

*Бессмертный В. С., д-р техн. наук, проф.,
Ильина И. А., аспирант,
Соколова О. Н., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный университет им. В.Г. Шухова*

ПОЛУЧЕНИЕ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СТЕНОВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ

irishka_9_9_9@mail.ru

В статье рассмотрены методологические основы получения защитно-декоративных покрытий на изделиях из стеновых строительных материалов автоклавного твердения методом плазменного оплавления. Показано, что к основным факторам, влияющим на формирование эстетико-потребительских свойств защитно-декоративных покрытий, относятся термостойкость исходного материал, температура плазменного факела, мощность работы плазмотрона, скорость прохождения плазменного факела по лицевой поверхности изделия и толщина защитно-декоративного покрытия.

Ключевые слова: стеновые строительные материалы автоклавного твердения, силикатный кирпич, низкотемпературная плазма, защитно-декоративные покрытия.

Реализация национального проекта «Доступное и комфортное жильё – гражданам России» привела к росту потребности в качественных и доступных строительных материалах, в том числе и в силикатном кирпиче. С целью повышения эстетико-потребительских свойств отечественной промышленностью освоено производство окрашенного силикатного кирпича с различной цветовой гаммой. Однако традиционная технология окрашивания силикатного кирпича является достаточно трудоёмкой и энергоёмкой, а используемые красители существенно повышают себестоимость конечного продукта.

Промышленность строительных материалов является одной из наиболее энергоёмких отраслей индустрии. Энергозатраты в общей стоимости стеновых керамических материалов достигают 35 – 40 %. В связи с этим дальнейшее расширение использования нетрадиционных источников энергии в промышленности строительных материалов для повышения технического уровня качества продукции, снижение её себестоимости и повышения конкурентоспособности является также важной современной задачей [1].

Использование плазменного факела в качестве источника высокой температуры позволяет разрабатывать эффективные энергосберегающие технологии получения защитно-декоративных покрытий. Так, при одинаковой мощности удельный тепловой поток плазменного факела в 5 – 6 раз выше удельного теплового потока газового пламени [2].

Защитно-декоративные покрытия, полученные непосредственным оплавлением лицевой поверхности силикатного кирпича, а также оплавлением предварительно нанесённого слоя шликера или пасты на основе

глазурей, представляет собой остеклованный тонкий слой на поверхности отделяемых элементов изделия.

Предварительная пропитка лицевой поверхности водными растворами солей металлов, с концентрацией раствора не более 3 %, позволяет получить цветное покрытие. Так, например, оксид кобальта даёт синий цвет, оксид хрома – зелёный, оксид меди – вишнёво-красный, оксид никеля – светло-коричневый, оксид марганца – чёрный.

Использование мелкозернистых материалов, различных по цвету, в качестве присыпки по расплаву в момент его образования на лицевой поверхности изделия при плазменном оплавлении, позволяет придать поверхности бугристую фактуру.

Предварительная обработка лицевой поверхности силикатного кирпича соответствующим инструментом позволяет создавать на поверхности разнообразную фактуру. Это позволяет при последующем плазменном оплавлении получать весьма разнообразную эффективную фактуру – от гладкой до волнообразной и бугристой.

Плазменное оплавление лицевой поверхности силикатного кирпича – процесс, сопровождающийся быстрым нагревом поверхности при соприкосновении с мощным источником тепла. Происходит практически мгновенное нагревание поверхности до температуры плавления лицевой поверхности изделия (до 1700 °С и выше). Резкое изменение температуры вызывает значительный термоудар, вызывающий большие температурные напряжения.

Термостойкость силикатного кирпича можно оценить по разности температур ΔT_{\max} между телом и средой по выражению:

$$\Delta T_{\max} = A \cdot \sigma_p \cdot \frac{(1-\mu)}{\alpha_T \cdot E} + \frac{B}{C} \cdot \sigma_p \cdot \frac{(1-\mu)}{\alpha_T \cdot E} \cdot \lambda \quad (1)$$

где A и B – величины, зависящие от формы изделия; C – величина, равная половине толщины изделия; σ_p – предел прочности изделия при растяжении; α_T – термический коэффициент линейного расширения; E – модуль упругости; μ – коэффициент Пуассона.

В момент нагрева лицевой поверхности силикатного кирпича возникает нестандартный тепловой режим, который приводит к термоудару. Такой термоудар является характерным для процесса плазменного оплавления. Основными параметрами термоудара являются

$$\lambda \cdot \sigma_p / \alpha \cdot E \quad (2)$$

$$\text{и} \quad \sigma_p / \alpha \cdot E \quad (3)$$

Как видно из выражений (2) и (3) повышение термостойкости силикатного кирпича возможно путём снижения термического коэффициента линейного расширения и модуля упругости, повышения прочности на разрыв, а также использование в оплавленном слое двух и более фаз для образования микротрещиноватой структуры.

Плазменное оплавление силикатного кирпича требует более значительных энергетических затрат по сравнению с керамическими стеновыми материалами, так как в составе силикатного кирпича содержится более высокое содержание оксидов кремния и алюминия. В связи с этим температуры жидкого состояния и кристаллизации у расплава на основе силикатного кирпича существенно выше, чем у керамического [2] (табл. 1).

