированы цели диссертационной работы.

Во второй главе описывается методика проведения исследований, представлены данные об объекте исследования, условиях проведения экспериментальных лабораторных и промышленных плавов, на которых исследовали процесс приготовления гамма-сплавов и лигатур. Описаны методики проведения исследований структуры и свойств материалов, в том числе высокотемпературных испытаний.

В третьей главе представлены результаты проведенного количественного анализа фазового состава тройных, четверных и пятерных систем в области гамма-сплавов на основе алюминидов титана. С использованием программы Thermo-Calc проведен расчетный анализ тройных, четверных и пятерных систем на основе Ti-Al в области гамма-сплавов, в состав которых кроме Ti и Al входят Nb, Mo, Cr, V, Zr, W, Mn и Si. Определен фазовый состав сплавов. Представлены изотермические и политермические разрезы в области гамма сплавов TiAl, которые позволяют оценить влияние элементов на температуру фазовых переходов и фазовый состав многокомпонентных гамма-сплавов при определенных температурах и определяют границы концентраций элементов, при которых не появляются нежелательные фазы. Исследованы особенности неравновесной кристаллизации тройных, четверных и пятерных систем, определено влияние элементов на интервал кристаллизации сплавов, который определяет литейные свойства. Полученные результаты являются важными для разработки новых составов отечественных гамма-сплавов.

Следует отметить, что результаты расчетных исследований опубликованы в учебном пособии «Фазовый состав многокомпонентных гамма-сплавов на основе алюминидов титана», глава 2,3,4 (Издательство ВИАМ, 2018 г.).

В четвертой главе автор приводит результаты исследования в лабораторных и промышленных условиях процесса приготовления гамма-сплава третьего поколения типа TNM-B1. Представлено подробное описание экспериментальных работ с использованием индукционной и дуговой плавки. Установлено, что использование чистых тугоплавких элементов в процессе индукционной плавки не обеспечивает их усвоение в расплаве. Показано, что



весьма перспективной является технология приготовления гамма-сплавов с использованием лигатур Al-Nb и Al-Mo, применение которых существенно повышает усвоение тугоплавких элементов, обладающих повышенной плотностью. При этом обеспечивается получение требуемой структуры гамма-сплавов, а после проведения последующих операций горячего изостатического прессования и термообработки российский аналог гамма-сплава, полученный с использованием вышеуказанных лигатур, по структуре и свойствам сопоставим с импортным аналогом – сплавом третьего поколения TNM-B1. При этом предел прочности полученного материала превышает все другие известные сплавы-аналоги.

В пятой главе представлена оценка эффективности разработанной технологии изготовления отливок лопаток газотурбинных двигателей из гамма-сплавов Ti-Al. Проведена сравнительная оценка эффективности изготовления отливок лопаток компрессора высокого давления (КВД) авиадвигателя технологией индукционного переплава слитков готового сплава TNM-B1 (производство компании GFE, Германия) с заливкой в центробежно-вращающиеся керамические формы в условиях ПАО «ОДК-УМПО» и технологии, основанной на совмещении процесса приготовления сплава-аналога TNM-B1 с использованием лигатур Al-Nb и Al-Mo с процессом изготовления отливок по безмодельной технологии методом гравитационного литья в многоразовые графитовые формы в условиях НИТУ «МИСиС». Проведено компьютерное моделирование процессов литья. Показано, что структура и свойства полученных разными способами лопаток КВД сопоставимы. При этом разработанная технология, основанная на совмещении процессов приготовления гамма-сплава и литья лопаток КВД, может являться перспективной для использования в условиях российских машиностроительных предприятий.

В заключении перечислены основные научные и практические результаты исследований.

## Новизна полученных результатов

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке нового способа получения отливок из гамма-сплавов Ti-Al, основанного на совмещении процесса приготовления сплава с использованием лигатур и литья в многоразовые графитовые формы, изготовленные по безмодельной технологии, на базе проведенного количественного анализа фазового состава тройных, четверных и пятерных систем в области гамма-алюминидов титана.

