

дена оптимизация состава ТАП. Оптимальным является состав ТАП-16 на основе керамообразующего полимера ПКСЗ-21 с наполнением мелкодисперсным порошком карбида кремния до 0,5% (по массе). Установлено, что коэффициент звукопоглощения ТЗПМ с ТАП данного состава находится в интервале 0,7–0,8, эти же образцы с перфорацией (площадь перфорации 15%) имеют $\alpha=0,7-1$. Разработка ТАП позволила получить ТЗПМ со свойствами: $\sigma_{сж}=10-21$ МПа, $T_{раб}=750^{\circ}\text{C}$ (в течение 500 ч) и $T_{раб}=1300-1500^{\circ}\text{C}$ (при выдержке до 2 ч); коэффициент звукопоглощения $\alpha=0,6-0,8$ при полосе звукопоглощения 800–5000 Гц.

По результатам акустических, физико-химических, механических и термических испытаний установлено, что ТЗПМ с ТАП может найти применение для создания звукопоглощающих конструкций, используемых в силовых установках авиакосмической техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев В., Мунин А.Г. Экологические проблемы гражданской авиации //Наука и производство, 2003, № 2, с. 15–17.
2. Кузнецов В.М., Мунин А.Г. Проблемы борьбы с шумом летательных аппаратов //80 лет ЦАГИ, с. 14–18 (ЦАГИ).
3. Соболев А.Ф., Соловьева Н.М., Филиппова Р.Д. Расширение частотной полосы звукопоглощения облицовок силовых установок самолетов //Акустический журнал, 1995, т. 4 №1, с. 146–152.
4. Солнцев С.С., Минаков В.Т., Розененкова В.А., Швец Н.И., Миронова Н.А., Антонова С.В. Комплексные температуроустойчивые защитные покрытия для керамокерамических композиционных материалов: Труды XVIII совещания по температуроустойчивым функциональным покрытиям, ч. 2.– Тула: ТГПУ им. Л.Н. Толстого, 2001, с. 8–10.
5. Солнцев С.С. Защитные технологические покрытия и тугоплавкие эмали.– М.: Машиностроение, 1984, с. 220–241.
6. Минаков В.Т., Солнцев С.С. Керамоматричные композиты – материалы XXI века /В кн.: Авиационные материалы. Избранные труды 1932–2002. Юбилейный научно-технический сборник.– М.: МИСИС, ВИАМ, 2002, с. 122–131.

УДК 678.84

С.С. Солнцев, В.А. Розененкова, Н.А. Миронова, С.В. Гаврилов

ТЕПЛОЗАЩИТНЫЙ МАТЕРИАЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОКСИДНЫХ АРМИРУЮЩИХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

С применением теплозащиты в современных изделиях авиационно-космической техники 4–5 поколений потребовалось ужесточить требования, предъявляемые к разрабатываемым материалам, по обеспечению рабочей температуры до 1650°C и конструкционной прочности до 100 МПа. Для обеспечения функциональных характеристик современных летательных аппаратов широко применяют теплозащитные стеклокерамические композиционные материалы (СККМ).

Волокнистые композиционные материалы на основе керамических и стеклокерамических матриц привлекают особое внимание благодаря их чрезвычайной стойкости к термическим и химическим воздействиям. Кроме того, они продемонстрировали ряд преимуществ по сравнению с металлическими материалами, а именно уникальное сочетание малой плотности с высокой конструкционной прочностью, стабильностью и рядом других свойств [1].

Требование высокой стойкости к окислению при высоких температурах значительно ограничивает выбор упрочняющих керамических и стеклокерамических волокон. Оксидная керамика является наиболее перспективной для синтеза высокотемпературной теплозащиты. Кроме того, армирующие компоненты оксидной керамики не являются дефицитными и дорогостоящими. Перспективными считаются волокна на основе оксида алюминия, муллита, диоксида циркония, а также нитрида и карбида кремния. Как правило, для синтеза матрицы используют те же соединения, что благотворно влияют на их совместимость с армирующим наполнителем. Повышение эксплуатационных характеристик оксидных композиционных материалов осуществляется путем улучшения качества исходного сырья, оптимизации составов и технологических режимов [2].

