



<https://doi.org/10.38013/2542-0542-2020-2-83-92>

УДК 666.3/.7:629.7

## Высокотемпературные теплозащитные, керамические и металлокерамические композиционные материалы для авиационной техники нового поколения

Ю. А. Балинова, Д. В. Гращенков, А. А. Шавнев, В. Г. Бабашов,  
А. С. Чайникова, Е. И. Курбаткина, А. Н. Большакова

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» (ФГУП «ВИАМ»), Москва, Российская Федерация

Публикация описывает достижения ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» в области создания высокотемпературных теплозащитных, керамических и металлокерамических композиционных материалов, их преимущества и перспективы применения для изготовления элементов конструкций летательных аппаратов и узлов трения. Представлены особенности получения и основные свойства металлокерамических композиционных материалов на основе легких сплавов, тугоплавких металлических матриц, керамических композиционных материалов для применения в особо нагруженных элементах конструкции современной авиационной техники. Рассмотрены основные достижения в области теплозащитных материалов на основе волокон тугоплавких оксидов, их свойства и применение в авиационной технике нового поколения.

**Ключевые слова:** композиционные материалы, матрица, армированные материалы, металлокерамические материалы, метод гибридного искрового плазменного спекания, теплозащитные и теплоизоляционные материалы, температура

**Для цитирования:** Балинова Ю. А., Гращенков Д. В., Шавнев А. А., Бабашов В. Г., Чайникова А. С., Курбаткина Е. И., Большакова А. Н. Высокотемпературные теплозащитные, керамические и металлокерамические композиционные материалы для авиационной техники нового поколения // Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2020. № 2. С. 83–92. <https://doi.org/10.38013/2542-0542-2020-2-83-92>

**For citation:** Balinova Yu. A., Grashchenkov D. V., Shavnev A. A., Babashov V. G., Chaynikova A. S., Kurbatkina E. I., Bolshakova A. N. High-temperature heat-shielding, ceramic and ceramic-metal composite materials for new-generation aviation equipment // Vestnik Koncerna VKO “Almaz – Antey”. 2020. No. 2. P. 83–92. <https://doi.org/10.38013/2542-0542-2020-2-83-92>

Поступила 16.03.2020 Отрецензирована 30.03.2020 Одобрена 30.03.2020 Опубликована 15.07.2020

### Введение

Одним из ключевых направлений деятельности ФГУП «ВИАМ» является разработка высокотемпературных теплозащитных, керамических и металлокерамических композиционных материалов для перспективных изделий авиационной и ракетной техники [1, 2]. Наиболее ярким примером служит создание многоразовой внешней плиточной теплозащиты орбитального корабля «Буран» (СССР)

[2]. Рассматриваемые в обзоре теплозащитные, керамические и металлокерамические композиционные материалы позволяют обеспечить повышение рабочих температур элементов конструкции летательных аппаратов при одновременном повышении эксплуатационных нагрузок [3].

Металлокерамические композиционные материалы (МКМ) имеют ряд важных преимуществ, таких как высокие жесткость, прочность, трещиностойкость, износостойкость, высокие температуры эксплуатации. Среди них на первом месте по объему применения находятся композиционные материалы



на основе алюминиевых и титановых матриц, армированных частицами и волокнами [3]. За рубежом подобные материалы активно внедряются в перспективные образцы техники. Так, волокнистые МКМ на основе титановых и интерметаллидных титановых сплавов, армированные волокнами, применяют в высоконагруженных элементах конструкций: тяги, рычаги, сосуды высокого давления, кромки, лопатки компрессоров низкого и высокого давления. Низконаполненные дисперсно-упрочненные МКМ на основе алюминия используют в элементах силового набора, обшивках топливного бака, гидравлических системах. Высоконаполненные МКМ с алюминиевой матрицей нашли применение в силовой электронике (IGBT-модули, системы управления электрическими приводами, импульсные источники питания и др.).

