

который раньше не рассматривался в литературе, область повышенной интенсивности волнового поля формируется вблизи вершины угла с внешней стороны поверхности. Максимальное превышение интенсивности падающей волны равно примерно четырем.

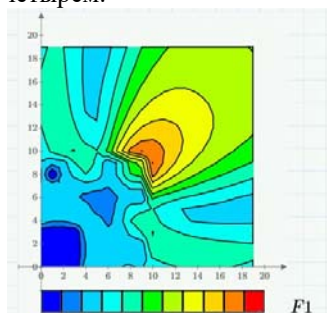


Рисунок 2 – Распределение интенсивности волнового поля для частицы сложной формы

Второй рисунок относится к измененной форме поперечного сечения. Для этого в области  $1 \leq x \leq 1.3; 1 \leq z \leq 1.3$

диэлектрическая проницаемость полагается равной единице. Эта область относится уже к свободному пространству. Наблюдается в этом случае уменьшение поперечного размера ФНС.

Для сравнения продольных размеров требуются дополнительные расчеты в расширенной ближней зоне.

Таким образом, при отклонении формы диэлектрической изолированной частицы от заданной (в рассмотренном случае правильной) возможно улучшение параметров ФНС. Дополнительным фактором оптимизации структуры ФНС

является направление распространения падающей волны.

### Литература

1. Chen Z., Taflove A., Backman V. Potonic nanojet enhancement of backscattering of light by nanoparticles // *Optics Express*. – 2004. – № 12(7). – P. 1214–1220.
2. Chen Z., Taflove A., Backman V. Optical analysis of nanoparticles via enhanced backscattering facilitated by 3-D photonic nanojets// *Optics Express*. – 2005. – № 13(2) – P. 526–533.
3. Kong S.-C., Sahakian A., Heifetz A., Taflove A., Backman V. Robust detection of deeply sub-wavelength pits in simulated optical data-storage disks using potonic jets // *Appl. Phys. Lett.* – 2008. – Vol. 92. – P. 211102.
4. Соффер В.А. Дифракционная нанофотоника и перспективные информационные технологии // *Вестн. РАН.* – 2014. – Т. 84, № 1. – С. 11 – 22.
5. Гейнц Ю.Э., Землянов А.А., Панина Е.К. Эффект фотонных наноструй в многослойных микронных сферических частицах // *Квантовая электроника.* – 2011. – Т. 41, № 6. – С. 520–525.
6. Heifetz A., Huang K., Sahakian A., Li X., Taflove A., Backman V. Experiment confirmation of backscattering enhancement induced by a potonic jets // *Appl. Phys. Lett.* – 2006. – Vol. 89. – P. 221118.
7. Минин И.В., Минин О.В. Фотоника изолированных диэлектрических частиц произвольной трехмерной формы – новое направление оптических информационных технологий // *Вестн. Новосибир. гос. ун-та* – 2014. – Т. 12, вып. 4. – С. 59–70.

УДК 536.46

## ОГНЕЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ФУТЕРОВКИ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ

Дятлова Е.М.<sup>1</sup>, Шамкалович В.И.<sup>1</sup>, Попов Р.Ю.<sup>2</sup>, Мухлядо В.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет, Минск, Республика Беларусь

Особый интерес для практического использования применительно к алюмосиликатным огнеупорам представляют новые покрытия, полученные по СВ-технологии (самораспространяющегося высокотемпературного синтеза), получившие название защитно-упрочняющих оксидно-керамических (ОКП). ОКП предназначены для нанесения их на поверхность алюмосиликатных изделий и теплоизоляционных материалов, используемых в футеровках металлургических печей и котельных установок, печей по производству строительных материалов и др. Оксидно-керамические покрытия, нанесенные на поверхность огнеупоров, расширяют область температурного применения огнеупорной основы, при-

водят к значительному уменьшению физико-химической и механической эрозии ее поверхности, заметно (на 50–100 °С) повышают температурные ресурсы огнеупоров в условиях статических и динамических (в том числе циклических) воздействий агрессивных сред и высокотемпературных газовых и пылевых потоков.