Регулирование свойств таких материалов возможно путем подбора составляющих компонентов, их количественного соотношения, распределения и ориентации в объеме материала, а также технологических параметров их получения. Это позволяет получать композиционные материалы многофункционального назначения.

В работе в качестве матрицы исследовалась система $Al_2O_3-SiO_2$. Оксид алюминия вводился в состав матрицы в виде водорастворимых солей или высокодисперсного порошка. Отличительной особенностью стекловидных и стеклокерамических матриц является их низкая реакционная способность и высокое сопротивление деформированию в твердофазном состоянии, однако проблемы химической и механической совместимости для композитов весьма серьезны, их решение требует комплексных подходов, тщательной научной и практической проработки процессов синтеза и технологии.

Одним из важнейших этапов производства СККМ и обеспечения его высоких свойств является получение качественного полуфабриката – мата из объемноструктурированных армирующих наполнителей. Мат должен быть равноплотным на макро- и микроуровнях, иметь максимальную изотропность, обладать необходимой технологической прочностью и заданными геометрическими размерами. При этом уже на этапе получения матов должна учитываться схема последующего технологического процесса изготовления СККМ.

Была разработана технология изготовления матов из армирующих волокон на основе муллита и каолина, которая включает следующие производственные этапы:

- механическая очистка;
- приготовление гидросуспензии;
- залив гидросуспензии в пресс-форму;
- удаление жидкости из мата;
- сушка полуфабриката.

Механическая очистка исходных армирующих волокон заключалась в удалении крупных неволокнистых включений.

Гидросуспензию готовили в емкости с мелющими шарами на валковой мельнице. В процессе изготовления гидросуспензии установлено, что при перемешивании волокно претерпевает хаотичное соударение с мелющими шарами, в результате чего оно утрачивает до 50% исходных механических характеристик. Поэтому был опробован второй вариант приготовления гидросуспензий – из волокна, обработанного на ноже-

вой мельнице. Маты, полученные на волокне, подвергнутом обработке на ножевой мельнице, обладали большей технологической и механической прочностью.

Удаление воды может осуществляться как самопроизвольно, так и принудительно – под давлением. Регулирование давления позволило получить маты с содержанием от 20 до 40% (объемн.) волокон и обеспечило возможность получения КМ с регулируемой объемной долей армирующего наполнителя (от 20 до 40%). При этом маты получаются равноплотными, отсутствует слоистость. На рис. 1 представлены данные по изменению плотности полученных волокнистых заготовок в зависимости от давления.

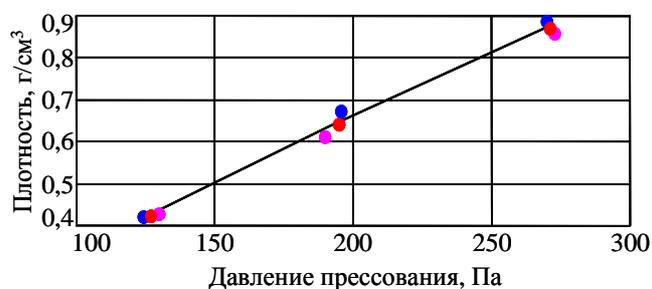


Рис. 1. Влияние давления прессования на плотность волокнистых полуфабрикатов (●, ●, ● – испытания трех образцов)

Процесс сушки заключался в полном удалении влаги из мата путем ее испарения. Температурно-временной режим сушки матов является определяющим фактором получения бездефектных заготовок – должны отсутствовать коробление, расслоение и трещины.

Основной способ получения СККМ на основе волокнистых полуфабрикатов из оксидных волокон и стеклокерамической матрицы – «золь-гель» метод. Достоинством данного метода является низкая энергоемкость процесса и обеспечение высоких качественных показателей материала. При этом возможны различные технологические приемы получения СККМ: от простой пропитки волокнистой заготовки матричным составом до горячего прессования полуфабриката СККМ под давлением.