В теплонагруженных конструкциях, испытывающих механические напряжения, требуется применение материалов на основе жаропрочных матриц. К наиболее перспективным материалам этого класса можно отнести композиты на основе молибдена, ниобия и никеля [4–8], для улучшения эксплуатационных характеристик которых применяют технологии легирования и упрочнения дисперсными частицами и керамическими волокнами. Изделия, изготовленные из металлических композиционных материалов на основе Mo, Nb, Ni, могут иметь рабочую температуру от 1200 до 1600 °С.

МКМ на основе никелевых сплавов с высоким наполнением являются перспективными для триботехнического применения в тяжело нагруженных узлах трения, работающих в условиях высоких температур с ограниченной подачей смазки [10]. В качестве керамической составляющей применяются карбиды, нитриды, карбонитриды, бориды, силициды, оксиды, интерметаллиды и более сложные керамоподобные соединения, а также их комбинации. Дополнительно в состав могут входить вещества из класса «твердых смазок» (графит, дисульфид молибдена, гексагональный нитрид бора и др.) и легкоплавкие металлы, выполняющие роль гидродинамических смазок в тонких слоях. В парах трения-скольжения, выполненных из высоконаполненных МКМ,

удается получить низкие значения коэффициента трения и малую величину износа.

В целях изготовления наиболее теплонагруженных элементов корпуса, деталей горячего тракта двигателей и элементов конструкций радиотехнического назначения с рабочими температурами более 1500 °С для авиационной техники нового поколения необходимо применение конструкционных керамических и стеклокерамических композиционных материалов с малым весом, высокими значениями прочности, твердости, трещиностойкости, коррозионной и эрозионной стойкости в совокупности с длительным жизненным циклом в условиях высокотемпературного окисления [11, 12].

Еще большее повышение эксплуатационных температур обеспечивают теплозащитные материалы, призванные защищать конструкционные элементы от внешнего и внутреннего теплового воздействия в процессе эксплуатации летательного аппарата, одновременно обеспечивая дополнительную защиту от факторов окисления.

История ВИАМ в области разработки теплозащиты космических аппаратов насчитывает десятилетия. В ВИАМ создана экранно-вакуумная теплоизоляция спускаемого аппарата корабля «Восток» и всех последующих космических аппаратов, включая орбитальный корабль «Буран» [1]. Тепловая защита является в некоторой степени решающим звеном в работоспособности космических летательных аппаратов, в том числе возвращаемых, поскольку именно теплозащита отвечает за сохранность и нормальное функционирование как отдельных узлов и конструкций, так и аппарата в целом.

Сегодня ФГУП «ВИАМ» разрабатывает материалы для авиационной и ракетно-космической техники, базируясь на новом подходе с учетом классических моделей.

#### **Объекты и методы исследования**

Металлокерамические композиционные материалы получали как с использованием методов порошковой металлургии, так и с помощью жидкофазных технологий (пропитка, инфильтрация) в сочетании с методом искрового плазменного спекания. Керамические



композиционные материалы получали методами горячего прессования, искрового плазменного спекания и золь-гель методом. Теплозащитные материалы изготавливали по золь-гель технологии.

Исследование механических характеристик проводили на разрывных машинах Instron 5965, Instron 5882, Zwick Z010 в соответствии со стандартизованными методиками и ГОСТ.

Исследование термического коэффициента линейного расширения проводили на высокотемпературном dilatометре DL-1500 N/HR в интервале температур от 20 до 1400 °С, коэффициент теплопроводности определяли динамическим методом лазерной вспышки на измерителе теплофизических параметров твердых тел LFA 427 в диапазоне температур от 20 до 1900 °С с последующей аппроксимацией до более высоких температур.

Для исследования микроструктуры материалов применяли метод растровой электронной микроскопии с применением микроскопов S-405, Verios 460 XHR, Zeiss EVO MA 10.

### 1. Цифровое моделирование при создании металлических и керамических композиционных материалов и теплозащиты

Многоуровневое моделирование материала на нано-, микро-, мезо- и макроуровнях, схема которого отражена на рисунке 1, обеспе-

чивает реализацию принципа неразрывности «материал – технология – конструкция».

