

*Бессмертный В. С., проф., д-р техн. наук,  
Пучка О. В., проф., канд. техн. наук,  
Кеменов С. А., доц.,  
Бондаренко Н. И., аспирант  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Табит Салим Аль - Азаб, канд. техн. наук  
Университет «Аден»*

## ПЛАЗМОХИМИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ СТЕНОВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ОТХОДАМИ СТЕКЛОБОЯ И ОТХОДАМИ ОБОГАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ КМА

[vbessmertnyi@mail.ru](mailto:vbessmertnyi@mail.ru)

*В статье рассмотрены особенности технологических процессов плазменной обработки стеновых строительных материалов. Исследовано влияние воздействия плазменного факела на процессы, формирующие защитно-декоративное покрытие на лицевой поверхности изделий из бетона.*

*Ключевые слова:* плазменная обработка, химические свойства, защитно-декоративные покрытия.

В связи с ухудшением экологической обстановки в нашей стране остро стоит задача утилизации и промышленного использования различных отходов промышленности, в том числе и горнодобывающей.

Вступление в силу в 2012 году технического регламента таможенного союза запрещает вторичное использование стеклотары, как на территории России, так и Казахстана и Беларуси. Только на территории России ежегодно выпускается более 15 млрд. шт. бутылок и еще столько же заводится из стран ближнего зарубежья.

Поэтому интенсивное использование отходов промышленности и запрещенной к вторичному использованию стеклотары в промышленности строительных материалов является перспективным направлением повышения качества и конкурентоспособности отечественной продукции.

Промышленность строительных материалов является энергоемкой отраслью промышленности, где энергозатраты в общей стоимости продукции могут достигать 40%. В связи с этим дальнейшее расширение использования энергосберегающих источников энергии, в частности низкотемпературной плазмы, для повышения качества и конкурентоспособности продукции является актуальной задачей [1].

В настоящее время как у нас в стране, так и за рубежом проводятся исследования по разработке инновационных технологий с использованием факела низкотемпературной плазмы. В этих работах убедительно подтверждена эффективность использования плазменных технологий, позволяющих существенно снизить энергозатраты и повысить эксплуатационные характе-

ристики и эстетико-потребительские свойства изделий [2-7].

Аналогичные работы в области получения защитно-декоративных покрытий проводились на базе БГТУ им. В.Г. Шухова [8-10].

В работе изучалась макро- и микроструктура стекол покрытия и подложки, а также их химический состав до и после плазменной обработки. Макро- и микроструктуру покрытия и подложки изучали с помощью оптической микроскопии а фазовый состав элементов расстекловывания - рентгенофазовым анализом.

Химический состав стекол определяли рентгенофлуоресцентным спектрометром серии ARL 9900 WorkStation со встроенной системой дифракции Швейцарской фирмы «Thermo Scientific».

Зерновой состав напыляемых частиц стекла определяли при их распылении в резервуар с водой. Затем гранулы извлекали из воды, высушивали и подвергали ситовому анализу.

Толщину декоративных покрытий определяли микрометром, а глубину выколов в поверхностном слое стеклоизделий - оптическим микроскопом МБС-8. Перед исследованиями поперечные срезы образцов шлифовались. Микроскопические съемки производили микротононасадкой МФН-5.

Водостойкость определяли в соответствии с ГОСТ 10134.1 по методу А.

Термическую стойкость стеклоизделий с декоративными покрытиями оценивали по стандартным методикам в соответствии с ГОСТ 30407, а термостойкость декоративного покрытия - методом нагрева образцов в муфельной печи с последующим остыванием в воде до начала момента разрушения (появления микро-

трещин).

Микротвердость декоративного покрытия определяли на микротвердомере ПМТ-3.

Прочность сцепления покрытия с подложкой определяли методом отрыва. Для этого эпоксидной смолой приклеивали стержень с известной площадью контакта, а затем стержень от покрытия отрывали. Для повышения адгезии эпоксидной смолой к стеклянному покрытию его поверхность протравливали в HF в течение 5 - 10 с, а затем промывали в воде и сушили.

Нанесение покрытия и оплавление поверхности силикатных материалов производили на электродуговом плазмотроне УПУ-8М (рис.1).

