

# ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.12737/article\_5abfc9be87f4d8.73038047

*Изотова И.А., аспирант,  
Бондаренко Н.И., канд. техн. наук, доц.,  
Борисов И.Н., д-р техн. наук, проф.,  
Клименко В.Г., канд. техн. наук, доц.,  
Слабинская И.А., д-р экон. наук, проф.*

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

**bondarenko-71@mail.ru**

*В статье представлены результаты исследований влияния плазмохимического модифицирования на эстетические и эксплуатационные свойства композиционного стеклокристаллического материала. Разработаны оптимальные составы композиционных стеклокристаллических материалов на основе боя цветных тарных стёкол, боя фарфора и жидкого стекла. Показано, что композиционный стеклокристаллический материал обладал повышенными механическими свойствами и относительно невысокими эстетическими показателями. Установлено, что в процессе плазменной обработки лицевая поверхность подвергается огненной полировке с образованием высококачественного покрытия. При высокотемпературном воздействии струи поверхность стеклокристаллического материала разогревается до 2000 °С, в результате чего происходит обогащение лицевой поверхности оксидами кремния, алюминия и обеднение щелочными и щелочноземельными оксидами. Экспериментально подтверждено, что после плазмохимического модифицирования повышаются коэффициент диффузионного отражения, водостойкость, кислотостойкость, щелочестойкость и термостойкость лицевой поверхности композиционного стеклокристаллического материала.*

***Ключевые слова:** плазмохимическое модифицирование, композиционный стеклокристаллический материал, коэффициент диффузионного отражения, водостойкость, кислотостойкость, щелочестойкость, термостойкость.*

**Введение.** В настоящее время современное жилищное строительство предусматривает широкое использование различных облицовочных материалов, а также стекловидных, органоминеральных и органических защитно-декоративных покрытий. Это способствует существенному повышению архитектурно-художественной выразительности зданий и сооружений.

Отделочные работы в общем объёме затрат на строительные работы значительно удорожают стоимость 1 м<sup>2</sup> жилья. Поэтому разработка высококачественных, недорогих облицовочных материалов позволили решить проблему снижения стоимости отделки зданий и сооружений.

Одним из путей снижения себестоимости стеклокристаллических облицовочных материалов является использование в качестве исходного сырья отходов промышленности и вторичных материалов. Предложено в качестве вторичных материалов использовать бой стеклотары, сбор и промышленная переработка которой в России до настоящего времени должным образом не налажена.

В связи с вступлением в силу технического регламента Таможенного союза в 2012 году на

территории Российской Федерации, Казахстана и Беларуси запрещено вторичное использование тары. В этой связи необходимо создавать энергосберегающие технологии получения эффективных стеклокристаллических материалов с использованием боя тарных стёкол.

Стеклокремнезит и стеклокерамит являются традиционным облицовочным материалом, уступающим по своим декоративным и эксплуатационным свойствам глазурированной керамической плитке и керамограниту [1].

В настоящее время ведутся работы в области разработки облицовочных стеклокристаллических материалов. Так, разработана и апробирована технология получения облицовочного стеклокерамического композиционного материала [2]. Использование колеманита совместно со стеклосодержащими листовыми и тарными стёклами позволило получить безупрочные стеклокристаллические материалы [3–5].

С целью повышения эстетико-потребительских свойств производят плазмохимическое модифицирование лицевой поверхности различных стеновых строительных материалов [6–9]. Плаз-

мохимическое модифицирование не только улучшает качество лицевой поверхности за счёт огневой полировки, но и повышает эксплуатационные свойства [10]. Эффективные защитно-декоративные покрытия с использованием боя цветных тарных стёкол и жидкого стекла были получены при плазмохимическом модифицировании стеновых строительных материалов автоклавного твердения [11–15]. Бой цветных тарных стёкол вводили в состав защитно-декоративных покрытий на бетоне с использованием в качестве связующей основы глинозёмистого цемента [16].

**Методология.** На основе смеси боя тарных стёкол, боя отходов фарфорового производства и жидкого стекла разработаны эффективные составы, позволяющие получить стеклокристаллический облицовочный материал с повышенными механическими свойствами. Прочность на сжатие такого материала достигала 78 МПа. Однако лицевая поверхность обладала неравномерным блеском, имеющим участки с матовой поверхностью, иногда с бугристой фактурой.

С целью устранения данных дефектов лицевой поверхности стеклокристаллического материала использовали технологию плазмохимического модифицирования. Плазмохимическое модифицирование облицовочной стеклокристаллической плитки размером 50×50×10 мм проводили на специально смонтированном стенде, позволяющем проводить плазменное оплавление при фиксированных скоростях прохождения плазменной струи по лицевой поверхности.