Фундаментальные исследования начинаются с атомно-молекулярного конструирования и квантово-механических расчетов. Затем осуществляется последовательный переход на наноуровень изучения межмолекулярных взаимодействий. Исследования на микроуровне основаны на расчете параметров фазовой стабильности и научном поиске новых методов синтеза сложных комплексных химических соединений. Мезоуровень является началом прикладных исследований, переходя на макроуровень к материалам и технологиям нового поколения.

Сегодня ВИАМ активно применяет цифровые технологии для моделирования гетерогенных металлокерамических сред. Разработано 9 многофакторных моделей для 6 классов армированных, дисперсноупрочненных и волокнистых КМ и теплозащиты.

### 2. Металлические композиционные материалы на основе легких сплавов

ФГУП «ВИАМ» реализует разработку и выпуск металлокерамических композиционных материалов на основе алюминия и титана в виде дисперсноупрочненных низко- и высоконаполненных КМ.

В рамках совместных работ с Российским научным фондом проведены исследования



Рис. 1. Схема многоуровневого моделирования материалов



влияния состава алюминиевых сплавов серий 6XXX (6061, 6063, 6092), 2XXX (2024, 2009), 7XXX (7075, 7050) и процентного содержания наполнителя на физико-механические свойства композиционных материалов. Показано, что максимальными механическими характеристиками обладают алюмоматричные композиционные материалы с алюминиевыми сплавами серии 7XXX ( $r \approx 3,0 \text{ г/см}^3$ ,  $s_{\text{В}}^{20} \approx 700 \text{ МПа}$ ,  $E^{20} \approx 115 \text{ ГПа}$ ,  $s_{\text{сж}}^{20} \approx 705 \text{ МПа}$ ).

Проведены исследования и разработана технология изготовления высоконаполненного МКМ системы Al-SiC и изделий из него. Композиционный материал имеет следующие свойства:  $\rho = 2,9 \div 3,0 \text{ г/см}^3$ ,  $\alpha = 6,9 \div 7,2 \text{ К}^{-1}$  (в диапазоне температур  $20 \div 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ),  $\lambda = 130 \div 150 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$  (в диапазоне от  $20$  до  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Разработана установка вакуумно-компрессионной пропитки пористых керамических заготовок матричным сплавом, создано производство теплоотводящих оснований из КМ Al-SiC на базе ПАО «Электровыпрямитель» мощностью до  $10\,000$  шт./г.

Проведены комплексные исследования по созданию волокнистых композиционных материалов на основе титановых матриц для высоконагруженных конструкций летательных аппаратов. Установлены закономерности между механическими характеристиками композиционных материалов, составом матрицы на основе титана и объемной долей наполнителя.

В результате разработан материал на основе интерметаллида титана, превосходящий импортные аналоги по физико-механическим показателям:  $\rho \approx 4,5 \text{ г/см}^3$ ,  $\sigma_{\text{В}}^{20} \approx 1680 \text{ МПа}$ ,  $E^{20} \approx 200 \text{ ГПа}$ ,  $\sigma_{\text{сж}}^{20} \approx 2300 \text{ МПа}$ .

### 3. Металлические высокотемпературные композиционные материалы

Разработками в области создания изделий из высокотемпературных металлических композиционных материалов на основе Mo, Nb, Ni, Fe матриц, упрочненных дисперсными частицами, занимаются активно во многих странах мира. Этот интерес связан с чрезвычайно высокой структурной стабильностью, высокими значениями прочностных характеристик, химической инертностью и корро-

зионной стойкостью дисперсно-упрочненных металлических композиционных материалов на основе тугоплавких металлов.

Во ФГУП «ВИАМ» разработаны высокотемпературные металлические композиционные материалы на основе матриц из железа, никеля, молибдена, ниобия и технологии упрочнения МКМ дисперсными частицами и керамическими волокнами. Установлены зависимости между составом и количеством упрочняющей фазы в МКМ на основе Mo, Nb, Ni, Fe матриц и физико-механическими и тепловыми свойствами готового материала. Армирование тугоплавких матриц керамическими волокнами позволило разработать комплекс композиционных материалов, отличающихся на  $20 \div 30 \%$  меньшей удельной массой, на  $10 \div 20 \%$  большей рабочей температурой, в  $1,5 \div 2,0$  раза более высокими механическими характеристиками и большей устойчивостью к тепловому старению по сравнению с материалом матрицы.

