

Д. т. н. С. Я. Давыдов<sup>1</sup> (✉), д. х. н. Р. А. Апакашев<sup>1</sup>, д. т. н. Н. Г. Валиев<sup>1</sup>,  
А. А. Михалицин<sup>2</sup>, О. В. Михалицина<sup>2</sup>, к. т. н. В. Н. Корюков<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»,  
г. Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup> ОАО «Южноуральский завод «Кристалл», г. Южноуральск, Россия

<sup>3</sup> ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

УДК 549.514.5.002.68:669.056.9

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНОГО МАТЕРИАЛА КВАРЦЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ТЕРМОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ

Разработан состав термозащитного покрытия с высокими теплоизоляционными свойствами и длительной огнестойкостью на основе жидкого стекла, микросфер из боросиликатного стекла и огнеупорного вторичного материала кварцевого производства. Приведены результаты рентгеновского энергодисперсионного микроанализа вторичного материала кварцевого производства. Исследованы теплопроводность и огнезащитная эффективность разработанного термозащитного покрытия по металлу.

**Ключевые слова:** термозащитное покрытие, вторичный материал кварцевого производства, огнезащитная эффективность.

Для предотвращения критического нагревания металлических конструкций под действием источника тепла требуется использование специальных огнеупорных покрытий с теплоизолирующими и огнезащитными свойствами, наносимых на поверхность металлоконструкций. Широкое распространение получили составы термозащитных покрытий на основе микросфер из боросиликатного стекла в композиции с жидким стеклом, способные выдерживать воздействие высоких температур. Основа состава покрытия — стеклянные полые микросферы из натрийборосиликатного стекла представляют собой легкий сыпучий порошок с размерами частиц от 15 до 125 мкм [1]. Микросферы имеют низкую плотность (стеклянные полые микросферы всплывают на поверхность воды), высокую механическую прочность, термостабильность, химическую инертность, повышенную температуру плавления — порядка 1100 °С. Применение микросфер обеспечивает теплоизолирующие свойства, начиная с тонкослойных покрытий. Включение микросфер в состав основы теплоизолирующего покрытия создает высокую текучесть исходной смеси при нанесении, снижает ее усадочную деформацию. Такую смесь легко разбрызгивать, нагнетать насосом, наносить кистью и т. д.

Типичное термозащитное покрытие кроме основы из стеклянных микросфер часто содержит связующие из натриевого и/или калиевого стекла, тугоплавкую составляющую из оксидов магния и титана, каолин, обогащенную порошковую глину, воду и добавку [2]. Однако такому покрытию присущи определенные недостатки: снижение термозащитных свойств в процессе эксплуатации защищаемой поверхности; низкое значение предельной температуры эксплуатации (до 450 °С); низкая экологическая безопасность вследствие повышенного газовыделения летучих токсичных соединений, особенно в условиях чрезвычайных ситуаций техногенного характера, например при пожаре. Эти обстоятельства ограничивают варианты возможного использования покрытия.

Для минимизации и устранения отмеченных недостатков в состав термозащитного покрытия дополнительно вводят тугоплавкую составляющую из диоксида циркония, добавку из измельченного до длины 0,2–0,5 мм кварцевого волокна, связующее армосил при следующем соотношении компонентов, мас. %: обогащенная порошковая глина 10–17, каолин 1–2, натриевое стекло 0,5–10, калиевое стекло 0,5–7,0, армосил 10–28, стеклянные микросферы из натрийборосиликатного стекла 17–28, диоксид титана 0,5–1,0, диоксид циркония 1–8, оксид магния 0,5–1,0, кварцевое волокно 5–9; вода — остальное [3]. Несмотря на большое количество известных составов [2, 3], поиск новых доступных материалов для модифицирования термостойких покрытий и повышения их защитной эффективности является актуальным.



С. Я. Давыдов

E-mail: davidovtrans@mail.ru

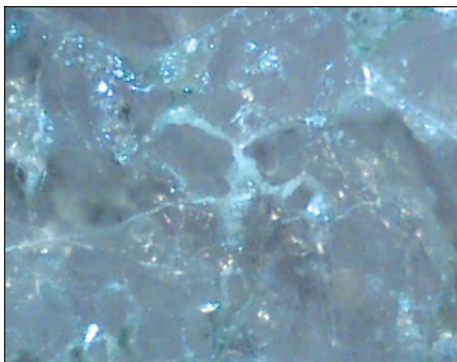
В настоящей работе представлен состав разработанного эффективного огнезащитного покрытия. Улучшенные теплоизоляционные свойства и длительная огнестойкость покрытия достигнуты включением в его состав доступного по стоимости и экологически безопасного огнеупорного материала, являющегося вторичным продуктом автоклавного производства кристаллов кварца.