На этапе перехода от изготовления образцов до изготовления изделий из СККМ учитывали, что качество и стабильность свойств изделий зависят от многих факторов: состава и качества исходных компонентов, технологических параметров, размеров изготавливаемого изделия и его конфигурации. Часто на переходном этапе в готовом изделии возникали разного рода дефекты, как поверхностные, так и внутренние, чего не наблюдалось при изготовлении образцов. Количество дефектов, как правило, увеличивалось с увеличением размеров изделия и зависело от вида термической обработки, которой оно подвергается.

Для устранения дефектов, связанных с нарушением фазовой стабильности СККМ, в состав гель-матриц вводили агенты – замедлители кристаллизации (борсодержащие компоненты), для снижения усадок при высокотемпературном нагреве – оксид магния, замедляющий спекание стеклокерамических волокон [3].

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили правильность выбранных направлений. Были изготовлены три партии панелей из теплозащитного материала типа «Геларм» размером 400×400×150 мм на основе муллитового волокна и матрицы системы $Al_2O_3-SiO_2$ с добавками B_2O_3 и MgO . Экспериментальные панели прошли предварительную термообработку при температуре до 1000°C в течение 1 ч, после чего подвергались испытанию на температуроустойчивость по режиму: 1650°C в течение 20 мин и 1 ч. Оценка температуроустойчивости панелей проводилась по изменению их размеров и по качеству поверхности. Получены следующие данные: усадка панелей СККМ на основе оксидных волокон и матрицы системы $Al_2O_3-SiO_2$ с добавками

B_2O_3 и MgO после испытаний составила 3–5%, в то время как для панелей, не содержащих компонентов модификаторов, получена усадка 10–11%.

Температууроустойчивость экспериментальных панелей СККМ на оксидных армирующих волокнах подтверждена данными рентгенофазового анализа. Фазовый состав образцов СККМ исследовали как в исходном состоянии, так и после термообработки по следующим режимам: при 1000°C с выдержкой 10 мин и 1 ч; при 1650°C, 10 мин и 1 ч. Съемка образцов проводилась на дифрактометре D/MAX-2500 фирмы «Rigaku» с медным монохроматическим излучением (рис. 2).

В результате проведенных исследований установлено, что основными фазами исходного СККМ являются корунд, аморфный кварц SiO_2 и оксид Al_2O_3 . При нагреве до 1000°C, 1 ч, появляется дополнительная фаза – муллит – и незначительное количество силлиманита (<0,55%). При нагреве материала до температуры 1650°C с выдержкой до 1 ч основной состав СККМ остается неизменным, содержание муллита не меняется и лишь незначительно снижается содержание аморфного кварца (<0,1%) и появляется кристаллический кварц.

В работе проведены исследования теплофизических свойств СККМ на оксидных волокнах и из НК–SiC (НК – нитевидные кристаллы). Размер исследуемых образцов: диаметр 0,015 м, высота 0,003 м. Плотность исследуемых образцов находилась в пределах $d=0,6–0,7$ г/см³.