Композиционные материалы на основе тугоплавких матриц предназначены для применения в теплонагруженных элементах конструкции, работающих в условиях высоких механических напряжений. Применение разработанных металлокерамических композиционных материалов обеспечит работоспособность элементов конструкции перспективных ЛА при температурах  $\geq 1400 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Разработаны высоконаполненные МКМ триботехнического назначения, которые по триботехническим свойствам не уступают керамическим и имеют перед ними ряд преимуществ. Благодаря наличию металлической связки металлокерамические материалы устойчивы к вибрации и ударам. Подбором трущихся контртел из различных по составу металлокерамических материалов можно добиться низкого коэффициента трения и высокой износостойкости.

### 4. Керамические/стеклокерамические композиционные материалы и антиокислительные покрытия

ФГУП «ВИАМ» активно занимается разработкой высокотемпературных керамических и стеклокерамических композиционных



материалов (ККМ и СККМ соответственно), а также технологий изготовления элементов конструкций летательных аппаратов из них с применением уникальных технологий.

Для консолидации порошков при получении широкого спектра материалов (высокотемпературных, композиционных наноструктурных, градиентных и многих других) ФГУП «ВИАМ» активно использует инновационную технологию FAST/SPS с комбинированным (гибридным) методом нагрева, включающим в себя искровое плазменное спекание и индукционный нагрев. Применение данной технологии позволило разработать ряд керамических композиционных материалов на основе тугоплавких соединений редких и редкоземельных металлов с равномерной мелкокристаллической структурой, прочностью при изгибе до 450 МПа и рабочими температурами  $\geq 1700$  °С. Микроструктура ККМ, полученного гибридным методом FAST/SPS, представлена на рисунке 2.

Во ФГУП «ВИАМ» ведутся работы, направленные на разработку золь-гель технологий изготовления керамических и стеклокерамических композиционных материалов авиационного назначения. Проведение систематических исследований дало возможность увеличить температуры эксплуатации стеклокерамических композитов с 500÷700 до 1500 °С. Были разработаны композиционные материалы радиотехнического назначения на основе бесщелочной алюмосиликатной стеклокерамики, характеризующиеся уникальным сочетанием диэлектрических

и термических свойств. Увеличение трещиностойкости и термостойкости в сочетании со снижением температуры синтеза при сохранении уровня радиотехнических характеристик стеклокерамических композиционных материалов обеспечит превосходство над лучшими отечественными и зарубежными аналогами, повысит конкурентоспособность отечественной продукции на зарубежном и российском рынках.

Проведены исследования и разработана технология изготовления керамических эмиттеров на основе гексаборида лантана, предназначенных для бездефектной электронно-лучевой сварки крупногабаритных сложнопрофильных деталей из жаропрочных, высокопрочных, коррозионностойких сталей, титановых и других сплавов. За счет достижения высокой плотности и чистоты поверхности, а также обеспечения равномерной микроструктуры эмиттеры обеспечивают стабильный ток эмиссии на уровне  $\geq 500$  мА. В настоящее время во ФГУП «ВИАМ» освоено опытно-промышленное производство керамических эмиттеров мощностью 1500÷2000 шт./год.

С применением метода горячего прессования во ФГУП «ВИАМ» разработана технология получения керамического композиционного материала марки ВМК-17 с повышенной термостойкостью до 1700 °С и инертностью к воздействию расплавов металлов, а также технология изготовления сопел из него, используемых при распылении авиационных сплавов для аддитивных технологий. Внедрение разработанных технологий в собственное