Высокотемпературным источником служила электродуговая установка «Горыныч». Параметры работы плазматрона были следующие: ток – 8 А, напряжение – 150 В, температура плазменной струи – 6000 °С, скорость прохождения плазменной струи по поверхности стеклокристаллической плитки – 10–12 мм/с.

**Основная часть.** Химический состав тарных стёкол, используемых в качестве основы стеклокристаллического материала, представлен в табл. 1.

Таблица 1

#### Химический состав тарных цветных стёкол

Марка стекла	Цвет	Содержание оксидов, мас. %								
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	SO <sub>3</sub>
ЗТ-1	зеленый	71,0	3,5	8,0	3,0	14,0	0,8	–	–	0,4
ЗТ-2	изумрудный	69,0	3,8	8,5	2,5	14,0	0,5	0,2	–	0,3
КТ	коричневый	71,4	3,3	8,0	3,0	14,0	1,5	–	–	0,3
–	синий	64,25	1,76	8,27	6,51	19,28	0,14	–	0,062	0,12

С целью повышения прочностных характеристик в состав стеклокристаллического композита вводили бой фарфора. Натриевое жидкое

стекло вводили в состав для снижения температуры спекания.

Разработанные составы масс представлены в табл. 2.

Таблица 2

#### Состав и свойства композиционных стеклокристаллических материалов

№	Наименование стеклавкомпозите	Содержание компонентов, %			Прочность на сжатие, МПа	Водопоглощение, %	Изменение размеров, %
		стеклобой	бой фарфора	жидкое стекло			
1	Зеленое ЗТ-1	85	5	10	67	0,28	-1,95
		80	10	10	76	0,31	-1,85
2	Изумрудное	85	5	10	69	0,21	-2,15
		80	10	10	78	0,25	-2,01
3	Коричневое КТ	85	5	10	64	0,32	-1,91
		80	10	10	75	0,37	-1,79
4	Синее тарное	85	5	10	54	0,36	-1,89
		80	10	10	74	0,43	-1,69

После плазмохимического модифицирования композитов зелёного, изумрудного, коричневого, синего цветов исследовали эстетические и эксплуатационные свойства огненно-полированной поверхности составов с содержанием 80 % стеклобоя, 10 % боя фарфора и 10 % жидкого стекла.

В число основных эксплуатационных свойств композиционных стеклокристаллических материалов входит термостойкость. Термостойкость композита до и после плазмохимического модифицирования представлена в табл. 3.

При плазмохимическом модифицировании происходит микрозакаливанию огненно-полированной поверхности.

Таблица 3

**Термостойкость композиционного стеклокристаллического материала**

№	Наименование стекла в композите	Термостойкость (Т), °С	
		До плазменной обработки	После плазменной обработки
1	Зеленое ЗТ-1	96	112
2	Изумрудное ЗТ-2	92	106
3	Коричневое КТ	94	108
4	Синее тарное	96	110

Одним из показателей качества лицевой поверхности является коэффициент диффузорного отражения (КДО, %). В таблице 4 представлены значения КДО композиционных стеклокристаллических материалов до и после плазмохимического модифицирования.

После плазменного оплавления КДО огненно-полированной поверхности значительно повысился (таблица 4).

При прохождении плазменной струи по лицевой поверхности композиционного стеклокристаллического материала со скоростью 10 мм/с

лицевая поверхность разогревалась до температуры 2000 °С. За счёт высоких температур плазменной струи происходило испарение с лицевой поверхности щелочных и щелочноземельных оксидов. Поверхность прогревалась в среднем до 2000–2500 мкм и обогащалась оксидами кремния, алюминия. Это приводило к повышению химической устойчивости, в частности, водостойкости, кислотостойкости и щелочестойкости лицевой поверхности (табл. 5).

Таблица 4

**КДО до и после плазмохимического модифицирования**

№	Наименования стекла в композите	КДО, %	
		До плазменной обработки	После плазменной обработки
1	Зеленое ЗТ-1	62	72
2	Изумрудное ЗТ-2	64	76
3	Коричневое КТ	58	69
4	Синее тарное	56	67

Таблица 5

**Химическая устойчивость огненно-полированной поверхности стеклокристаллического композиционного материала**

№	Наименование стекла в композите	Водостойкость				Кислотостойкость, 1Н HCl		Щелочестойкость, 1Н NaOH	
		0,01HNCI, см <sup>3</sup>		Гидролитический класс		1Н HCl		1Н NaOH	
		обработка		обработка		обработка		обработка	
		до	после	до	после	до	после	до	после
1	Зеленое ЗТ-1	3,62	2,44	IV	III	97,4	98,3	93,8	94,9
2	Изумрудное ЗТ-2	3,84	2,71	IV	III	96,3	97,1	92,8	94,2
3	Коричневое КТ	3,68	2,55	IV	III	97,1	98,1	93,3	94,8
4	Синее тарное	3,72	2,69	IV	III	96,9	97,8	94,1	95,1

Как видно из табл. 5, после плазмохимического модифицирования химическая устойчивость огненно-полированной лицевой поверхности композиционных стеклокристаллических материалов возросла.