Наиболее существенные научные результаты, полученные в диссертационной работе, заключаются в:

- проведении расчетного анализа тройных, четверных и пятерных систем на основе Ti-Al в области гамма-сплавов с содержанием в композициях Nb, Mo, Cr, V, Zr, W, Mn и Si с установлением особенностей фазовых превращений при равновесной и неравновесной кристаллизации, составы фаз при различных температурах и температуры фазовых переходов в системах Ti-Al-X, Ti-Al-X-Y, Ti-Al-Nb-X-Y;
- определении влияния различных легирующих элементов на интервал кристаллизации гамма-сплавов на основе алюминидов титана;
- разработки новой технологии приготовления гамма-сплава системы Ti-Al-Nb-Mo с использованием лигатур Al-Mo и Al-Nb;
- определении составов перспективных гамма-сплавов с оптимальным соотношением  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$ ,  $\alpha_2$  фаз, обеспечивающим повышение эксплуатационных свойств отливок: Ti-43Al-4Nb-1Mo, Ti-40Al-4Nb-1Mo, Ti-43Al-4Nb-1Mo-1Cr, Ti-43Al-4Nb-1Mo-1Cr-1Zr;
- установлении влияния примесей в исходной титановой шихте на структуру гамма-сплавов и отливок из них;
- обосновании, что требуемую структуру сплава, соответствующую базовому сплаву TNM-B1, нельзя получить, используя в шихте губчатый титан марки ТГ 110, но возможно ее получение при применении иодидного титана.



**Достоверность полученных результатов, обоснованность научных положений и выводов** подтверждается:

- Убедительным массивом расчетных и экспериментальных данных, позволяющим сделать обоснованные выводы.
- Корректностью поставленной задачи.
- Применением современных методов металлографического анализа и испытательного оборудования.
- Качественным согласованием результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Диссертационная работа написана технически грамотным языком и наглядно оформлена в соответствии с действующими нормативами. Автореферат диссертации соответствует ее содержанию.

Основные результаты работы опубликованы в научных журналах, входящих в перечень изданий рекомендованных ВАК.

#### **Практическая значимость результатов, полученных автором диссертации**

Практическая значимость результатов заключается в разработке новой импортозамещающей технологии получения гамма-сплавов Ti-Al, основанной на использовании лигатур Al-Mo и Al-Nb, обеспечивающих введение основных легирующих элементов в расплав с максимальной эффективностью их усвоения за счет температуры плавления и плотности лигатур.

#### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Показана перспективность разработанной технологии получения гамма-сплавов Ti-Al с использованием лигатур Al-Mo и Al-Nb. Показана возможность изготовления в производственных условиях ПАО «ОДК-УМПО» на индукционной плавильно-заливочной установке Consarc качественных отливок «Лопатка КВД» литьём в оболочковые керамические формы в поле центробежных сил как из базового сплава TNM-B1, так и его российского аналога. Показана возможность применения многоразовых литейных форм из графита при изготовлении отливок «Лопатка КВД» из российских

интерметаллидных титановых сплавов. Предлагаемая технология производства фасонных отливок основана на использовании только российских материалов, как для приготовления расплава, так и для изготовления формы, что делает ее полностью импортонезависимой и экономически эффективной.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. Не достаточно обоснован режим термообработки после операции горячего изостатического прессования, который использовался в работе.
2. Не проведена оптимизация режима термообработки гамма-сплава для устранения микротрещин в структуре.
3. Не приводятся данные по формированию альфированного слоя в отливках при литье гамма-сплава в графитовые формы, изготовленные по безмодельной технологии.
4. Было бы целесообразно дополнительно провести усталостные испытания лопаток КВД.
5. Автор не указывает на графиках исследования механических свойств сплава-аналога TNM-B1 коэффициенты корреляции, тем самым снижая их информативность.

### **Заключение**

Диссертационная работа Дашкевич Нины Игоревны на соискание ученой степени кандидата технических наук отвечает требованиям ВАК РФ в части п.9 Положения о присуждении ученых степеней (утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842), в ней содержится решение задач, имеющих большое значение для машиностроительной отрасли, а именно: установлены особенности фазовых превращений при равновесной и неравновесной кристаллизации, составы фаз при различных температурах и температуры фазовых переходов многокомпонентных гамма-сплавов; определено влияние различных легирующих элементов на интервал кристаллизации гамма-сплавов на основе алюминидов титана, что позволило определить составы перспективных гамма-сплавов; установлено влияние примесей в исходной титановой шихте на



структуру гамма-сплавов и отливок из них; разработана новая импортозамещающая технология получения гамма-сплавов; предложен новый способ получения отливок из гамма-сплавов, основанный на совмещении процесса приготовления сплава и литья в многоразовые графитовые формы, изготовленные по безмодельной технологии, который реализуется на российских машиностроительных предприятиях, в частности ПАО «ОДК-УМПО».

Автор диссертационной работы «Исследование фазового состава и разработка новой технологии приготовления многокомпонентных сплавов на основе алюминидов титана с целью получения фасонных отливок с заданным комплексом служебных свойств» Дашкевич Нина Игоревна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04. – «Литейное производство».

Отзыв обсужден на заседании кафедры «Машины и технологии литейного производства» (протокол № 36 от «28» мая 2018 г. ).