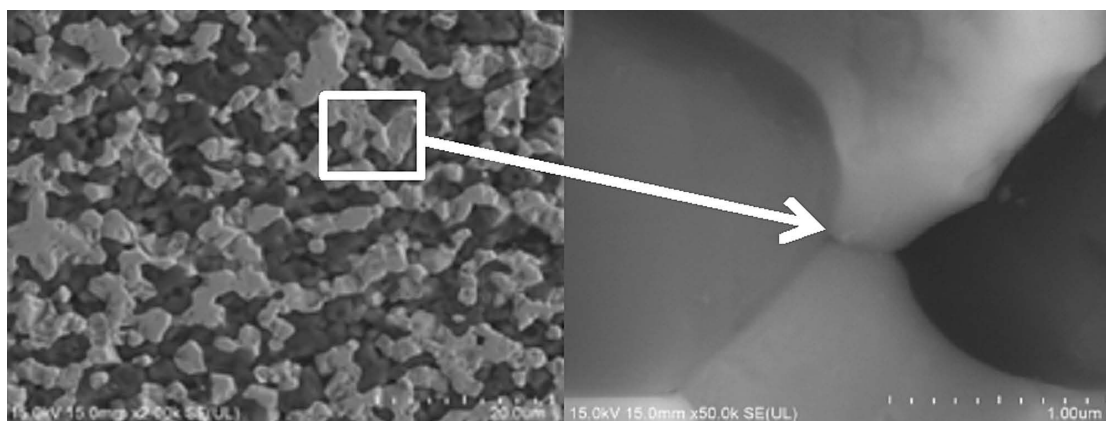


Рис. 2. Микроструктура ККМ, получаемых FAST/SPS методом



производство ФГУП «ВИАМ» позволило расширить номенклатуру получаемых порошков за счет возможности повышения температуры их распыления. Разработанные технологии способствуют решению проблемы импортозамещения и развития аддитивных технологий в авиационной промышленности России.

### 5. Высокотемпературные теплоизоляционные, теплозащитные и уплотнительные материалы

На протяжении более 30 лет ВИАМ ведет работы по созданию уникальных теплозащитных и теплоизоляционных материалов.

К настоящему моменту разработаны новые виды высокотемпературных волокон тугоплавких оксидов кремния, алюминия, циркония с рабочей температурой до 1700 °С и выше. На их основе созданы теплозащитные, теплоизоляционные и уплотнительные материалы.

Проведены исследования по синтезу золь-гель прекурсоров волокон тугоплавких оксидов с использованием коммерчески доступного отечественного сырья. Организованы производственно-технологические участки серийного производства, направленные на обеспечение высокотемпературной изоляцией и теплозащитными материалами отечественного машиностроения.

Фундаментальные и прикладные исследования по выявлению закономерностей

между структурой, физическими, механическими и теплофизическими свойствами теплозащитных материалов являются основой для прикладных исследований и применения теплозащитных материалов. В результате научных исследований разработаны материалы, обладающие высокой гибкостью, упругостью и технологичностью, обеспечивающие удобное их применение при теплоизоляции поверхностей сложных форм от длительного воздействия теплового потока высокой мощности. Удельная масса материалов может составлять от 30 до 300 кг/м<sup>3</sup>, рабочие температуры материалов на основе базальтовых волокон и оксида алюминия варьируются от 1200 до 1700 °С, материалы на основе более тугоплавких оксидов имеют рабочие температуры выше 1700 °С. Радиус изгиба до разрушения варьируется от 30 до 600 мм в зависимости от материала волокон, плотности и толщины материала.

На рисунке 3 представлены температурные зависимости коэффициентов теплопроводности образцов гибких материалов с различной плотностью, изготовленных на основе волокон оксида алюминия:

Жесткие теплозащитные материалы изготавливают из высокотемпературных волокон в виде блоков, и предназначены они для использования в качестве теплозащитного и теплоизоляционного материала в условиях непосредственного воздействия теплового потока с массопереносом. Плотность материалов мо-

