

На сегодняшний день отработана базовая технология изготовления нового материала системы Al-SiC и ведутся работы по освоению серийного производства с объемом выпуска – до 10000 изделий в год с последующим увеличением. Планируются поставки изделий системы Al-SiC как внутри страны, так и на экспорт в страны Европы, Азии и Америки (до 50%).

В настоящее время ведется исследование по разработке технологии изготовления из данного материала широкой номенклатуры теплопроводящих изделий для силовой электроники и преобразовательной техники и внедрению ее на ОАО «Электровыпрямитель».

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н., Щетанов Б.В., Шавнев А.А. и др. Повышение надежности силовых IGBT-модулей с помощью высоконаполненного МКМ системы Al-SiC // Авиационные материалы и технологии. 2010. № 4. С. 3–6.
2. Singh S., Tech Junior B., Ryssel H. Lifetime of power modules: 7 Indo-German winter academy. 2008.
3. Gilleo K., Ph. D. MEMS/MOEMS Packaging Concepts, Designs, Materials and Processes – McGraw-Hill // Nanoscience and Technology Series. 2005. 239 p.
4. Occhionero M.A., Adams R.W., Saums D. AlSiC for Optoelectronic // Thermal Management and Packaging Designs. 2001. 5 p.
5. Occhionero M.A., Fennessy K.P., Adams R.W., Sundberg G.J. AlSiC Baseplates for Power IGBT Modules: Design, Performance and Reliability // Ceramics Process Systems. 2003. 6 p.
6. Каблов Е.Н., Щетанов Б.В., Шавнев А.А., Няфкин А.Н., Чибиркин В.В., Елисеев В.В., Мартыненко В.А., Мускатиньев В.Г., Эмих Л.А., Вдовин С.М., Ниццев К.Н. Свойства и применение высоконаполненного металлического композиционного материала Al-SiC // Технология машиностроения. 2011. № 3 (105). С. 5–7.

Ю.А. ИВАХНЕНКО, В.Г. БАБАШОВ,
А.М. ЗИМИЧЕВ, Е.В. ТИНЯКОВА

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ И ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ВОЛОКОН ТУГОПЛАВКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Восстановление промышленности и оборонно-промышленного комплекса, ликвидация отставания в этой области и выход на современный уровень развития требуют разработки широкого ассортимента высокотемпературных материалов и технологий их получения для многих отраслей промышленности, и в первую очередь – для ракетно-космической техники.

Одной из главных задач в разработке перспективных изделий ракетной техники является обеспечение ее высокотемпературной теплозащитой – волокнистыми теплозащитными и уплотнительными материалами с высокими теплофизическими характеристиками и низкой плотностью.

Основным компонентом таких материалов являются высокотемпературные дискретные и непрерывные волокна на основе тугоплавких окси-

дов алюминия, циркония, кремния и других благодаря их (оксидов) высокой температуре плавления и стойкости к окислению. Учитывая требования к рабочей температуре ($>1600^{\circ}\text{C}$), в качестве основного компонента высокотемпературных волокон широко используется оксид алюминия Al_2O_3 с температурой плавления 2050°C и муллит $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ с температурой плавления 1870°C , в ближайшей перспективе – оксиды циркония и редкоземельных элементов.

В силу узкого диапазона плавления вышеуказанных соединений технологически невозможно получать волокна требуемого качества из расплава. Поэтому наиболее оптимальной с точки зрения освоения промышленного производства является растворная технология получения волокон с высоким содержанием оксида алюминия, которая включает в себя синтез прекурсоров основных компонентов волокна, разработку формовочных растворов, технологических режимов удаления летучих компонентов и достижение требуемых характеристик волокна.

