

Д. Т. Н. Е. И. Суздальцев, Е. В. Горелова

ОАО ОНПП «Технология», г. Обнинск Калужской обл., Россия

УДК 666.762.2.017:620.197.7

КВАРЦЕВАЯ КЕРАМИКА, ОБЪЕМНО-ПРОПИТАННАЯ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИМ СВЯЗУЮЩИМ СПИРОЦИКЛИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ

Представлен способ получения высокотермостойкой беспористой кварцевой керамики, заключающийся в объемной пропитке продуктом МФСС-8 (раствор метилфенилспиросилоксана в ацетоне) — кремнийорганическим связующим спироциклического строения. Представлены основные свойства полученного материала, результаты его апробации в конструкции изделий радиотехнического назначения.

Ключевые слова: объемно-пропитанная кварцевая керамика, кремнийорганическое связующее, полимеризация, изделия радиотехнического назначения.

В настоящее время в конструкции изделий радиотехнического назначения широко применяется кварцевая керамика, так как она является одним из лучших радиопрозрачных материалов. Однако на эксплуатационные характеристики изделий из кварцевой керамики сильно влияет ее открытая пористость (8—11 %), так как поглощение материалом влаги приводит к резкому изменению диэлектрических характеристик, что вызывает необходимость герметизации изделия [1]. Кроме того, кварцевая керамика является сравнительно малопрочным материалом, что значительно ограничивает область ее применения.

Одним из методов одновременного решения проблемы упрочнения пористых материалов и их влагозащиты является частичная или полная пропитка растворами кремнийорганических полимеров с их дальнейшей полимеризацией. Для упрочнения изделий из кварцевой керамики, используемой в условиях высокотемпературных воздействий с сохранением стабильности диэлектрических свойств, целесообразнее всего использовать термостойкие кремнийорганические полимеры, имеющие достаточно широкий интервал стабильности диэлектрических свойств. В зависимости от назначения изделия и требований, которые к нему предъявляются, используются следующие способы пропитки: полная пропитка; односторонняя пропитка на небольшую глубину (до 1 мм) или на глубину, переменную по высоте.

Идея использования кремнийорганических смол для защиты кварцевой керамики от воздействия внешних климатических факторов не нова [2]. Однако долгие годы в производстве изделий радиотехнического назначения исполь-

зовали так называемую поверхностную пропитку на незначительную глубину (до 1—2 мм). Это было вызвано опасениями, что при эксплуатации изделий из кварцевой керамики в результате интенсивного нагрева могут произойти деструкция полимера и возможное повреждение материала образующимися газами. Использование поверхностной пропитки кварцевой керамики имеет существенные недостатки. К основным недостаткам следует отнести то, что защита материала от влаги обеспечивается присутствием на поверхности керамики достаточно тонкой полимерной пленки, которая может быть легко нарушена даже при незначительном механическом воздействии. В результате этого материал начинает впитывать влагу, что отрицательно сказывается на его радиотехнических свойствах.

В результате проведенных исследований предположили, а впоследствии и доказали экспериментально, что обеспечить гарантированное нулевое водопоглощение кварцевой керамики возможно путем ее объемной пропитки кремнийорганической смолой — продуктом МФСС-8 (раствор метилфенилспиросилоксана в ацетоне). Выбор полимера обусловлен его хорошими адгезионными свойствами, высокой термостойкостью (до 450 °С длительно), отсутствием углерода в продуктах деструкции полимера. При объемной пропитке кварцевой керамики МФСС-8 и последующей ее полимеризации обеспечение нулевого влагопоглощения происходит не только за счет образования внешней пленки кремнийорганической смолы, но и за счет закрытия поровых каналов внутри самой керамики. Это подтверждается экспериментом, при котором объемно-пропитанные

образцы кварцевой керамики подвергались постепенной сошлифовке по толщине; при этом контролировали водопоглощение образцов. Каких-либо изменений этого параметра зафиксировано не было. В связи с этим была поставлена задача — всесторонне исследовать объемно-пропитанную кварцевую керамику и разработать техническую документацию на сам материал и технологию при работе с изделиями. Следует отметить, что повышение механической прочности изделий после пропитки продуктом МФСС-8 обусловлено тем, что в результате пропитки происходят залечивание поверхностных дефектов в виде микротрещин и царапин, увеличение эффективной площади или объема механически нагруженной зоны образца (изделия) за счет введенного в поры полимера, а также перераспределения напряжений в материале при усадке полимера. Экспериментально установлено, что полностью пропитанная полимером кварцевая керамика имеет водопоглощение менее 0,1 %, предел прочности при статическом изгибе не менее 50 МПа. Более подробная информация об основных свойствах полученного материала представлена в таблице.

В ходе многочисленных экспериментов было установлено, что объемно-пропитанная кварцевая керамика способна эксплуатироваться длительное время до 450 °С, кратковременно — при температурах выше 1050 °С без деградации свойств. Ниже представлены предельные возможности объемно-пропитанной кварцевой керамики при воздействии высоких температур в условиях стационарного нагрева, при которых ее предел прочности при статиче-

ском изгибе и диэлектрические характеристики не изменяются:

Температура, °С	Время, ч, не менее
300	216
350	15
450	15
550	7
650	4
750	4
850	4
950	4
1000	1
1050	0,016
1100	0,016

Образцы испытывали также в условиях лучистого нагрева; при этом были достигнуты два температурных пика при 1500 °С. После испытаний разрушений образцов не обнаружено.

