DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-1-4-10

*Бессмертный В.С., доктор технических наук, профессор,
Кочурин Д.В., магистрант,
Белгородский университет кооперации экономики и права, Россия,
Бондаренко Д.О. *, старший преподаватель,
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия,
Брагина Л.Л., доктор технических наук, профессор,
Харьковский политехнический институт, Украина,
Варфоломеева С.В., магистрант,
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия*
*Ответственный автор E-mail: di_bondarenko@mail.ru

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ БЛОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

Аннотация: разработаны научно-технологические принципы альтернативной плазменной технологии изготовления двухслойного термостойкого стекловидного декоративного покрытия. Предложены составы промежуточного термостойкого слоя и технология его нанесения на поверхность ограждающего блока пеностекла. Определены оптимальные параметры плазменного оплавления термостойкого и декоративного слоёв покрытия. Установлено влияние скоростных характеристик термооплавления плазменной струёй на формирование фактуры и показателей двухслойного термостойкого покрытия. Представлены особенности образования аморфной стекловидной и стеклокристаллической фаз двухслойного термостойкого покрытия. С применением рентгенофазового анализа исследованы особенности фазового состава различных слоёв термостойкого покрытия, а также закономерности формирования его структурных элементов. На основе анализа значительного экспериментального материала был сделан вывод о формировании верхнего аморфного слоя с ликвирующими областями и незначительными газовыми включениями. Проведенные исследования позволили выявить и обосновать особенности строения слоёв, лежащих под аморфным ликвирующим. Установлено, что двухслойное защитно-декоративное покрытие имело высокие физико-химические и физико-механические показатели: прочность сцепления с матрицей блока пеностекла – $1,25 \pm 0,05$ МПа, микротвёрдость – 785 HV, термостойкость – 122°C, кислотостойкость – 98,5%, щелочестойкость – 95,4%.

Ключевые слова: пеностекло, декоративные покрытия, аморфный слой, плазменная струя, термостойкость, прочность сцепления

Введение

Теплоизоляционные материалы в виде блоков и гранул пеностекла по своим теплоизоляционным, прочностным, физико-механическим, звукоизоляционным, акустическим, экологическим, стоимостным и другим свойствам являются в настоящее время наиболее эффективными и предпочтительными при создании ограждающих конструкций различных сооружений [1-4].

При использовании ограждающих блоков пеностекла в промышленном и гражданском строительстве необходимой технологической операцией является отделка лицевой поверхности стен облицовочными материалами, что существенно удорожает стоимость 1 м² жилья [5, 6].

В программе президента «Доступное жильё – гражданам России» особое внимание уделено широкому применению в строительстве как эффективных теплоизоляционных материалов, так и недорогих отделочных и облицовочных материалов [7, 8]. В связи с этим проблема создания альтернативной инновационной плазменной технологии формирования двухслойного термостойкого покрытия на ограждающих блоках пеностекла является актуальной.

В этом направлении выполнен ряд исследований, в которых покрытия различного функционального назначения получены как по технологии термической обработки в теплотехнических агрегатах традиционной конструкции, так и с применением высокотемпературных локальных источников – электродуговой плазмы [9, 10].

Одностадийная технология получения блоков пеностекла с лицевым декоративным покрытием является неэффективной, энергоёмкой и включает: помол стеклобоя и его смешивание с пенообразователем, засыпку и уплотнение шихты, основного и декоративного слоёв в формах, изготовленных из листовой стали и последующую термообработку в щелевых или туннельных печах [11].

Двухстадийная технология получения двухслойного термостойкого покрытия предполагает нанесение различных легкоплавких компонентов на ограждающие блоки пеностекла и технологический нагрев до температуры, не превышающей температуру вспенивания пеностекла [12].

Одной из наиболее эффективных высокопроизводительных, энергосберегающих и экологически чистых технологий является плазмохимическое воздействие электродуговой плазмы на поверхность композиционных многослойных изделий [13-15].