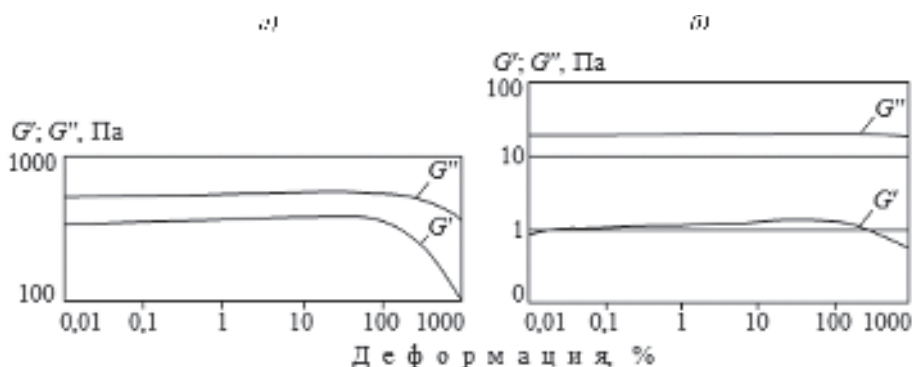


Рис. 1. Динамические испытания формовочных растворов (G' , G'' – модуль накоплений и потерь соответственно) для непрерывных (а) и дискретных волокон (б)

При разработке основного компонента формовочных растворов в настоящее время в качестве наиболее перспективного с точки зрения доступности исходного сырья и многовариантности получения выбран оксихлорид алюминия – продукт гидролиза хлористого алюминия. В ходе проведения исследований разработана процедура оценки его характеристик – молекулярно-массового распределения, активности функциональных ОН-групп, а также условия синтеза оксихлорида алюминия с требуемым набором свойств и корректировки характеристик промышленно выпускаемых продуктов разных производителей. Установлено, что для получения непрерывных волокон оксида алюминия и муллита требуется применение оксихлорида алюминия с определенным молекулярно-массовым распределением, характеризующимся условным соотношением его поли-, олиго- и мономолекулярных форм. В зависимости от требуемого химического состава конечного волокна разработаны многокомпонентные формовочные растворы, включающие помимо основного компонента добавки, обеспечивающие требуемые волокнообразующие свойства, модификаторы фазовых переходов, ингиби-

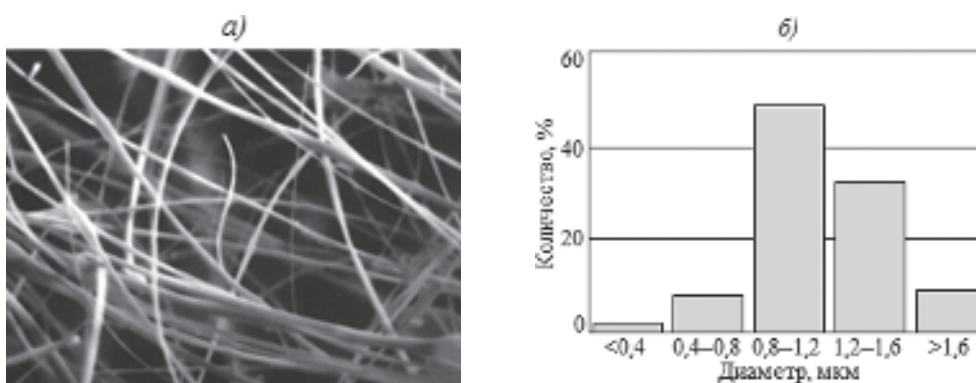


Рис. 2. Микрофотография (а – $\times 1200$, СЭМ) дискретных волокон оксида алюминия состава 80% Al_2O_3 –20% (по массе) SiO_2 и гистограмма распределения волокон по диаметру (б)

Для теплозащитных материалов основным требованием к волокнам является низкая усадка при температурах эксплуатации материалов на их основе. Исходя из этого выбор химического состава волокон был сделан в пользу близкого к муллитового весового соотношения $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 = 80 : 20$, что обеспечивало линейную усадку материала не более 3% при температуре 1600°C. Внешний вид дискретных волокон и гистограмма распределения по диаметру приведены на рис. 2. Средний диаметр дискретных волокон составляет 0,8 мкм, фазовый состав – муллит + $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Проведены исследования по оптимизации состава дискретных волокон оксида алюминия со стабилизирующими добавками диоксида кремния в диапазоне 5–25% (по массе). Для высокотемпературных теплозащитных материалов выбран состав волокон 80% Al_2O_3 – 20% (по массе) SiO_2 , обеспечивающий длительную работоспособность волокон при температуре 1650°C и кратковременную – при 1750°C.