Универсальная установка УПУ-8М снабжена плазменными горелками ГН-5Р для нанесения покрытия из порошковых материалов и керамических стержней, порошковым дозатором, пультом управления, источником питания ИПН 160/600, системой газоснабжения и водоохлаждения, пусковой педалью.

Для оплавления поверхностей керамических материалов использовали горелку ГН-5Р с измененной конструкцией сопла (диаметр выходного отверстия составлял 20 мм).

Эта горелка состоит из двух корпусных узлов, изолированных друг от друга. К узлу, соединенному с плюсом источника питания, крепится сменное сопло горелки. В верхнем корпусе, соединенном с минусом источника, крепится вольфрамовый электрод.

Для получения покрытия из силикатных материалов использовали порошковый способ. В качестве плазмообразующего газа можно использовать азот, аргон, гелий и их смеси с водородом.

Гелий в чистом виде применяют редко из-за его дефицитности, высокой стоимости и большой электропроводности. Последнее свойство вместе с большим теплосодержанием приводит к быстрому нагреву и разрушению электродов. Плазма, образованная азотом, обладает высоким теплосодержанием, однако дает значительные тепловые нагрузки на электроды, что также приводит к быстрому их разрушению. Применение водорода возможно лишь при напылении оксидных материалов, не восстанавливающихся в его атмосфере при температуре плазменного факела. Кроме того, водород обладает большой теплопроводностью и взрывоопасен.

По воздействию на напыляемый материал и стекловидную подложку аргон является наиболее благоприятным агентом. Учитывая также большую стойкость электродов в аргоновой плазме, требования техники безопасности, сравнительно небольшую его стоимость и устойчи-

вость напыляемых веществ в его факеле, нами для проведения эксперимента использовался аргон марки А (ГОСТ 19157-62).

Перед плазменным напылением порошки стекол и отходов обогащения железистых кварцитов мололи в шаровых мельницах и рассеивали на ситах.

Для плазменного напыления пригодна фракция 20-60 мкм.

Схема процесса плазменного напыления стеклопорошков и отходов обогащения железистых кварцитов КМА представлена на рис. 1. В качестве подложки использовали стеновую керамику, блочное пеностекло, изделия из легкого бетона.

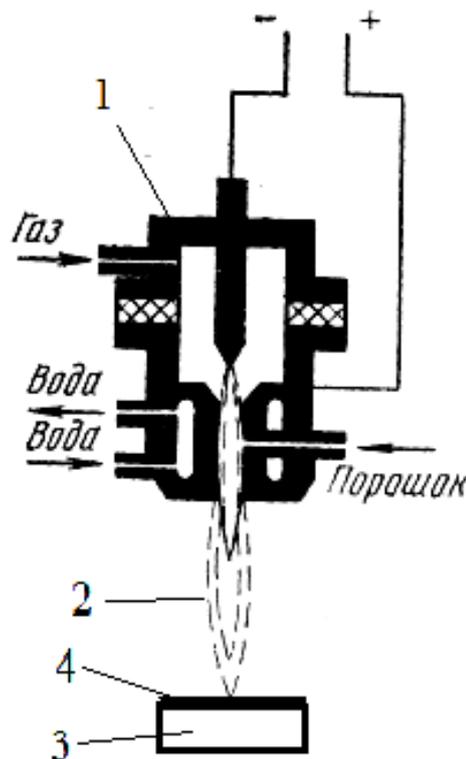


Рис. 1 Схема процесса плазменного нанесения покрытий

1- плазменная горелка, 2- поток расплавленных частиц стеклопорошка, 3- подложка, 4- защитно-декоративное покрытие

Химический состав стекол и отходов обогащения железистых кварцитов КМА представлен в табл.1

Технологическая схема глазурования стеновой керамики, блочного пеностекла и легкого бетона представлена на рис. 2.

Технологические параметры и свойства защитно-декоративных покрытий представлены в табл. 2.

Разработанная технология является энерго-сберегающей, высокопроизводительной и рекомендуется к внедрению на предприятиях промышленности строительных материалов.