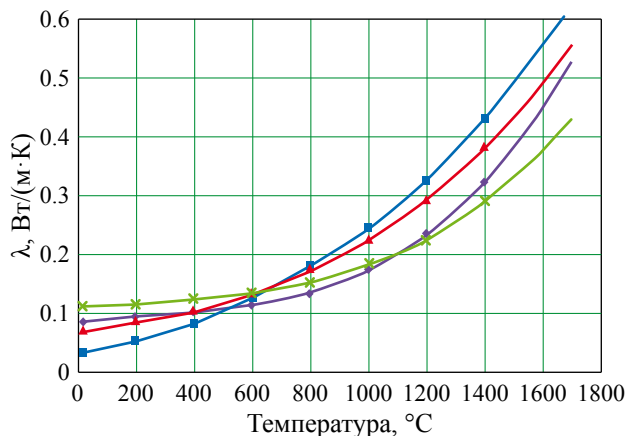


Рис. 3. Теплопроводность гибких материалов различной плотности и градиентного материала  
— 100 кг/м<sup>3</sup>, — 200 кг/м<sup>3</sup>,  
— 300 кг/м<sup>3</sup>, — 180 кг/м<sup>3</sup> градиентный

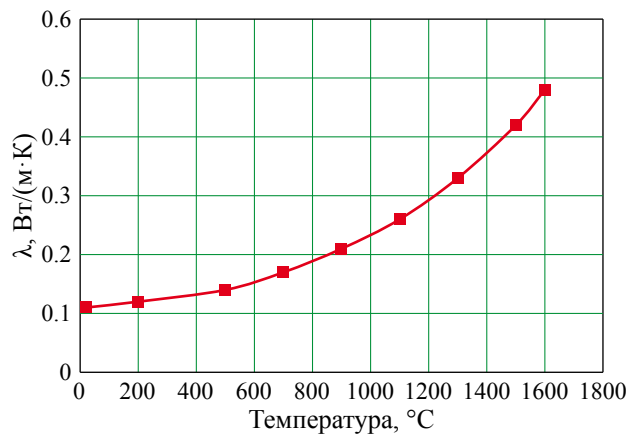


Рис. 4. Типичная температурная зависимость коэффициентов теплопроводности материалов на основе тугоплавких оксидов с пористостью 80÷84 %



Рис. 5. Высокотемпературные уплотнительные шнуры марок ВШТ и ВШУ-1

жет составлять от 250 до 1000 кг/м<sup>3</sup> при пористости от 50 до 94 %. Прочность при сжатии зависит от плотности материала и составляет 0,5 до 2,5 МПа. Коэффициент теплопроводности зависит от пористости в большей степени, чем от состава материала, и составляет 0,3÷0,6 Вт/(м·К).

На рисунке 4 представлена типичная температурная зависимость коэффициента теплопроводности для материалов с пористостью 80÷84 %. Материалы на основе различных тугоплавких оксидов имеют сопоставимые значения коэффициентов теплопроводности. Основным отличием материалов является их рабочая температура.

Разработаны уплотнительные материалы, шнуры и оплетки из высокотемпературных волокон. Теплоизоляционные шнуры марки ВШТ предназначены для применения в качестве термического уплотнения, работающего в интервале температур от минус 130 до плюс 1200 °С, в том числе в качестве подвижного уплотнения с повышенной стойкостью к истиранию (рис. 5). Уплотнительные шнуры марки ВШУ-1 на основе наиболее термостойких волокон предназначены для применения в качестве уплотнения соединений и теплоизоляции в различных тепловых установках и газотурбинных двигателях с рабочей температурой до 1800 °С.

### Заключение

Приведен обзор современных достижений в области высокотемпературных теплозащит-

ных, керамических и металлокерамических композиционных материалов для авиационной техники нового поколения.

Раскрыты основы современного подхода к разработке композиционных материалов и теплозащиты для авиационного машиностроения, который основан на многоуровневом цифровом моделировании на нано-, микро-, мезо- и макроуровнях, обеспечивает реализацию принципа неразрывности «материал – технология – конструкция».

Представлены основные свойства металлокерамических композиционных материалов на основе легких сплавов алюминия и титана, тугоплавких металлических матриц с дисперсным упрочнением и армированием непрерывными волокнами. Показаны разработки в области керамических композиционных материалов с применением энергоэффективных технологий нового поколения. Проанализированы основные достижения в области теплозащитных материалов на основе волокон тугоплавких оксидов, их свойства и области применения.