Для получения нитей из дискретных волокон оксида алюминия с дальнейшим их использованием в качестве сердцевины высокотемпературных шнуров выбор сделан в пользу состава 95% Al_2O_3 –5% (по массе) SiO_2 в связи с лучшими волокнообразующими свойствами и возможностью получать волокна диаметром не более 1 мкм (рис. 3). Режим

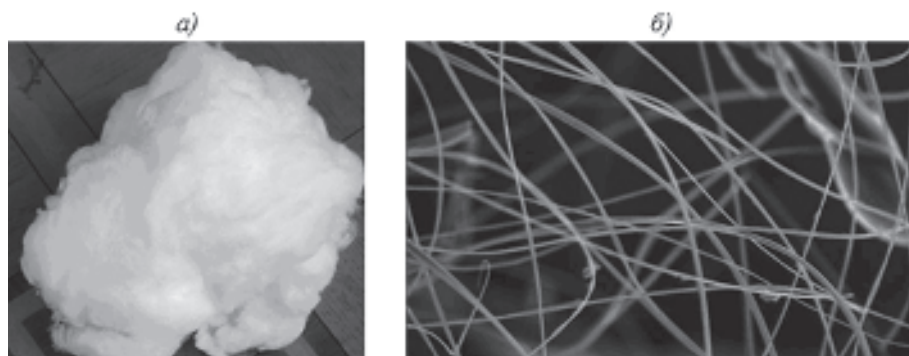


Рис. 3. Внешний вид (а) аморфного дискретного волокна оксида алюминия состава 80% Al_2O_3 –20% (по массе) SiO_2 и микрофотография (б – $\times 1500$, СЭМ)

термообработки подбирался с учетом получения аморфного волокна, обладающего меньшим модулем упругости и, соответственно, большей гибкостью.

Для армирующих непрерывных волокон оксида алюминия выбор был сделан в пользу состава 99% Al_2O_3 –1% (по массе) SiO_2 , обеспечивающего наибольшую прочность при растяжении, при этом максимальная прочность составила 3020 МПа при средней прочности 2200 МПа. Внешний вид непрерывных волокон и распределение по диаметру приведены на рис. 4. Фазовый состав непрерывных волокон после стандартной термообработки: $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$.

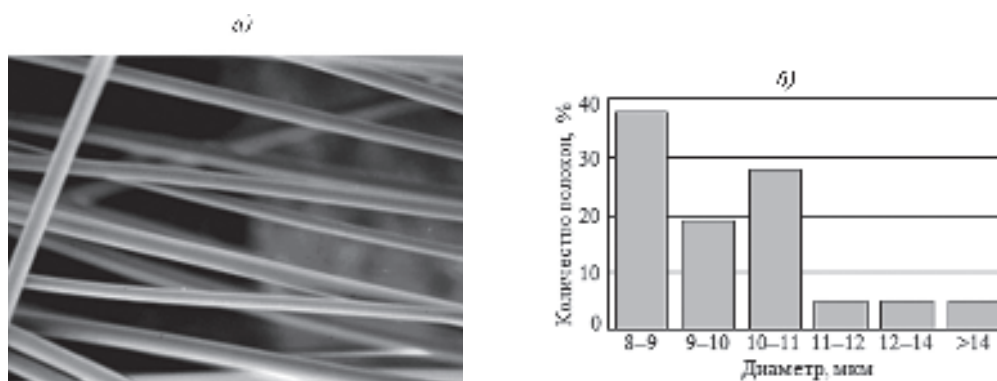


Рис. 4. Микрофотография (а – $\times 1000$, СЭМ) непрерывных волокон оксида алюминия состава 99% Al_2O_3 –1% (по массе) SiO_2 и гистограмма распределения волокон по диаметру (б)

Для непрерывных волокон оксида алюминия текстильного применения выбран состав 90% Al_2O_3 –10% (по массе) SiO_2 , обладающий меньшим модулем упругости при средней прочности 1300 МПа. Диаметр волокна составляет 8–16 мкм, фазовый состав в зависимости от требуе-