При разработке новых изделий радиотехнического назначения большое внимание уделяют их эрозионной устойчивости к дождевому и пылевому воздействию. Установлено, что объемно-пропитанная кварцевая керамика обладает повышенной устойчивостью к пылевой и дождевой эрозии. Для сравнения: обычная кварцевая керамика обладает низкой эрозионной стойкостью при дождевом воздействии даже при сравнительно невысоких скоростях полета летательных аппаратов.

Материал был опробован в конструкции двух изделий. Результаты апробации оказались положительные. Более того, изделия пропитывали на стадии заготовки с припуском наружной и внутренней поверхности 1 мм. После

Основные свойства объемно-пропитанной кварцевой керамики

Показатели	Кварцевая керамика	
	исходная	объемно-пропитанная
Кажущаяся плотность, кг/м ³ (г/см ³)	1940—2050 (1,94—2,05)	1990—2070 (1,99—2,07)
Открытая пористость, %	7—12	0,2, не более
Водопоглощение, %, не более	—	0,1
Предел прочности при статическом изгибе при 20 °С (среднее значение), МПа (кгс/мм ²), не менее	34 (3,5)	50 (5,1)
Предел прочности при статическом изгибе (среднее значение), МПа (кгс/мм ²), не менее, при температуре, °С:		
—60	—	66 (6,7)
400	—	58 (5,9)
800	—	74 (7,6)
1100	88 (9,0)	82 (8,4)
Модуль упругости при 20 °С, МПа (кгс/мм ²), не менее	2,6·10 ⁴ (2700)	3,6·10 ⁴ (3700)
Ударная вязкость (среднее значение), кДж/м ² (кгс·см/см ²), не менее	0,78 (0,80)	1,8 (1,8)

пропитки и полимеризации заготовку подвергали механической обработке. После снятия припуска изделия доводились по РТХ. На уже готовых изделиях проверяли водопоглощение путем выдержки в дистиллированной воде в течение 1 сут. Водопоглощение изделий оказалось нулевым.

После успешной апробации объемно-пропитанной кварцевой керамики были начаты исследования основных свойств материала с добавкой 1 мас. % Cr_2O_3 и объемной пропиткой раствором МФСС-8. Данный вид керамики отличается повышенным коэффициентом черноты (0,4—0,5 при длине волны $\lambda = 0,65$ мкм), что немаловажно при работе изделий в условиях аэродинамического нагрева [1]. Благодаря объемному модифицированию удалось получить беспористый материал, что, в свою очередь, привело к более чем 20 %-ному увеличению коэффициента черноты. Кроме того, пропитка материала кремнийорганической смолой должна привести к тому, что при воздействии тепловых потоков на материал происходит выпаривание — выгорание смолы и отведение от изделия вместе с парогазовым облаком излишнего тепла. Это предположение планируется проверить в дальнейших работах.

Таким образом, были проведены всесторонние исследования объемно-пропитанной кварцевой керамики и подготовлены паспорт и тех-

нические условия на этот материал. Материал был успешно апробирован в конструкциях двух изделий и внедрен в технологию их изготовления. При этом изделия пропитываются на стадии заготовки и потом подвергаются механической обработке до необходимых размеров. С применением различных видов испытаний показана высокая термостойкость и стабильность основных свойств материала в широком диапазоне температур. Работы в данном направлении продолжаются.

* * *

Работа выполнена при поддержке РФФИ и правительства Калужской области, грант № 12-08-97502.

Библиографический список

1. **Пивинский, Ю. Е.** Кварцевая керамика и огнеупоры. Т. 2. Материалы, их свойства и области применения: справочное издание / Ю. Е. Пивинский, Е. И. Суздальцев; под ред. Ю. Е. Пивинского. — М.: Теплоэнергетик, 2008. — 464 с.
2. **Пат. 2256262 Российская Федерация.** Антенный обтекатель ракеты / Бородай Ф. Я., Русин М. Ю., Пашутина Т. А.; опубл. 10.07.05, Бюл. № 19. ■

Получено 23.04.13

© Е. И. Суздальцев, Е. В. Горелова,
2013 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

56th INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON REFRACTORIES 2013



56-й международный коллоквиум по огнеупорам 2013 ОГНЕУПОРЫ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

25–26 сентября 2013 г.

Аахен, Германия

ТЕМЫ:

- | | |
|-------------------------|---|
| ★ Стекло | ★ Формованные и неформованные огнеупоры |
| ★ Цемент, известь, гипс | ★ Управление качеством |
| ★ Керамика | ★ Служба огнеупоров в футеровке |
| ★ Обжиг | ★ Износ и коррозия |
| ★ Химические процессы | ★ Рециклинг |
| ★ Огнеупорное сырье | ★ Охрана окружающей среды |

www.feuerfest-kolloquium.de/kolloquium-2013