В этом направлении проведен также ряд исследований [16-17]. Однако следует отметить, что по своим потребительским свойствам покрытие не в полной мере удовлетворяет современным требованиям.

Методы и материалы

Для нанесения двухслойного термостойкого покрытия были использованы стандартные блоки пеностекла (ОАО «Гомельстекло», Республика Беларусь), характеристики которых представлены в табл. 1. Для формирования двухслойного термостойкого покрытия был использован тонкомолотый стеклопорошок на основе цветной стеклотары, а также измельченный и гранулированный высокоглинозёмистый огнеупор. Тонкомолотый порошок получали в шаровой мельнице. После измельчения методом рассева были получены необходимые фракции (0,25-0,63 мм). Паста для промежуточного термостойкого слоя была приготовлена путем усреднения фракционированного измельченного высокоглинозёмистого огнеупора с жидким стеклом, которые брали в весовом отношении 8:1. Образцы подвергались термической обработке в сушильной установке. Затем наносили смесь из цветного стеклопорошка, высокоглинозёмистого огнеупора и жидкого стекла, которая подсушивалась потоком плазмообразующего газа.

Таблица 1

Значения показателей теплопроводности различных материалов

Table 1

Values of thermal conductivity of different materials

№ п/п	Теплоизоляционные материалы	Значения показателей теплопроводности, Вт/м·К
1	Плиты на основе минеральной ваты	0,063-0,087
2	Плиты на основе пенополистирола	0,037-0,051
3	Блоки на основе газобетона	0,081-0,211
4	Блоки на основе пеностекла (ОАО «Гомельстекло»)	0,038-0,049

Термическую обработку электродуговой плазмы двухслойного термостойкого покрытия проводили на специально-смонтированной опытно-промышленной установке (рис. 1). Блок пеностекла размером 250×250 мм с двухслойным термостойким покрытием устанавливали на стол, изготовленный из огнеупорного материала. Горелка, индуцирующая плазменную струю, закреплялась на раме, скорость которой регулировалась электромеханическим приводом и позволяла оплавливать двухслойный термостойкий слой с различной скоростью.

Рис. 1. Установка для плазмохимического модифицирования блоков пеностекла с двухслойным термостойким покрытием:

- 1 – пеностекло с двухслойным термостойким покрытием; 2 – движущаяся рама с горелочным устройством;
3 – факел электродуговой плазмы; 4 – огнеупорный столик для установки изделия;
5 – горелочные устройства; 6 – двухслойное термостойкое защитно-декоративное покрытие

Fig. 1. Plasma chemical modification unit of foam glass blocks with two-layer heat-resistant coating:

- 1 – foamed glass with two-layer heat-resistant coating; 2 – a moving frame with a burner device; 3 – plasma flame;
4 – refractory table for product installation; 5 – burner devices;
6 – two-layer heat-resistant protective-decorative coating

Микротвёрдость двухслойного термостойкого покрытия исследовалась с использованием метода Викерса. По аттестованным методикам в соответствии с требованиями нормативных документов определены химические свойства двухслойного термостойкого покрытия – кислотостойкость, водостойкость и щелочестойкость. Химический состав стёкол определяли с использованием рентгенофлуоресцентного метода.

Для оплавления был использован плазматрон «Горыныч», параметры которого были следующие: ток дуги 9 А, напряжение дуги 160 В, среднemasовая температура плазмы – 6000°C, скорость обработки двухслойного термостойкого покрытия 2-15м/с.

Результаты и обсуждения

Термоудар, вызванный влиянием факела электродуговой плазмы способствует образованию в двухслойном термостойком покрытии высоких напряжений, вызывающих разупрочнение слоя и снижения его прочностных характеристик.

Для снижения отрицательного воздействия электрической дуги плазмы разработано двухслойное термостойкое декоративное покрытие на основе измельченного фракционированного огнеупора на основе стеклопорошков из цветной стеклотары и жидким стеклом. Оксидные составы стёкол представлены в табл. 2.