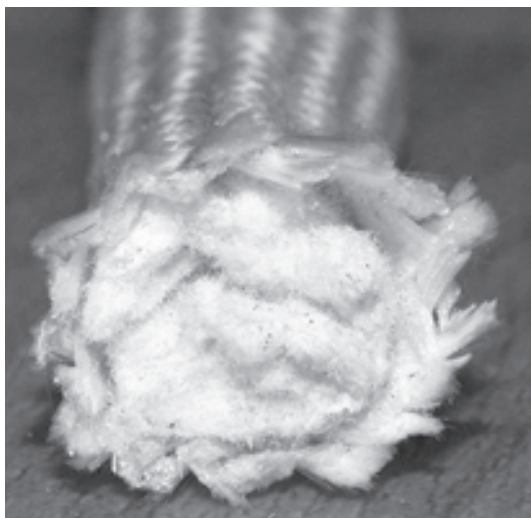


Рис. 5. Шнур из нитей на основе аморфных дискретных волокон оксида алюминия в оплетке из кварцевых нитей

мого применения задавался соответствующим режимом термообработки: γ -, δ -, α - Al_2O_3 , муллит или их смесь.

С целью дальнейшего применения в высокотемпературных текстильных материалах были отработаны технологические режимы получения трощено-крученых нитей с линейной плотностью 100–300 текс из аморфных и полукристаллических непрерывных волокон оксида алюминия.

На основе дискретных волокон оксида алюминия с применением методов «бумажной технологии» разработан ассортимент теплоизоляционных материалов различной плотности (100–300 кг/м³)

и жестких теплозащитных материалов (плотность 250–1000 кг/м³) с температурой применения 1700°C, которые характеризуются низкими значениями коэффициентов теплопроводности (0,5 Вт/(м·К)) и линейной усадкой <5% при рабочих температурах.

С использованием дискретных волокон и нитей из них в качестве сердцевины разработаны высокотемпературные уплотнительные шнуры диаметром 8–15 мм на рабочие температуры до 1600°C (рис. 5).

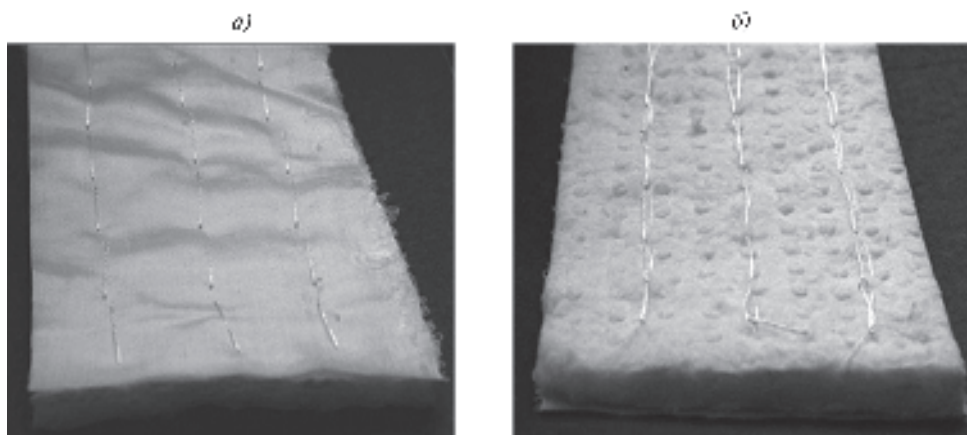
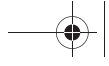


Рис. 6. Двухслойный огнезащитный материал со стороны облицовочной ткани (а) и волокнистого мата (б)



На основе гибких волокнистых высокотемпературных материалов разработана технология получения материала огнезащитного экрана с поверхностной плотностью $900\text{--}1100\text{ г/см}^2$ (рис. 6) для использования при температурах выше 1100°C .

Описанные выше материалы практически полностью удовлетворяют потребность в высокотемпературной теплозащите на рабочие температуры до $1600\text{--}1700^\circ\text{C}$ и выпускаются на производственных участках ВИАМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полежаев Ю.В., Юрьевич Ф.Б. Теплозащита. М.: Энергия. 1976.
2. Щетанов Б.В., Ивахненко Ю.А., Бабашов В.Г. Теплозащитные материалы // Российский Химический Журнал. 2010. Т. LIV. № 1. С. 12–19.

