

# Разработка высокоэффективных композиционных теплозащитных материалов



**Г. Н. Бельских,**  
начальник лаборатории  
okbavia@fitmail.ru



**А. В. Майоров,**  
первый заместитель главного конструктора  
okbavia@fitmail.ru

**ОАО «Авиаавтоматика» им. В. В. Тарасова»**

*В статье отражены основные аспекты разработок новых композиционных материалов теплозащитного направления, которые проводятся в производстве.*

*Работы по разработке технологий изготовления высокоэффективной, долговременной и надежной тепловой защиты электронных модулей памяти от высокотемпературного разрушающего воздействия, проведение испытаний новых материалов и создание производственной базы по их изготовлению на сегодняшний день необходимы и востребованы.*

**Ключевые слова:** тепловая защита; композиционные материалы; электронные модули памяти; высокотемпературное воздействие.

## Основные принципы разработки композиционных теплозащитных материалов

Создание новых образцов изделий военной техники сопровождается усложнением тактико-технических требований, предъявляемых к ним как в части повышения физико-механических свойств, так и в части ужесточения условий эксплуатации, связанных с ростом рабочих и экстремальных температур. Создание нового материала или новой технологии начинается с инновационной идеи, проводится синтез и пооперационный анализ с целью достижения свойств, необходимых для выполнения практических задач.

Разработанная на предприятии инновационная технология изготовления тепловой защиты электронных модулей памяти, позволила выполнить требования международного стандарта ED112 в части сохранения зарегистрированной информации в полном объеме при любом развитии летного происшествя. Самая жесткая ситуация возникает, когда модуль памяти подвергается воздействию открытого пламени (температура около 1100°С) в течение одного часа, затем горение с последующим тлением +260°С в течение 10 часов.

Проблема эффективности современной теплозащиты в сложности практической реализации оптимального, для конкретного использования, сочетания

теплофизических, механических, экологических и технико-экономических характеристик. Отсутствие таких материалов и технологий их изготовления в РФ сдерживает развитие отечественных «высоких технологий» в области теплозащиты.

Высокоэффективная теплозащита должна быть микропористой и иметь более высокие технические характеристики (коэффициент теплопроводности не более 0,04 Вт/мК при температуре 1100°С, плотность не более 300 кг/м<sup>3</sup>), по сравнению с теплозащитными материалами, представленными сегодня на рынке.

Микропористая изоляция — по определению на 80–90% состоит из воздуха или газа. Требовалось разработать наноматериал, в котором воздух находился бы в нанопорах. Средний размер нанопор должен быть меньше пути свободного пробега молекулы воздуха до столкновения ее с другой молекулой. При теплопередаче в таком наноматериале молекулы воздуха или газа запускаются как бы в лабиринт. Задача — предотвратить как можно дольше во времени столкновения молекул воздуха. Если столкновения предотвращены, то теплопередача через воздух резко уменьшена. Этим достигается наименьший коэффициент теплопроводности разрабатываемых деталей теплозащиты.

В масштабе опытных образцов в ОАО «Авиаавтоматика» им. В. В. Тарасова» такая технология

теплозащиты была разработана. Получены и испытаны теплозащитные детали из разработанного наноструктурированного композиционного материала.

Новый технологический процесс получения теплозащитного композита класса (1000–1200°C) содержит оригинальные рецептуры исходных сырьевых компонентов и оптимальные параметры технологических режимов образования микропористой и окислительно-стойкой теплозащитной структуры.

Уникальной особенностью технологии является метод сухого прессования с последующей выдержкой под давлением разнородных материалов и получение конструкционных деталей различных форм. При выполнении операции прессования, используется стандартное прессовое оборудование и специально разработанная технологическая пресс-оснастка.

Главный элемент разработанной микропористой защиты — **аморфные наночастицы оксида кремния**. В аморфных материалах среднее расстояние действия упругой волны мало и равно лишь нескольким межатомным расстояниям. Поэтому их теплопроводность почти на порядок ниже, чем кристаллических. С повышением температуры в аморфных материалах длина свободного пробега фононов изменяется незначительно.

Теплопроводность кристаллических тел можно понизить путем увеличения дефектов в их структуре или рекристаллизации с уменьшением размера кристаллов и снижением их доли в материале. Например, радиоактивное облучение создает точечные дефекты в структуре кристаллов, а при интенсивном облучении вызывает переход от кристаллического к аморфному состоянию, что и является причиной уменьшения и снижения теплопроводности.

