

ТЕПЛОЗАЩИТНЫЙ МАТЕРИАЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОКСИДНЫХ АРМИРУЮЩИХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

Изложены особенности технологии получения волокнистых композиционных материалов на основе керамических и стеклокерамических матриц.

Экспериментально установлено влияние технологического процесса получения стеклокерамических и керамических композиционных материалов на их теплофизические свойства.

Ключевые слова: теплозащитный материал, волокнистые композиционные материалы

Применение теплозащиты в современных изделиях авиационно-космической техники IV–V поколений ужесточает требования, предъявляемые к разрабатываемым материалам по обеспечению рабочих температур и конструкционной прочности. 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. 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].

Требования противостоять окислению при высоких температурах значительно ограничивают 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, которые 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 осуществлять путем подбора составляющих компонентов, их количественного соотношения, распределения и ориентации в объеме материала, технологических параметров их получения. Это позволяет получать композиционные материалы многофункционального назначения [3, 4].

В данной 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 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.

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 ножевой мельнице. Маты, полученные из волокна, подвергнутого 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 пористостью от 20 до 40% (объемн.) и обеспечило возможность получения КМ с регулируемой объемной долей армирующего наполнителя – от 20 до 40% (объемн.). При этом маты получаются равномерно, отсутствует слоистость. На рис. 1 представлены данные по изменению плотности полученных волокнистых заготовок в зависимости от давления.

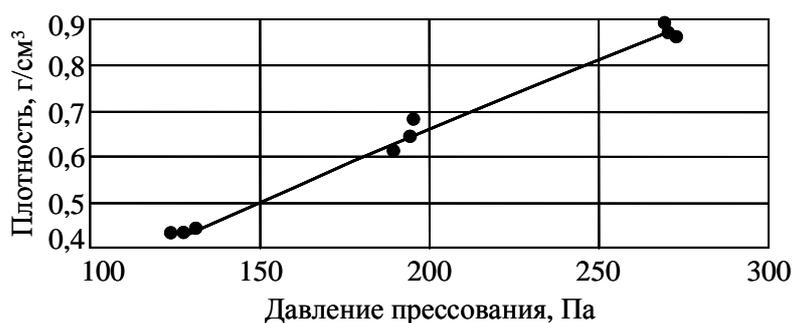


Рис. 1. Влияние давления прессования на плотность волокнистых полуфабрикатов

Процесс сушки заключался в полном удалении влаги из мата за счет 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, что не наблюдалось при изготовлении образцов. Количество дефектов, как правило, увеличива-

лось с увеличением размеров изделия и с изменением вида термической обработки, которой оно подвергается.

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

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 до 1000°C в течение 1 ч, после чего испытывались на температуроустойчивость по режиму: 1650°C, 20 мин и 1 ч. Оценка температуроустойчивости панелей проводилась по изменению их размеров и по качеству поверхности. Были получены следующие данные: усадки панелей СККМ на основе оксидных волокон и матрицы системы $Al_2O_3-SiO_2$ с добавками B_2O_3 и MgO после испытаний составили 3–5%, в то время как усадки панелей, не содержащих компонентов модификаторов, составили 10–11%.

Температуроустойчивость экспериментальных панелей СККМ на оксидных армирующих волокнах подтверждена данными рентгенофазового анализа. Фазовый состав образцов СККМ исследовался как в исходном состоянии, так и после термообработки по следующим режимам: 1000°C (10 мин и 1 ч); 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 Al_2O_3 , 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 до 1650°C и выдержке 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 были проведены исследования теплофизических свойств СККМ на оксидных волокнах и из нитевидных кристаллов карбида кремния (НК-SiC). Размер исследуемых образцов: диаметр 0,015 м, толщина 0,003 м. Плотность исследуемых образцов находилась в пределах $d=0,6-0,7$ г/см³.

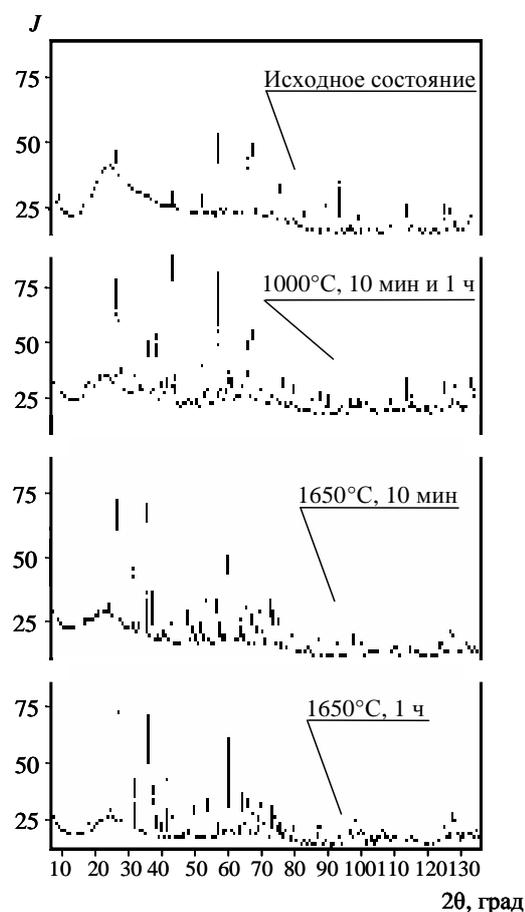


Рис. 2. Дифрактограммы образцов СККМ типа «Геларм» на оксидных волокнах

Получены следующие данные по теплопроводности (λ):

Материал образцов	λ , Вт/(м·°С)
На волокне системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$	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. Фундаментальные проблемы высокоскоростных течений: Международная научно-техническая конференция.– М.: ЦАГИ, 2004, с. 64–96.
2. Композиционные материалы: Справочник.– М.: Машиностроение, 1990, Гл. 1, с. 7–10.
3. Августинник А.И. Керамика.– Л.: Стройиздат, 1975, с. 370–380.
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: изд. ТПУ им. Л.Н. Толстого, 2001, с. 8–10.

С.С. Солнцев, Н.В. Исаева, В.В. Швагирева, Г.А. Соловьева

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЖАРОСТОЙКИЕ ЭМАЛЕВЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ТОПЛИВА ТЕПЛОАГРУЖЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ И ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ

Приведены данные по влиянию и воздействию продуктов сгорания топлива на сопротивляемость коррозионностойких сталей и жаропрочных сплавов и их работоспособность. Для защиты от коррозионного воздействия продуктов сгорания топлива разработаны и применяются жаростойкие газоплотные стеклоэмалевые покрытия.

Ключевые слова: жаростойкие эмалевые покрытия, коррозионностойкие стали, жаропрочные сплавы.

Сопротивляемость коррозионностойких сталей и жаропрочных сплавов воздействию продуктов сгорания топлива зависит от химического состава материала, влияния примесей топлива, температуры и продолжительности воздействия, а также циклического нагружения на работающие конструкции.

При неполном сгорании некоторых топлив в продуктах сгорания всегда содержатся соединения углерода (оксид углерода, углеводороды и др.), что приводит к отложению на поверхности металлических конструкций продуктов термического разложения углеводородных горючих (нагар, сажа).