Таблица 2

Оксидный состав стеклотары, исследованный рентгенофлуоресцентным методом

Table 2

Oxide composition of glassware examined by X-ray luminescent method

Наименование	Содержание компонентов, мас. %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Co ₃ O ₄	TiO ₂	SO ₃
Тарное синее стекло	67,5	5,2	4,7	2,2	0,9	17,2	2,0	0,062	0,031	0,115
Тарное коричневое стекло	71,7	1,9	8,0	4,0	0,3	13,2	0,7	–	–	0,2
Тарное зелёное стекло	70,5	3,3	10,0	2,0	0,2	13,0	0,3	–	0,4	0,3

Прочностные характеристики разработанных составов защитно-декоративного покрытия на основе синего тарного стекла представлены в табл. 3.

Таблица 3

Разработанные составы термостойкого покрытия при скорости обработки 10 мм/с

Table 3

Heat-resistant coating compositions developed at a processing speed of 10 mm/s

Соста- вы	Составы, мас. %				Жидкое стекло, мас. %	Прочность сцепле- ния покрытия с основой, МПа
	Стеклобой фракции, мм			Бой глинозёмис- того огнеупора		
	1,25-2,5	0,63-1,25	0,63-0,315			
1	10	35	30	20	5	1,23
2	15	30	30	20	5	1,25
3	20	25	30	20	5	1,30
4	25*	20*	30*	20*	5	1,35
5	30	15	30	20	5	1,28
6	35	10	20	20	5	1,10
7	10	35	20	30	5	1,09
8	15	30	20	30	5	1,27
9	20	25	20	30	5	1,29
10	25**	20**	20	30	5	1,31
11	30	15	20	30	5	1,23
12	35	10	20	30	5	1,19

*, ** – оптимальные параметры

При скорости прохождения плазменной горелки 15 мм/с сплошного покрытия не образуется. Оплавление со скоростью 2-5 мм/с вызывает значительный термоудар и снижает прочность сцепления. Таким образом, проведенные исследования позволили определить оптимальные скоростные характеристики оплавления двухслойного термостойкого декоративного покрытия на блоках пеностекла – 10 мм/с.

Разработанная технология включала следующие операции (рис. 2).

Рис. 2. Технология получения двухслойного термостойкого декоративного покрытия на блоках пеностекла

Fig. 2. Technology for production of two-layer heat-resistant decorative coating on foam glass blocks

Верхний слой покрытия характеризовался аморфной ликвидирующей фазой с газовыми включениями 60-120 мкм (рис. 3).

Рис. 3. Рентгеновская порошковая дифрактограмма термостойкого декоративного покрытия

Fig. 3. X-ray powder diffractogram of heat-resistant decorative coating

Также определены основные показатели качества двухслойного термостойкого декоративного покрытия: микротвёрдость по шкале Викерса 760 HV, показатели кислотостойкости – 98,4%; щелочестойкости – 95,1%, термостойкости – 122°C. Двухслойное термостойкое декоративное покрытие имело второй гидролитический класс.

Выводы

Разработаны научно-технологические основы альтернативной плазменной технологии получения двухслойного термостойкого декоративного покрытия на блоках пеностекла. Предложены составы двухслойного композиционного термостойкого декоративного покрытия и определены оптимальные параметры плазменной обработки. Установлено, что двухслойное термостойкое покрытие представлено аморфной ликвидирующей фазой с газовыми включениями и термостойким слоем, включающим помимо аморфной фазы и кристаллическую фазу. По своим эксплуатационным и декоративным показателям двухслойное термостойкое декоративное покрытие превосходило полученные ранее аналогичные покрытия.