**Рис. 1.** Побочный продукт (а) автоклавного производства кристаллов кварца и снимок нижней полости автоклава (б)



**Рис. 2.** Сырье для производства кристаллов кварца



**Рис. 3.** Фотография шлифа поверхности побочного продукта автоклавного производства кристаллов кварца.  $\times 60$ . Свет отраженный

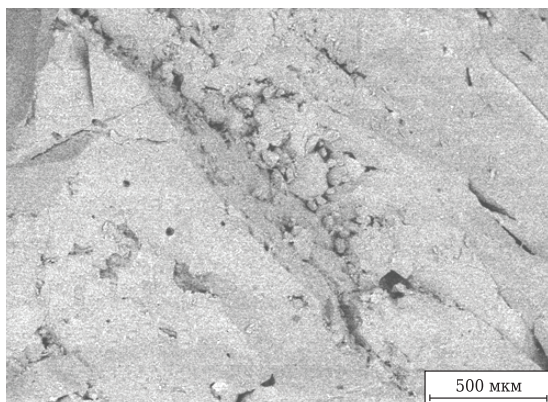
Предлагаемый опытный состав тонкослойного покрытия с тепло- и огнезащитными свойствами содержит основу из вакуумированных микросфер боросиликатного стекла и утилизированного вторичного продукта кварцевого производства, неорганическое связующее из смеси натриевого жидкого стекла, огнеупорной глины и высокодисперсного коллоидного раствора  $\text{SiO}_2$ , а также добавки  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{TiO}_2$  и пластификатор. Использование вакуумированных стеклянных микросфер в качестве основы покрытия обусловлено прежде всего их низкой теплопроводностью и высокой текучестью исходной смеси при нанесении. При достаточной концентрации сферы уплотнены, и дальнейшего уплотнения, ведущего к усадке и растрескиванию покрытия в процессе испарения воды, не происходит, как это может случиться с наполнителями неправильной формы.

Для дополнительного повышения термостойкости защитного покрытия и снижения его себестоимости вакуумированные стеклянные микросферы в настоящей работе применяли совместно с тугоплавким силикатным материалом, являющимся побочным продуктом (рис. 1, а) автоклавного производства синтетических кристаллов кварца Южноуральского завода «Кристалл». Побочный продукт (см. рис. 1, а) автоклавного производства кристаллов кварца представляет собой прочный монолитный материал с полной молочной непрозрачностью, разрушающийся от механического воздействия без заметной пластической деформации.

В качестве сырья для производства синтетических кристаллов кварца используется импортный кварц (рис. 2) из Китая и Бразилии. Тонкошлифованная поверхность скола монолитного побочного материала автоклавного производства имеет стеклообразный вид (рис. 3).

Аттестацию фазового и химического составов побочного продукта автоклавного производства кристаллов кварца проводили с помощью растрового электронного микроскопа фирмы JEOL, оборудованного приставкой рентгеновского энергодисперсионного микроанализа (система Analysis Station JED-2300). Для исключения изменения химического состава аттестуемого материала за счет внесения примесей и/или окисления кислородом воздуха исследованию подвергали поверхность свежих сколов исходных массивных образцов.

В результате проведенных экспериментов установлено, что вторичный продукт автоклавного производства кристаллов кварца имеет однородную структуру (рис. 4) и однородный химический состав с массовым содержанием компонентов: Si 62,31 %, O 36,53 %, Al 1,16 % (рис. 5). Судя по рентгенограмме (см. рис. 5), исследованный материал представляет собой синтетический алюмосиликат

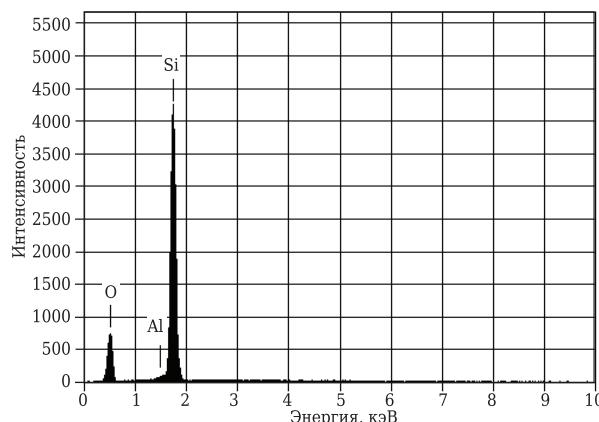


**Рис. 4.** Снимок участка поверхности скола массивного образца побочного продукта автоклавного производства синтетических кристаллов кварца. Изображение получено в отраженных электронах