Рассмотрены высокотемпературные металлические композиционные материалы на основе матриц из железа, никеля, молибдена, ниобия, работоспособные в интервале температур от 1200 до 1600 °С. Показаны варианты повышения эксплуатационных характеристик высокотемпературных металлических композиционных материалов и обозначены основные преимущества предложенных подходов.



На основании представленных данных следует, что разрабатываемые во ФГУП «ВИАМ» материалы являются конкурентоспособными и по техническим характеристикам соответствуют мировому уровню разработок.

### Список литературы

1. *Многоразовый орбитальный корабль «Буран»* / Под ред. Ю. П. Семенова, Г. Е. Лозино-Лозинского и др. М.: Машиностроение, 1995.
2. Ивахненко Ю. А., Охотникова Ю. А., Тинякова Е. В. Теплозащитные материалы для космической техники // *Труды РКК «Энергия» им. С. П. Королева*. Серия 12. Вып. 1–2. Королев, 2012.
3. Стоякина Е. А., Курбаткина Е. И., Симонов В. Н. и др. Механические свойства алюмоматричных композиционных материалов, упрочненных частицами SiC, в зависимости от матричного сплава // *Труды ВИАМ*. 2018. № 2. С. 62–73. DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-2-8-8
4. Каблов Е. Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 1. С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33
5. Каблов Е. Н., Светлов И. Л., Ефимочкин И. Ю. Высокотемпературные Nb-Si-композиты // *Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана*. Серия «Машиностроение». 2011. № SP2. С. 164–173.
6. Мурашева В. В., Щетанов Б. В., Севостьянов Н. В. и др. Высокотемпературные Mo-Si композиционные материалы (Обзор) // *Конструкции из композиционных материалов*. 2014. № 2. С. 24–35.
7. Каблов Е. Н., Щетанов Б. В., Ивахненко Ю. А. и др. Перспективные армирующие высокотемпературные волокна для металлических и керамических композиционных материалов // *Труды ВИАМ*. 2013. № 2. Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 25.06.2016).
8. Щетанов Б. В., Гращенков Д. В., Ефимочкин И. Ю. и др. Монокристаллические волокна оксида алюминия для высокотемпературных (до 1400 °С) композиционных материалов // *Технология машиностроения*. 2014. № 10. С. 5–9.
9. Каблов Е. Н., Мубояджян С. А. Жаростойкие и теплозащитные покрытия для лопаток турбины высокого давления перспективных ГТД // *Авиационные материалы и технологии: Юбилейный науч.-технич. сб. (приложение к журналу «Авиационные материалы и технологии»)*. М.: Наука, 2012. С. 60–70.
10. Критский В. Ю., Зубко А. И. Исследование возможности использования керамических авиационных подшипников скольжения нового поколения в конструкциях опор роторов газотурбинных двигателей // *Двигатель*. 2013. № 3. С. 24–26.
11. Сорокин О. Ю., Гращенков Д. В., Солнцев С. С. и др. Керамические композиционные материалы с высокой окислительной стойкостью для перспективных летательных аппаратов (Обзор) // *Труды ВИАМ*. 2014. № 6. Ст. 8. DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-6-8-8
12. Kablov E. N., Grashchenkov D. V., Isaeva N. V., et al. Perspective high-temperature ceramic composite materials // *Russian Journal of General Chemistry*. 2011. Vol. 81. № 5. P. 986–991.

### Об авторах

**Балинова Юлия Александровна** – канд. техн. наук, ведущий инженер Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» (ФГУП «ВИАМ»), Москва, Российская Федерация.

Область научных интересов: перспективные волокна тугоплавких оксидов, теплозащитные и теплоизоляционные материалы.





**Гращенко Денис Вячеславович** – канд. техн. наук, заместитель генерального директора Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» (ФГУП «ВИАМ»), Москва, Российская Федерация.

Область научных интересов: керамические и стеклокерамические материалы, металлокерамические композиционные материалы и теплозащита.

**Шавнев Андрей Александрович** – канд. техн. наук, начальник научно-исследовательского отделения Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» (ФГУП «ВИАМ»), Москва, Российская Федерация.