Благодарность

Работа выполнена при поддержке гранта Президента для научных школ НШ-2724.2018.8

Литература

1. Yatsenko E.A., Gol'tsman B.M., Kosarev A.S., Karandashova N.S. and ets. Synthesis of foamed glass based on slag and a glycerol pore-forming mixture // *Glass Physics and Chemistry*. 2018. Vol. 44. Issue 2. P. 152 – 155.
2. Yatsenko E.A., Goltsman B.M., Smoliy V.A., Kosarev A.S. and ets. Investigation of the influence of foaming agents' type and ratio on the foaming and reactionary abilities of foamed slag glass // *Biosciences Biotechnology Research Asia*. 2015. Vol. 12. P. 625 – 632.
3. Yatsenko E.A., Gol'tsman B.M., Yatsenko L.A., Karandashova N.S. and ets. Application of Computer Technologies for Modeling the Process of Formation of the Porous Structure of Foamed Glass // *Glass and Ceramics*. 2017. Vol. 74. Issue 7-8. P. 267 – 269.
4. Yatsenko E.A., Goltsman B.M., Yatsenko L.A. Investigation of the raw materials' composition and ratio influence on the structure and properties of the foamed slag glass // *Materials Science Forum*. 2016. Vol. 843. P. 183 – 188.
5. Bessmertnyi V.S., Krokhin V.P., Panasenko V.A., Nikiforov V.M. and ets. Glazed wall ceramics using kma waste // *Glass and ceramics*. 1998. Vol. 55. Issue 7-8. P. 222 – 223.
6. Akulova M.V., Fedosov S.V. Atmospheric and corrosion resistance ingrease of concrete by plasma spaying of zink // *Problemy naukowo-badawczebudownietwa: XLIII Konferencja naukowa*. Poznan: Krynia, 1997. Vol. VI. P. 5 – 7.
7. Федосов С.В., Акулова М.В., Щепочника Ю.А. и др. Плазменное оплавление строительных компози- тов. М.: Изд-во АСВ; Иваново: ИГАСУ, 2009. 228 с.
8. Zdorenko N.M., Bondarenko N.I., Borisov I.N., Izofatova D.I., Dorokhova E.S. Increase of competitiveness of wall construction materials with use of plasma technologies // *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2014. Issue 2. 2 p.
9. Волошко Н.И., Ковальченко Н.А., Здоренко Н.М., Купавцев Э.И. Повышение коррозионной стойкости бетонных изделий методом плазменной обработки // *Международный журнал экспериментального образо- вания*. 2017. № 1. С. 114.
10. Волокитин Г.Г., Скрипникова Н.К., Волокитин О.Г. Разработка плазменных технологий для строй- индустрии // *Актуальные проблемы современности*. 2017. №1 (15). С. 150 – 154.
11. Bessmertny V.S., Min'ko N.I., Bondarenko N.I., Simachev A.V. and ets. Evaluation of the competitiveness of wall building materials with glassy protective-decorative coatings obtained by plasma fusing // *Glass and Ce- ramics*. 2015. Vol. 72. Issue 1-2. P. 41 – 46.
12. Буянтуев С.Л., Былкова Н.В., Заяханова М.Е. Защитно-декоративные покрытия на строительных из- делиях с использованием сырьевых материалов Бурятии // *Строительные материалы*. 2002. №8. С. 22 – 23.
13. Bondarenko D.O., Bondarenko N.I., Bessmertnyi V.S., Burlakov N.M. Plasma-chemical modification of concrete processed by colorific metal salts // *Advances in Engineering Research*. 2017. Vol. 133. P. 128 – 134.
14. Здоренко Н.М., Изотова И.А., Строкова В.В., Бондаренко Д.О. и др. Плазмохимическое модифици- рование стеклокристаллического композиционного материала // *Международный журнал эксперименталь- ного образования*. 2017. №8. С. 50.
15. Федосов С.В., Акулова М.В., Кошелев Е.В. Закрепление плазмооплавленного стекловидного декора- тивного слоя на бетоне с помощью пропиток // *Научный Вестник Воронежского государственного архитек- турно-строительного университета*. 2008. №3. С. 44 – 49.
16. Ковальченко Н.А., Здоренко Н.М., Бурлаков Н.М., Карайченцев Р.С. Плазменное напыление цветных металлов на изделиях стеновой керамики // *Международный журнал экспериментального образования*. 2016. №11-1. С. 81.
17. Здоренко Н.М., Ильина И.А., Бондаренко Н.И., Борисов И.Н. и др. Формирование качества и конку- рентоспособности стеновых строительных материалов автоклавного твердения // *Современные наукоемкие технологии*. 2014. №10. С. 120.