В соответствии с кинетической теорией газов их теплопроводность не должна зависеть от давления, если средняя длина свободного пробега молекул между последовательными соударениями очень мала. Однако это условие не выполняется при очень низком давлении, когда абсолютное давление стремится к нулю, или при высоком давлении (>1 МПа). В первом случае толщина газового слоя становится меньше длины свободного пробега молекул, во втором — она уменьшается.

Эту особенность целесообразно использовать при разработке высокоэффективной теплозащиты путем применения мелкозернистых порошков, в которых формируются очень малые воздушные прослойки. Поэтому когда давление газа понижают, то толщина газового слоя в промежутках между мелкими зернами становится мизерной и средняя длина пробега молекул может превышать расстояние между частицами. В таких условиях теплопроводность системы (зерна — воздух) ниже теплопроводности воздуха, заполняющего межзерновые поры, при обычном давлении. Происходит скачок температуры, который затрудняет передачу теплоты, как если бы толщина газового слоя возросла на величину того же порядка что и удвоенная средняя длина свободного пробега молекул. При этом с понижением давления уменьшается передача теплоты путем теплопроводности.

Химический состав исходных веществ оказывает существенное влияние на их теплопроводность. Ве-

щества, простые по химическому составу и строению, более теплопроводны, чем сложные. Например, MgO имеет большую теплопроводность, чем SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, еще меньшей теплопроводностью обладают CaO–SiO<sub>2</sub>; 2CaO–SiO<sub>2</sub> и муллит 3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–2SiO<sub>2</sub>.

Примеси, как правило, уменьшают теплопроводность веществ, даже если сами они более теплопроводны, чем основное вещество. В данном случае играет роль усложнение структуры веществ.

Это явление характерно для материалов с кристаллическим строением и слабее выражено у веществ с аморфной структурой.

Таким образом, можно сделать вывод, что теплопроводность тел, находящихся в различных агрегатных состояниях, при прочих равных условиях увеличивается с повышением плотности, уменьшается с увеличением молекулярной массы, возрастает с повышением температуры кипения или плавления, с увеличением числа атомов становится меньше у кристаллических тел и больше у жидкостей и газов.

Пористость твердых материалов существенно снижает их теплопроводность. Известно, что наименьшей теплопроводностью обладают газы (воздух), находящиеся в спокойном, т. е. в неподвижном, состоянии, когда отсутствует конвективный перенос теплоты. В теплозащитном материале с мелкопористой структурой эти условия считаются обеспеченными, поэтому их теплопроводность тем ниже, чем больше доля пор в общем объеме материала.

На теплопроводность большое влияние оказывает вид пористой структуры материала. Наличие в материале сплошного каркаса из твердого вещества облегчает прохождение теплового потока, отсутствие такого каркаса оказывает большее сопротивление передаче теплоты.

Синтез оптимальной структуры разрабатываемого композита достигался регулированием размеров частиц и плотностью их упаковки. Средний размер пор ( $d_{cp}$ ) определялся из соотношения объема пор и площади их поверхности.

На основе принятой модели пор для цилиндрических капилляров оценивалась пористость конечного теплозащитного материала.

$$d_{cp} = 4 \cdot 10^3 V/A, \quad (1)$$

где  $V$  — объем пор;  $A$  — площадь поверхности пор.

В процессе разработки нового композиционного материала проводился пооперационный аналитический контроль композита.

Для корректного проведения контроля применялось высокоточное аналитическое оборудование, имеющиеся в ОАО «Авиаавтоматика» им. В. В. Тарасова» — ДСК, ДТГ, ИК-спектроскопия, а также использовался метод комбинационного рассеивания света, электронно-силовая микроскопия.

Дисперсность и гомогенность композита достигалась помолом в высокоскоростных диспергаторах исходных материалов и длительным перемешиванием в смесителях. Экспериментальным путем подбирались их концентрация и соотношение компонентов в конечном продукте.

Новая технология отличается широкими возможностями моделирования сочетаний эксплуатационных показателей. Например, достигнуто уникальное сочетание низких показателей коэффициента теплопроводности — 0,04 Вт/м·К, плотности (ниже 250 кг/м<sup>3</sup>) и линейной усадки (менее 1%) при изотропной микроструктуре материала и высокой сопротивляемости термоциклированию.

Технология оптимизирована по критерию «цена–качество» и характеризуется низкой себестоимостью продукции.