Область научных интересов: металлокерамические композиционные материалы на основе алюминиевых и титановых сплавов.

**Бабашов Владимир Георгиевич** – канд. техн. наук, начальник лаборатории Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» (ФГУП «ВИАМ»), Москва, Российская Федерация.

Область научных интересов: перспективные волокна тугоплавких оксидов, теплозащитные, теплоизоляционные, керамические композиционные материалы.

**Чайникова Анна Сергеевна** – канд. техн. наук, начальник лаборатории Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» (ФГУП «ВИАМ»), Москва, Российская Федерация.

Область научных интересов: керамические композиционные материалы, стеклокерамика, высокотемпературные эмали, золь-гель технология, SPS-метод.

**Курбаткина Елена Игоревна** – канд. техн. наук, начальник лаборатории Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» (ФГУП «ВИАМ»), Москва, Российская Федерация.

Область научных интересов: металлокерамические композиционные материалы на основе легких металлов и их сплавов.

**Большакова Александра Николаевна** – канд. хим. наук, начальник лаборатории Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» (ФГУП «ВИАМ»), Москва, Российская Федерация.

Область научных интересов: металлические и металлокерамические композиционные материалы на основе тугоплавких металлов и их сплавов.



## High-temperature heat-shielding, ceramic and ceramic-metal composite materials for new-generation aviation equipment

Balinova Yu. A., Graschenkov D. V., Shavnev A. A., Babashov V. G., Chaynikova A. S., Kurbatkina E. I., Bolshakova A. N.

*All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials (VIAM), Moscow, Russian Federation*

This paper describes achievements of the All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials in the field of creating high-temperature heat-shielding, ceramic and metal-ceramic composite materials. The advantages and prospects of applying the developed materials in the manufacturing of structural elements of aircraft and friction joints are discussed. The synthesis features and basic properties of metal-ceramic composite materials based on light alloys, refractory metal matrices, ceramic composite materials for use in heavily loaded structural elements of modern aircraft are presented. The main achievements in the field of heat-shielding materials based on refractory oxide fibres are presented, along with their properties and application in new-generation aircrafts.

**Keywords:** composite materials, matrix, reinforced materials, ceramic-metal materials, hybrid spark plasma sintering method, heat-shielding and heat-insulating materials, temperature

---

### Information about the authors

**Balinova Yulia Aleksandrovna** – Cand. Sci. (Engineering), Leading Engineer, All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials (VIAM), Moscow, Russian Federation.

Research interests: promising fibers of refractory oxides, heat-shielding and heat-insulating materials.

**Graschenkov Denis Vyacheslavovich** – Cand. Sci. (Engineering), Deputy Chief Executive Officer, All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials (VIAM), Moscow, Russian Federation.

Research interests: ceramic and glass-ceramic materials, ceramic-metal composite materials and thermal protection.

**Shavnev Andrey Aleksandrovich** – Cand. Sci. (Engineering), Head of R&D Department, All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials (VIAM), Moscow, Russian Federation.

Research interests: ceramic-metal composite materials based on aluminium and titanium alloys.

**Babashov Vladimir Georgievich** – Cand. Sci. (Engineering), Laboratory Head, All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials (VIAM), Moscow, Russian Federation.

Research interests: promising fibers of refractory oxides, heat-shielding and heat-insulating ceramic composite materials.

**Chaynikova Anna Sergeevna** – Cand. Sci. (Engineering), Laboratory Head, All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials (VIAM), Moscow, Russian Federation.

Research interests: ceramic composite materials, glass ceramics, high-temperature enamels, sol-gel technology, SPS method.

**Kurbatkina Elena Igorevna** – Cand. Sci. (Engineering), Laboratory Head, All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials (VIAM), Moscow, Russian Federation.

Research interests: ceramic-metal composite materials based on light metals and their alloys.

**Bolshakova Alexandra Nikolaevna** – Cand. Sci. (Chemistry), Laboratory Head, All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials (VIAM), Moscow, Russian Federation.

Research interests: ceramic and ceramic-metal composite materials based on refractory metals and their alloys.