ОКП образуются на поверхности шамотных огнеупоров, в том числе легковесных и ультра-легковесных, в процессе инициирования реакции СВС в обычном режиме эксплуатации тепловых агрегатов при 700–850 °С. Толщина огнеупорного покрытия может быть различной (1–4 мм) в зависимости от производственной необходимости. Сочетание специально подобранных компо-

ментов с широким набором, физико-химических и механических характеристик позволяет получать покрытия с разнообразными эксплуатационными свойствами. ОКП отличаются высокими огнеупорностью (до 2000 °С), механической прочностью, износостойкостью, а также кислотно-щелочной стойкостью в среде агрессивных продуктов горения и отходящих дымовых газов. Покрытия существенно улучшают поверхностные характеристики огнеупорного материала – основы: уменьшают ее пористость в 1,5–2,0 раза (в зависимости от начальной кажущейся плотности материала). Изменение всего комплекса свойств огнеупоров за счет нанесения ОКП приводит к значительному увеличению срока эксплуатации футеровок тепловых агрегатов.

Известные футеровочные смеси komponуются, как правило, из соображений схожести химического состава смеси и базового огнеупора. Это способствует совместимости и адгезионному сцеплению наносимого футеровочного материала и базового на который он наносится. Однако, даже при такой химической совместимости, могут возникнуть проблемы с обеспечением адгезионного сцепления футеровочной или ремонтной смеси с основой, особенно в тех случаях, когда необходимо обеспечить надежное адгезионное сцепление в течение продолжительного периода эксплуатации в условиях высокотемпературных воздействий статического или динамического (в том числе циклического) характера. Часто, под воздействием указанных факторов происходит отслоение футеровки, ее выкрашивание или образование раковин и прогаров, что сокращает ресурс эксплуатации высокотемпературного теплового агрегата. Для предотвращения подобных явлений необходимо осуществлять рациональный подбор исходных компонентов и согласование покрытий по температурному коэффициенту линейного расширения (ТКЛР).

В настоящей работе для приготовления масс использовались следующие сырьевые материалы: алюминиевая пудра марки ПАП-1 или ПАП-2 (ГОСТ 5494-95), оксид кремния в виде кварцевого песка Гомельского ГОКа марки С-070-2 (ГОСТ 22551-77), оксид железа (III), каолин месторождения «Дедовка» природный, глина «Лукомль» и натрий кремнефтористый (ГОСТ 87-77), электрокорунд (ГОСТ 28818-90), волластонит, отход глазурей ОАО «Керамин», жидкое стекло.

Исходные компоненты измельчались, смешивались в сухом состоянии, затем в состав массы вводилось жидкое стекло и вода до получения пастообразной консистенции.

При нанесении состава в производственных условиях на рабочие поверхности футеровочной кладки любого действующего теплоагрегата создание защитно-упрочняющего слоя осуществляется с помощью пневмоинструментов или пульверизаторов. Нанесенный таким образом

защитный слой футеровки теплоагрегата подвергается естественной сушке в течение суток до полного его отверждения.

При выведении агрегата на рабочий режим и достижении температуры разогрева порядка 500–850 °С в материале покрытия и/или в швах кладки инициируется СВС, который распространяется в виде волны направленного горения по слою нанесенной огнеупорной смеси. При этом в реакционной зоне волны горения при температурах 1400–1800 °С происходит синтез новых оксидно-керамических структур муллитового типа  $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ , а также более сложных огнеупорных соединений.

Фазовый состав покрытий характеризуется наличием различных огнеупорных кристаллических фаз в материале покрытий: корунд,  $\alpha$ -кварц, кремния, периклаз, муллит и др.

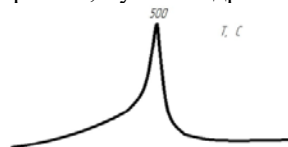


Рисунок 1 – Температура начала воспламенения защитного покрытия

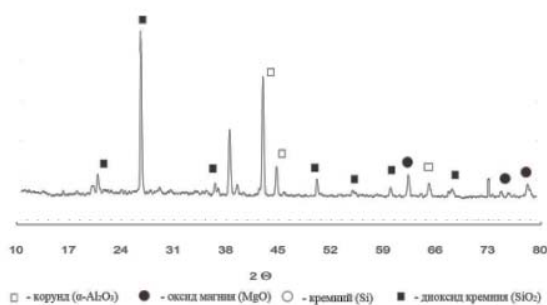


Рисунок 2 – Фазовый состав покрытия

Благодаря нанесению защитных покрытий на рабочие поверхности футеровочной кладки из алюмосиликатных материалов ресурс работы теплоагрегата увеличивается в несколько раз. В процессе исследований отмечалось, что наибольшая механическая прочность достигается в составах, в которых содержится отход глазурей ОАО «Керамин», это объясняется тем, что в процессе синтеза, наряду с активным формированием стекловидной фазы (основу которой составляют оксиды  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ), присутствуют огнеупорные компоненты, такие как:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ , способствующие повышению указанной характеристики за счет особенностей своего строения, а также специфических свойств.