References

1. Yatsenko E.A., Gol'tsman B.M., Kosarev A.S., Karandashova N.S. and ets. Synthesis of foamed glass based on slag and a glycerol pore-forming mixture. *Glass Physics and Chemistry*. 2018. 44 (2). P. 152 – 155.
2. Yatsenko E.A., Goltsman B.M., Smoliy V.A., Kosarev A.S. and ets. Investigation of the influence of foaming agents' type and ratio on the foaming and reactionary abilities of foamed slag glass. *Biosciences Biotechnology Research Asia*. 2015. 12. P. 625 – 632.
3. Yatsenko E.A., Gol'tsman B.M., Yatsenko L.A., Karandashova N.S. and ets. Application of Computer Tech- nologies for Modeling the Process of Formation of the Porous Structure of Foamed Glass. *Glass and Ceramics*. 2017. 74 (7-8). P. 267 – 269.

4. Yatsenko E.A., Goltsman B.M., Yatsenko L.A. Investigation of the raw materials' composition and ratio influence on the structure and properties of the foamed slag glass. *Materials Science Forum*. 2016. 843. P. 183 – 188.
5. Bessmertnyi V.S., Krokhin V.P., Panasenko V.A., Nikiforov V.M. and ets. Glazed wall ceramics using kmawaste. *Glass and ceramics*. 1998. 55 (7-8). P. 222 – 223.
6. Akulova M.V., Fedosov S.V. Atmospheric and corrosion resistance ingrease of concrete by plasma spaying of zink. *Problemy naukowo-badawczebudownietwa: XLIII Konferencja naukowa*. Poznan: Krynia, 1997. VI. P. 5 – 7.
7. Fedosov S.V., Akulova M.V., SHCHepochnika YU.A. i dr. *Plazmennoe oplavlenie stroitel'nyh kompozitov*. M.: Izd-vo ASV; Ivanovo: IGASU, 2009. 228 p. (rus.)
8. Zdorenko N.M., Bondarenko N.I., Borisov I.N., Izofatova D.I., Dorokhova E.S. Increase of competitiveness of wall construction materials with use of plasma technologies. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2014. 2.
9. Voloshko N.I., Koval'chenko N.A., Zdorenko N.M., Kupavcev E.H.I. Povyshenie korrozionnoj stojkosti betonnyh izdelij metodom plazmennoj obrabotki. *Mezhdunarodnyj zhurnal ehksperimen-tal'nogo obrazovaniya*. 2017. 1. P. 114. (rus.)
10. Volokitin G.G., Skripnikova N.K., Volokitin O.G. Razrabotka plazmennyyh tekhnologij dlya strojindustrii. *Aktual'nye problemy sovremennosti*. 2017. 1 (15). P. 150 – 154. (rus.)
11. Bessmertnyi V.S., Min'ko N.I., Bondarenko N.I., Simachev A.V. and ets. Evaluation of the competitiveness of wall building materials with glassy protective-decorative coatings obtained by plasma fusing. *Glass and Ceramics*. 2015. 72 (1-2). P. 41 – 46.
12. Buyantuev S.L., Bylkova N.V., Zayahanova M.E. Zashchitno-dekorativnye pokrytiya na stroitel'nyh izdeliyah s ispol'zovaniem syr'evykh materialov Buryatii. *Stroitel'nye materialy*. 2002. 8. P. 22 – 23. (rus.)
13. Bondarenko D.O., Bondarenko N.I., Bessmertnyi V.S., Burlakov N.M. Plasma-chemical modification of concrete processed by colorific metal salts. *Advances in Engineering Research*. 2017. 133. P. 128 – 134.
14. Zdorenko N.M., Izotova I.A., Strokova V.V., Bondarenko D.O. i dr. Plazmohimicheskoe modifitsirovanie steklokristallicheskogo kompozitsionnogo materiala. *Mezhdunarodnyj zhurnal ehksperimental'nogo obrazovaniya*. 2017. 8. P. 50. (rus.)
15. Fedosov S.V., Akulova M.V., Koshelev E.V. Zakreplenie plazmooplavlennogo steklovidnogo dekorativnogo sloya na betone s pomoshch'yu propitok. *Nauchnyj Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2008. 3. P. 44 – 49. (rus.)
16. Koval'chenko N.A., Zdorenko N.M., Burlakov N.M., Karajhencev R.S. Plazmennoe napylenie cvetnykh metallov na izdeliyah stenovoj keramiki. *Mezhdunarodnyj zhurnal ehksperimental'nogo obrazovaniya*. 2016. 11-1. P. 81. (rus.)
17. Zdorenko N.M., Il'ina I.A., Bondarenko N.I., Borisov I.N. i dr. Formirovanie kachestva i konkurentosposobnosti stenovykh stroitel'nykh materialov avtoklavnogo tverdeniya. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2014. 10. P. 120. (rus.)