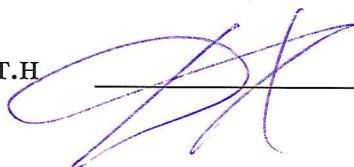
Отзыв составил:

д.т.н., заведующий кафедрой  
«Машины и технологии  
литейного производства»  
ФГБОУ ВО «УГАТУ»



Павлинич Сергей Петрович

Ученый секретарь кафедры  
«Машины и технологии  
литейного производства»  
ФГБОУ ВО «УГАТУ», к.т.н.



Деменок Олег Борисович

450008, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12  
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»  
Тел.: (347) 273 79 27,  
E-mail: office@ugatu.su

04.06.2018г.

Р212.132.02



## Сведения о ведущей организации

по диссертационной работе Дашкевич Н.И.

на тему «Исследование фазового состава и разработка новой технологии приготовления многокомпонентных сплавов на основе алюминидов титана с целью получения фасонных отливок с заданным комплексом служебных свойств», представляемую на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04 – «Литейное производство»

Полное наименование организации в соответствии с уставом	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет»
Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом	ФГБОУ ВО «УГАТУ»
Ведомственная принадлежность	Министерство образования и науки Российской Федерации
Почтовый индекс, адрес организации	450008, Российская Федерация, Приволжский федеральный округ, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12
Официальный сайт организации	<a href="http://www.ugatu.ru">www.ugatu.ru</a>
Адрес электронной почты	<a href="mailto:office@ugatu.ru">office@ugatu.ru</a>
Телефон	+7 (347) 273 79 27, +7 (347) 272 63 07
Список основных публикаций работников структурного подразделения, составляющего отзыв, по теме диссертации за последние 5 лет (не более 15 публикаций)	<p>1. Мухамадеев И.Р., Деменок О.Б., Ганеев А.А., Павлинич С.П., Аликин П.В. Выбор связующих на водной основе для оболочковых форм литья по выплавляемым моделям титановых сплавов. Вестник ЮУрГУ. 2015. № 3. С. 3-15.</p> <p>2. Смирнов В.В., Павлинич С.П., Бакерин С.В., Хайруллина А.М. Моделирование литниковых систем для центробежного литья лопаток ГТД из интерметаллидных сплавов в программном комплексе ProCast. Металлург. 2013. № 11. С. 23-26.</p> <p>3. Павлинич С.П., Зайцев М.В. Применение интерметаллидных титановых сплавов при литье узлов и лопаток ГТД с облегченными высокопрочными конструкциями для авиационных двигателей новых поколений. Вестник УГАТУ. 2011. № 4. С. 200-202.</p> <p>4. Белов В.Д., Петровский П.В., Фадеев А.В., Павлинич С.П., Аликин П.В. Некоторые особенности</p>



литья лопаток ТНД газотурбинного двигателя из интерметаллида титана. Литейщик России. 2014. № 1. С. 10-12.

5. Белов В.Д., Павлинич С.П., Фадеев А.В. Интерметаллид Ti-Al – материал завтрашнего дня для российского двигателестроения. Литейщик России. 2013. № 11. С. 12-14.

6. Павлинич С.П., Мысик Р.К., Бакерин С.В., Брусницын С.В., Сулицин А.В. Исследование структуры и механических свойств литых лопаток турбины низкого давления из интерметаллидного титанового сплава. Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2014. № 4. С. 62-69.

7. Павлинич С.П., Бакерин С.В., Брусницын С.В., Сулицин А.В., Карпинский А.В. Исследование структуры и свойств шихтовой заготовки для выплавки интерметаллидного сплава. Литейщик России. 2012. № 2. С. 17.

8. Павлинич С.П., Бакерин С.В., Хайруллина А.М., Сулицин А.В., Карпинский А.В., Груздева И.А. Структура и свойства отливки ответственного назначения из интерметаллидного титанового сплава Литейщик России. - 2012. - № 1. 5. - С. 34-35.

9. Павлинич С.П., Мысик Р.К., Зайцев М.В., Бакерин С.В., Хайруллина А.М., Брусницын С.В., Сулицин А.В. Влияние технологических параметров плавки и литья на качество сложнопрофильной отливки из интерметаллидного титанового сплава Литейщик России. - 2013. - №5. - С. 15-18.

10. Павлинич С.П., Мысик Р.К., Зайцев М.В., Бакерин С.В., Хайруллина А.М., Брусницын С.В., Сулицин А.В. Выбор конструкции и расчет элементов литниково-питающей системы для получения литой лопатки турбины низкого давления. Литейщик России. 2013. №6. С. 38-40.

Ректор



Н.К. Криони