Таблица 1

**Химический состав стекол, используемых для глазурования керамических изделий  
и отходов КМА**

	Массовое содержание **, мас.%						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Сортовое зеленое, окрашенное хромом	72,7	-	6,8	15,0	2,0	0,5	0,05
Сортовое синее, окрашенное кобальтом	68,6	6,3	9,3	14,8	1,0	-	0,05
Оконное	71,8-72,4	1,8-2,2	6,4-6,8	14,5-14,9	14,5-4,9	0,3-0,4	0,2
Витринное неполированное	71,6	0,5	7,9	15,2	15,2	0,4	0,5
Сортовое бесцветное	71,7	1,0	6,0	13,0	4,0	0,5	0,10
Отходы обогащения железистых кварцитов	65,02	2,21	2,7	0,9	0,6	0,48	11,34

\* Содержание Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в сортовом зеленом стекле составило 1,0%, CoO в сортовом синем стекле - 0,002%.

\*\* Кроме того, в сортовом зеленом стекле содержалось 2,0% MgO, в отходах 4,97%MgO



Рис. 2. Технологическая схема глазурования изделий из керамики, блочного пеностекла и легкого бетона

Таблица 2

**Технологические параметры и свойства защитно-декоративных покрытий**

Наименование показателей	Напыление стеклопорошка	Напыление отходов КМА	Напыление с одновременным оплавлением
Параметры напыления			
Скорость оплавления, см/сек	2	2	10
Мощность, кВт	9	9	12
Расход плазмообразующего газа аргона, л/мин	25	25	30
Толщина покрытия, мкм	200	200	100
Прочность сцепления покрытия с основой, МПа:			
Легкий бетон	0,15	0,18	1,2
Стеновая керамика	1,2	1,4	2,4
Блочное пеностекло	0,6	0,7	0,9

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Высокотемпературная отделка бетона стекловидными покрытиями / Баженов Ю. М. [и др.]. - М.: Изд. АСВ, 2005. 28с.
2. Нарцев В.М., Прохоренков Д.С., Осипенко Н.В., Зайцев С.В., Евтушенко Е.И. Исследование свойств ТПОХ-покрытий формируемых с использованием вакуум-плазменных технологий // Фундаментальные исследования. 2012. №11. С.1195-1200.
3. Saucedo E.M., Perera Y.M., Robles D., 2012. Plasma assisted novel production process of glass-ceramic spheres in the quaternary system  $CaO-SiO_2-AL_2O_3-MGO$  *Ceramics International*. 4: 3161-3165.
4. Bolelli G., Lusvarghi L., Manfredini T., Siligardi C., 2007. Devitrification behaviour of plasma-sprayed glass coatings. *Journal of the European Ceramic Society*, 2(3): 623- 628
5. Yao Y., Mofazzal Hossain M., Watanabe T., Tsujimura T., Funabiki F., Yano T., 2008. Effects of feed rate and particle size on the in-flight melting behavior of granulated powders in induction thermal plasmas. *Thin Solid Films*. 19: 6622-6627.
6. Бессмертный В.С. Бондаренко Н.И., Ляшко А.А., Панасенко В.А., Антропова И.А. Энергосберегающая технология плазменного глазурования изделий из бетона // Успехи современного естествознания. 2011. №6. С.45.
7. Пучка О.В., Минько Н.И., Степанова М.Н., Наумова Я.Г. Разработка композиционно-теплоизоляционного стеклокомпозита с защитно-декоративным покрытием по лицевой поверхности // *Керамика и огнеупоры*. 2010. № С.181-185.
8. Бессмертный В.С., Бондаренко Н.И., Стадничук В.И., Вдовина С.Ю. Получение защитно-декоративных покрытий на изделиях из бетона методом плазменного напыления // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2011. №2. С. 121-123.
9. Bolelli G., Cannillo V., Lusvarghi L., Manfredini T., Siligardi C., Bartuli C., Loreto A., Valente T., 2005. Plasma-sprayed glass-ceramic coatings on ceramic tiles: microstructure, chemical resistance and mechanical properties. *Journal of the European Ceramic Society*. 11: 1835-1853.
10. Пучка О.В., Минько Н. И., Степанова М.Н. Разработка неорганических декоративно-защитных покрытий для теплоизоляционного пеностекла // *Техника и технология силикатов*. 2009. №2. С.9-10.