Таблица № 1

Средний химический состав стеновых строительных материалов и температуры их кристаллизации T_S и жидкого состояния $T_{ж.с.}$

№ п/п	Наименование	Содержание, масс. %								T_S	$T_{ж.с.}$
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	прочие		
1	Кирпич силикатный	76,2	2,7	1,2	0,7	12,0	–	–	9,8	1600	1780
2	Кирпич керамический	78,2	9,2	5,1	1,6	3,4	1,4	1,0	0,1	1200	1480

В результате плазменной обработки соприкосновение источника тепла с лицевой поверхностью силикатного кирпича вызывает интенсивный процесс нагрева до образования расплава. Сам плазменный факел может рассматриваться как мгновенный точечный источник теплоты. Рассмотрим модель, примерно воспроизводящую воздействие мгновенного точечного источника на лицевую поверхность силикатного кирпича. Исходя из начально принятых условий, заключающихся в том, что в очень малый объём и за весьма малый промежуток времени введено некоторое количество теплоты Q . Формально такое введение теплоты можно рассматривать как граничное условие при $t=Q$, когда вместо распределения температур задаётся распределение теплоты в теле. Действительно, если принять, что во всех точках тела, кроме одной, теплосодержание равно нулю, а в точке с координатами x_0, y_0, z_0 при $t=0$ содержится количество теплоты Q , то будем иметь случай мгновенного точечного источника. В последующие моменты времени теплота будет распространяться по телу, подчиняясь уравнению теплопроводности.

Сам процесс распределения температуры в поверхностном слое силикатного кирпича при распространении теплоты от мгновенного

источника теплоты, приложенного в точке Q , описывается выражением:

$$T = \frac{2 \cdot Q}{c \cdot \rho \cdot (4 \cdot \pi \cdot a \cdot t)} \cdot e^{-\frac{R^2}{4 \cdot a \cdot t}} \quad (4)$$

где T – температура в рассматриваемой точке с координатами x_0, y_0 и z_0 ; Q – количество теплоты, Дж; t – время, отсчитываемое с момента введения теплоты, с; c – теплоёмкость нагреваемого материала, Дж/г·град; ρ – плотность материала, г/см³; a – коэффициент температуропроводности, см/с; $R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ – расстояние до рассматриваемой точки от начала координат, где была введена теплота Q , см.

Анализ данного выражения (4) позволяет заключить, что чем больше Q , тем выше температура точек в любой момент времени. Таким образом, температура на оплавленной лицевой поверхности силикатного кирпича прямо пропорциональна количеству введённой теплоты Q .

Теоретический анализ позволил выработать методические подходы к разработке энергосберегающей технологии получения защитно-декоративных покрытий. При скорости прохождения плазменного факела по лицевой поверхности силикатного кирпича 4 – 5 мм/с для

нагрева поверхности более 1700 °С необходима температура плазменного факела более 5000 К.

Для универсальной плазменной установки УПУ-8 м, при использовании в качестве плазмообразующего газа аргон, необходима мощность не менее 9 кВт и расход аргона – 0,5 м³/час.

При скорости прохождения плазменной горелки по поверхности лицевого кирпича 2 – 2,5 см/с, для нагрева поверхности более 1700 °С, необходима температура плазменного факела более 8500 К.

Такие температуры обеспечили мощность работы плазмотрона 15 кВт и расход плазмообразующего газа – 1,2 м³/ч.

Нами для плазменного оплавления был выбран силикатный кирпич марки 125 стандартных размеров, выпускаемый Белгородским комбинатом строительных материалов. Лицевую поверхность силикатного кирпича оплавливали плазменным факелом плазмотрона «Мультиплазм – 500» и изучали эстетико-потребительские свойства покрытия, макро- и микроструктуру, а также фазовый состав.

Оплавленный слой имел цвет морской волны и составлял в зависимости от скорости оплавления 200 – 1000 мкм. Методом РФА определяли фазовый состав покрытия. Для этого послойно сошлифовали на алмазном круге оплавленные слои. Верхний слой на глубину 100 – 300 мкм был представлен в основном стеклофазой. В более глубоких слоях 300 – 600 мкм встречаются отдельные нерастворившиеся зёрна кварца. В более глубоких слоях был обнаружен воллостанит. Оптической микроскопией в стеклофазе были обнаружены газовые включения 20 – 40 мкм.

Основным эксплуатационным показателем защитно-декоративного покрытия является прочность сцепления покрытия с основой. С этой целью к оплавленной лицевой поверхности образца размером 3,0×3,0×3,0 см, выпиленного из силикатного кирпича, приклеивали эпоксидной смолой металлический стержень с известной площадью контакта. Затем на разрывной машине R-0,5 закрепляли образец со стержнем и производили отрыв металлического стержня. После отрыва методом оптической микроскопии на косых анклифах определяли толщину покрытия.

Как известно [3] с увеличением толщины покрытия в нём накапливаются внутренние напряжения и снижается прочность сцепления покрытия с основой. Нами установлена зависимость влияния толщины оплавленного слоя на прочность сцепления с основой.

Так, с увеличением толщины покрытия с 200 до 1000 мкм прочность сцепления покрытия с основой снижается с 1,4 МПа до 0,8 МПа.

Благодаря своей высокой эффективности технология получения защитно-декоративных покрытий методом плазменной обработки может быть рекомендована к широкому промышленному внедрению.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семененко С.В. Стеновая керамика на основе техногенных отходов промышленности (новые составы и технология плазменной обработки): Монография/ С.В. Семененко, В.С. Бессмертный, О.Н. Соколова. – Воронеж: Научная книга, 2006. – 128 с.

2. Громов Ю.Е. Индустриальная отделка фасадов зданий/ Ю.Е. Громов, В.П. Лежепеков, Г.В. Северинова. – Москва: Стройиздат, 1980. – 70 с.

3. Бессмертный В.С. Инновационная технология получения стеновых строительных материалов: Монография/ В.С. Бессмертный, О.Н. Соколова, Р.А. Платова, Р.А. Гильмутдинова – Белгород: Издательство БУКЭП, 2011. – 128 с.