**Bessmertny V.S., Doctor of Engineering Sciences (Advanced Doctor), Professor,
Kochurin D.V., Master Student,
Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Russia,
Bondarenko D.O. *, Senior Lecturer,
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Russia,
Bragina L.L., Doctor of Engineering Sciences (Advanced Doctor), Professor,
Kharkiv Polytechnic Institute, Ukraine,
Varfolomeeva S.V., Master Student,
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Russia**
*Corresponding author E-mail: di_bondarenko@mail.ru

A BLOCK OF THERMAL INSULATION MATERIALS WITH PROTECTIVE AND DECORATIVE COATINGS

Abstract: scientific and technological principles of alternative plasma technology for the production of two-layer heat-resistant glass-like decorative coating were developed. The compositions of the intermediate heat-resistant layer and the technology of its application to the surface of the enclosing block of foam glass are proposed. The optimal parameters of plasma melting of heat-resistant and decorative coating layers were determined. The influence of high-speed characteristics of plasma jet thermal melting on the formation of texture and performance of two-layer heat-resistant coating is established. The features of the formation of amorphous vitreous and glass-crystalline phases of a two-layer heat-resistant coating are presented. Using x-ray phase analysis, the features of the phase composition of different layers of heat-resistant coating, as well as the laws of formation of its structural elements are studied. Based on the analysis of significant experimental material, it was concluded that the formation of the upper amorphous layer with liquating regions and minor gas inclusions. The conducted researches allowed to reveal and justify the features of the structure of the layers lying under the amorphous liquating. It was found that the two-layer protective and decorative coating had high physico-chemical and physico-mechanical properties: adhesion strength to the matrix of the foam glass block- 1.25 ± 0.05 MPa, microhardness-785 HV, heat resistance-122°C, acid resistance – 98.5%, alkali resistance – 95.4%.

Keywords: foam glass, decorative coatings, amorphous layer, plasma jet, heat resistance, adhesion strength

Для цитирования: Бессмертный В.С., Кочурин Д.В., Бондаренко Д.О., Брагина Л.Л., Варфоломеева С.В. Теплоизоляционные блочные материалы с защитно-декоративными покрытиями // Строительные материалы и изделия. 2019. Том 2. №1. С. 4 – 10. DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-1-4-10

For citation: Bessmertny V.S., Kochurin D.V., Bragina L.L., Varfolomeeva S.V. A block of thermal insulation materials with protective and decorative coatings. Construction Materials and Products. 2019. 2 (1). P. 4 – 10. DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-1-4-10

Поступила в редакцию 2 декабря 2018 г.
Принята в доработанном виде 12 января 2019 г.
Одобрена для публикации 5 февраля 2019 г.

Received: December 2, 2018.
Revised: January 12, 2019.
Accepted: February 5, 2019.