с высоким содержанием (97,88 %) оксида кремния (II). Монооксид кремния SiO — тугоплавкий оксид с температурой плавления выше 1973 К. Оксид известен как материал для изолирующих, защитных, пассивирующих, оптических слоев в полупроводниковых устройствах, волоконной оптике [4, 5]. Известны также исследования вариантов использования монооксида кремния для синтеза тонкодисперсных керамических материалов, таких как нитрид кремния, карбид кремния, мелкодисперсный керамический порошок [4, 5]. Оксиды кремния и алюминия, содержащиеся в побочном продукте автоклавного производства синтетических кристаллов кварца, имеют температуру плавления значительно выше, чем температура размягчения синтетического боросиликатного стекла, являющегося основой вакуумированных стеклянных микросфер. Поэтому дополнительное введение оксидов в состав защитного покрытия повышает его огнестойкость.

Для проведения огневых испытаний покрытия, нанесенного на стальную пластину, использовали стенд с ванной, изготовленной на базе швеллера шириной 150 мм. Для обеспечения устойчивости пламени вокруг стенда выкладывали стенку из огнеупорного кирпича высотой 500 мм. В результате проведенных испытаний установлено, что огнезащитная эффективность покрытия по металлу при толщине сухого слоя покрытия 2,6 мм и приведенной толщине металла 5,8 мм составляет 90 мин (ГОСТ Р 53295). Полученная величина огнезащитной эффективности разработанного покрытия на 20–25 % превышает аналогичный показатель других термозащитных покрытий на основе микросфер из боросиликатного стекла в композиции с жидким стеклом [2].

Теплопроводность разработанного защитного покрытия определяли методом эталона [3], используя в качестве последнего металлическую медь. Отладку методики проводили, используя материал с известной теплопроводностью — шамот марки ШЛ-0,4. В результате проведенных исследо-



**Рис. 5.** Рентгеновский энергодисперсионный спектр побочного продукта автоклавного производства синтетических кристаллов кварца

ваний установлено, что теплопроводность покрытия в нанесенном состоянии при комнатной температуре невысока и не превышает  $1 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К).

Таким образом, разработано огнезащитное покрытие с высокими теплоизоляционными свойствами и длительной огнестойкостью на основе жидкого стекла, микросфер из боросиликатного стекла и вторичного огнеупорного материала кварцевого производства. Установлены оптимальные параметры состава защитного покрытия, определены его основные эксплуатационные характеристики. Разработанное защитное покрытие является универсальным и рекомендуется для теплоизоляции и огнезащиты металлических, бетонных, кирпичных и других поверхностей.

#### Библиографический список

1. <http://nzs.v.ru/katalog/mikrosfery-steklyannye-polye.html>.
2. Пат. 2443739 Российская Федерация. Состав краски с термо-, огнезащитными свойствами / Беклемышев В. И., Махонин И. И., Боднарчук Б. В., Афанасьев М. М., Абрамян А. А., Солодовников В. А., Мауджеря У. О. Дж., Мухамедиева Л. Н. — № 2010144636/05 ; заявл. 02.11.10 ; опубл. 27.02.12, Бюл. № 6.
3. Заявка 2013137089 Российская Федерация. Теплоизоляционная и огнезащитная композиция и способ ее получения / Пластинин А. И. ; заявитель — ООО НПЦ «Уральский инновационный центр энергосбережения» ; заявл. 02.11.10 ; опубл. 20.02.15, Бюл. № 6.
4. Cuony, P. Silicon filaments in silicon oxide for next-generation photovoltaics / P. Cuony, D. T. L. Alexander, I. Perez-Wurfl [et al.] // Adv. Mater. — 2012. — Vol. 24, № 9. — P. 1182–1186.
5. Kobayashi, T. Novel combination of hydrophilic/hydrophobic surface for large wettability difference and its application to liquid manipulation / T. Kobayashi, K. Shimizu, Y. Kaizuma, S. Konishi // Lab on a Chip. — 2011. — Vol. 11, № 4. — P. 639–644. ■

Получено 17.07.17

© С. Я. Давыдов, Р. А. Апкашев,  
Н. Г. Валиев, А. А. Михалицин,  
О. В. Михалицина, В. Н. Корюков, 2018 г.