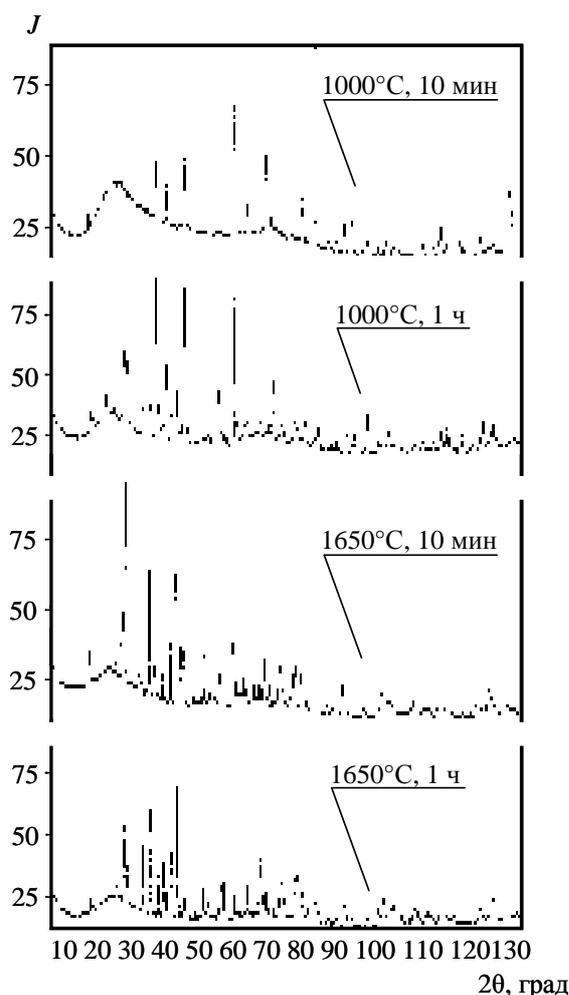


Рис. 2. Дифрактограммы образцов СККМ типа «Геларм» на оксидных волокнах после термообработки по различным режимам

Были получены следующие данные по теплопроводности (λ):

Вид СККМ	λ , Вт/(м·К)
На основе волокна системы $Al_2O_3-SiO_2$	0,13–0,14
НК–SiC	0,24–0,25.

Данные результаты свидетельствуют о том, что разработанный СККМ на оксидных волокнах по теплопроводности превосходит СККМ на дефицитном армирующем волокне SiC.

Основные конструктивные и технико-эксплуатационные показатели разработанного СККМ на основе оксидных армирующих наполнителей и стеклокерамической матрицы: высокая температуроустойчивость, механическая прочность, низкие теплопроводность и плотность, экологическая безопасность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н., Берсенев Ю.А., Максимов В.Г., Щетанов Б.В. Радиопрозрачные высокотермостойкие керамические материалы: Тез. докл. на Международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы высокоскоростных течений». – М.: ЦАГИ, 2004, с. 64–96.
2. Композиционные материалы: Справочник. Гл. 1. – М.: Машиностроение, 1990, с. 7–10.
3. Августинник А.И. Керамика.– Л.: Стройиздат, 1975, с. 370–380.

УДК 678.84

*С.С. Солнцев, Д.В. Гращенков, Н.В. Исаева,
С.Ст. Солнцев, Г.В. Ермакова, Г.М. Прокопченко*

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ БЕСКИСЛОРОДНОЙ КЕРАМИКИ ТИПА SiC–SiC

Анализ современного развития зарубежного двигателестроения показывает, что использование высокотемпературных керамических композиционных материалов на основе бескислородной керамики типа SiC–SiC является ключевым в решении проблем, связанных с выбросом вредных веществ, снижением массы, повышением характеристик рабочих процессов – надежности, долговечности перспективных двигательных установок, и в частности авиадвигателей.

Композиционные материалы с керамической матрицей на основе SiC обладают низкой удельной массой (в 2–3 раза легче сталей), низким коэффициентом теплового расширения (повышенной стабильностью размеров), повышенной эрозионной, химической и коррозионной стойкостью в агрессивных средах. Наряду с хорошим сочетанием весовых и удельных механических характеристик, изделия из керамических композиционных материалов обладают высокой термостойкостью и поэтому могут использоваться без охлаждения в условиях высоких температур, вплоть до 1500°C, с прогнозом дальнейшего повышения.

В результате проведенных исследований разработаны составы и способы получения композиционного материала на основе керамической матрицы с плотностью менее 3 г/см³, с рабочей температурой до 1500–1600°C и прочностью до 200 МПа.

Формообразование изделий из композиционного материала проводится с помощью методов, используемых при получении изделий из полимерных композиционных материалов. Данный подход определяется достаточно хорошей изученностью технологических приемов, методик расчета технологических операций и их параметров, а также обеспечивает доступность технологической базы. Полученный таким образом полуфабрикат подвергается высокотемпературной обработке, в результате которой происходит зарождение и регулирование структуры материала, что приводит к образованию высокотемпературного полидисперсного квазиизотропного керамического КМ (рис. 1) [1].