В ОАО «Авиаавтоматика» им. В. В. Тарасова» продолжаются работы по разработке высокоэффективных теплозащитных и теплопоглощающих материалов и технологий на их основе. На сегодня эти работы актуальны, так как все публикуемые материалы по применению наноструктурированных материалов в теплозащитных композициях являются результатами лабораторных исследований, проводимых в вузах и академических институтах и никак не связаны с производственной деятельностью. Важно не только вводить наноразмерные вещества в композицию и получать качественно новые характеристики материала, но и иметь возможность управлять наноструктурой, придавать материалу новые свойства, существенно отличающиеся от ранее достигнутых в лучшую сторону.

#### *Список использованных источников*

1. Ал. Ал. Берлин, С. А. Вольфсон, В. Г. Ошмян, Н. С. Епиколапов. Принципы создания композиционных полимерных материалов. М.: Химия, 1990.

2. Ал. Ал. Берлин, А. Ю. Шаулов. Природные и искусственные конструкционные материалы // Материаловедение, № 2, 2005. №2; Вестн. МГУ. Сер. 2. Химия, 2005. Т. 46. № 3.
3. Ю. П. Горлов. Лабораторный практикум по технологии теплоизоляционных материалов. М.: «Высшая школа», 1982.
4. В. И. Захаров, В. Т. Калинин, В. А. Матвеев, Д. В. Майоров. Химико-технологические основы и разработка новых направлений комплексной переработки и использования щелочных алюмосиликатов: монография. Ч. 1. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1995.
5. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. М.: Изд-во «Мир», 2002.
6. П. А. Стороженко, Ш. Л. Гусейнов, С. И. Малашин. Российские нанотехнологии. Т. 4. Вып. 1-2, 2009.

#### **The development of high-performance composite thermal insulation materials**

**G. N. Belskih**, the head of laboratory of PLC «Aviaavtomatika» of the name of V. V. Tarasov».

**A. V. Mayorov**, first Deputy chief designer of PLC «Aviaavtomatika» of the name of V. V. Tarasov.

The article describes the main aspects of the development of new composite materials in heat directions programmes at the workplace.

Work on the development and manufacture of high-efficiency, long-term and reliable thermal protection of electronic memory modules from the damaging effects of high temperature, testing of new materials and development of production facilities for their production today is demanded.

**Keywords:** thermal protection; composite materials; electronic modules of memory; high-temperature impact.

#### **Продолжается прием заявок на конкурс журналистских работ «Предпринимательство в России: истории, успехи, проблемы»**

Продолжается прием заявок на участие в III Всероссийском конкурсе журналистских работ «Предпринимательство в России: истории, успехи, проблемы», организатором которого выступает АНО «Агентство стратегических инициатив по продвижению новых проектов» (АСИ).

Главная задача конкурса — привлечение внимания представителей СМИ к тематике российского предпринимательства и инвестиционному климату в Российской Федерации, успехам представителей бизнеса, а также выявление наиболее интересных журналистских работ по этой теме за 2014 г.

Предметом конкурса являются журналистские материалы (публикации, информационные сообщения, радио, телесюжеты и карикатуры), направленные на повышение уровня информированности населения о деятельности предпринимателей и инвестиционном климате в Российской Федерации.

Цель конкурса — популяризация историй успеха представителей бизнеса и создание положительного имиджа российского предпринимателя и предпринимательства.

К участию в конкурсе приглашаются журналисты федеральных и региональных печатных изданий, интернет-СМИ, информационных агентств, радио- и телекомпаний, а также блоггеры, освещающие деятельность предпринимательского сообщества в России.

Материалы, представляемые на конкурс, должны быть опубликованы в печатных изданиях, размещены на интернет-сайтах СМИ или информационных агентствах, в теле- или радиоэфирах в период с 1 февраля 2014 г. по 21 октября 2014 г. В качестве конкурсных материалов не рассматриваются рекламные и информационные материалы, вышедшие на коммерческих условиях.

Подать заявку на участие в конкурсе можно на сайте <http://asi.ru/konkurs/smi/2014/>

Заявки на участие в конкурсе принимаются с 21 июля по 21 октября 2014.

Для получения дополнительной информации по участию в конкурсе обращайтесь в организационный комитет конкурса по тел.: +7 916 218 27 56 или по электронной почте [konkurs@asi.ru](mailto:konkurs@asi.ru);