Отмечается, что введение его способствует не только спеканию покрытия, но и насыщению материала  $\text{ZrO}_2$ , который может обеспечивать кристаллизацию полезных для прочностных свойств фаз, например, муллита. Важной составляющей массы является кремнефтористый натрий – являющийся активным компонентом смеси, обеспечивающий интенсивное формирова-

ние стекловидной фазы совместно с другими компонентами шихты (например, оксидом железа).

На некоторых участках покрытий фиксируются четкие формы кристаллической составляющей, что, по нашему мнению, может быть идентифицировано как тридимит – полиморфной разновидности кварца с достаточным характерным габитусом кристалла. Наличие такой составляющей положительно влияет на термомеханические характеристики покрытий – улучшается механическая прочность, огнеупорность и температура начала деформации под нагрузкой. Размер кристаллов составляет 25–40 мкм.

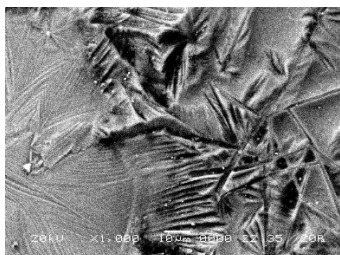


Рисунок 3 – Результаты электронной микроскопии оптимального образца, обожженного при температуре 1150 °С

Образцы оптимального состава, полученные по указанной технологии и обожженные при

температуре 1150 °С, характеризовались следующим набором свойств: водопоглощение – 16,0 %; открытая пористость – 21,0 %; кажущаяся плотность – 1348 кг/м<sup>3</sup>; твердость по шкале Мооса 8, теплопроводность (Т = 200 °С) находится в интервале 0,400–0,548 Вт/м·К. Анализ данных рентгенофазового исследования большинства образцов составов свидетельствует о том, что основными кристаллическими фазами покрытий являются α-кварц (или его разновидности), корунд, гематит, а также целый ряд твердых растворов криптористаллической структуры (алюмосиликаты кальция и натрия) по своему химическому составу близкому к плагиоклазу.

#### Литература

1. Мержанов, А.Г. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез / А.Г. Мержанов. – Москва: Химия, 1983. – 144 с.
2. Петюшик, Е.Е. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез / Е.Е. Петюшин, В.Е. Романенков, С.М. Ушеренко. – Минск : МИПК при БГПА, 2000. – 66 с.

УДК 621

### МЕТОДИКА И АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦОВ ТИТАНОВЫХ ИМПЛАНТАТОВ С ИМИТАТОРОМ КОСТНОЙ ТКАНИ

Потапенко Е.А., Монич С.Г.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

В настоящее время для испытания образцов имплантатов используется методика по определению усилия сдвига на испытательной машине согласно ГОСТ Р 52641-2006. При этом для соединения исследуемых поверхностей между собой используется костный цемент либо эпоксидный клей [1].

Согласно этой методике определяется только касательное напряжение (напряжение сдвига), а напряжение на отрыв не измеряется, что снижает информативность проводимых испытаний [1].

Для получения экспериментальных данных, отражающих влияние именно состояния поверхности образца на прочность ее соединения с имитатором костной ткани с использованием фиксирующего материала необходимо, чтобы прочность соединения последнего с поверхностью имитатора костной ткани была выше, чем прочность соединения фиксирующего материала с испытуемой поверхностью образца [2–4]. С учетом этого, в качестве материала костной ткани предложено использовать пемзу. Необходимая в процессе проведения испытаний прочность самой пемзы на сдвиг и на растяжение при

отрыве обеспечивается конструкцией созданного имитатора костной ткани (рисунок 1).

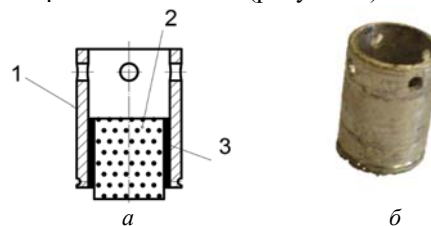


Рисунок 1 – Конструктивное исполнение (а) и фотография (б) имитатора костной ткани

Он состоит из стальной цилиндрической трубки (оправки) 1, внутри которой с гарантированным зазором установлен цилиндр 2 из пемзы диаметром 7 мм с размером пор 0,12 мм. С помощью эпоксидной смолы 3 он приклеивается к внутренней поверхности оправки с таким расчетом, чтобы торец пемзы выступал из трубки на 2–2,5 мм.

Этот припуск необходим для окончательной обработки торцевой поверхности пемзы, в результате которой этот размер уменьшается до 1–1,5 мм.