**Выводы.** Исследовано влияние плазмохимического модифицирования на повышение эстетических и эксплуатационных показателей защитно-декоративных покрытий.

Установлено, что под действием высоких температур плазменной струи происходит огненная полировка лицевой поверхности стеклокристаллического композиционного материала.

Показано, что огненно-полированная поверхность стеклокристаллических материалов обладает повышенными значениями коэффициента диффузионного отражения, водостойкости, кислотостойкости, щелочестойкости и термостойкости.

**Источник финансирования.** Грант Президента РФ № НШ-2724.2018.8.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

- Будов В.М., Саркисов П.Д. Производство строительного и технического стекла. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1991. 319 с.
- Дорохова Е.С., Изотова И.А., Жерновой Ф.Е., Бессмертный В.С., Жерновая Н.Ф. Разработка и опытная апробация технологии облицовочного стеклокерамического композита // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 1. С. 138–143.
- Жерновая Н.Ф., Дороганов Е.А., Бессмертный В.С., Дорохова Е.С., Жерновой Ф.Е., Здоренко Н.М., Изотова И.А. Стеклокерамический композит с мультифункциональной колеманитовой добавкой // Перспективные материалы. 2016. № 5. С. 51–58.

4. Dorokhova E.S., Zhernovoi F.E., Izotova I.A., Bessmertnyi V.S., Zhernovaya N.F., Tarasova E.E. Shrink-free face material based on cullet and colemanite // *Glass and Ceramics*. 2016. Vol. 73. Issue 3. P. 103–106. DOI: 10.1007/s10717-016-9835-6.

5. Dorokhova E.S., Zhernovaya N.F., Bessmertnyi V.S., Zhernovoi F.E., Tarasova E.E. Control of the structure of porous glass-ceramic material // *Glass and Ceramics*. 2017. Vol. 74. Issue 3–4. P. 95–98. DOI: 10.1007/s10717-017-9936-x.

6. Бессмертный В.С., Бондаренко Н.И., Борисов И.Н., Бондаренко Д.О. Получение защитно-декоративных покрытий на стеновых строительных материалах методом плазменного оплавления. Белгород: Изд. БГТУ, 2014. 104 с.

7. Бессмертный В.С., Борисов И.Н., Ильина И.А., Бондаренко Н.И., Бондаренко Д.О. Плазмохимическая модификация строительных материалов // *Научно-технические инновации (XXI научные чтения): сб. трудов Междунар. науч.-практ. конф.* Белгород: БГТУ, 2014. С. 41–45.

8. Бессмертный В.С., Зубенко С.Н., Дюмина П.С., Здоренко Н.М., Волошко Н.И. Плазменно-оплавленные защитно-декоративные покрытия на бетоне на основе алюминатных цементов и боя цветных стекол // *Международный журнал экспериментального образования*. 2015. № 9. С. 104.

9. Пучка О.В., Бессмертный В.С., Сергеев С.В., Вайсера С.С. Плазмохимические методы получения покрытий на поверхности пеностекла // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2013. № 3. С. 147–150.

10. Бессмертный В.С., Минько Н.И., Бондаренко Н.И., Лесовик В.С., Яхья Мохаммед Яхья, Бондаренко Д.О., Табит Салим Аль-Азаб Исследование влияния плазменной обработки стеновых строительных материалов на потребительские свойства защитно-декоративных покрытий

// *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2014. № 4. С. 59–62.

11. Бессмертный В.С., Здоренко Н.М., Симачёв А.В. Некоторые аспекты повышения качества строительной керамики путем подбора комплексных органоминеральных добавок // *Успехи современного естествознания*. 2013. № 5. С. 109.

12. Бессмертный В.С., Ильина И.А., Соколова О.Н. Получение защитно-декоративных покрытий на стеновых строительных материалах автоклавного твердения // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2012. № 3. С. 155–157.

13. Ильина И.А., Минько Н.И., Борисов И.Н., Бондаренко Д.О., Скрипченко П.В. Локальная термическая обработка стеновых строительных материалов автоклавного твердения // *Современные наукоемкие технологии*. 2014. № 3. С. 165.

14. Бессмертный В.С., Ильина И.А., Зубенко С.Н., Соколова О.Н., Здоренко Н.М., Волошко Н.И. Плазмохимическое модифицирование стеновых строительных материалов автоклавного твердения // *Международный журнал экспериментального образования*. 2015. № 9. С. 119.

15. Бессмертный В.С., Ляшко А.А., Панасенко В.А., Долуденко А.А., Антропова И.А., Ильина И.А. Плазменная обработка автоклавных материалов // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2011. № 12. С. 81–82.

16. Бондаренко Н.И., Бессмертный В.С., Борисов И.Н., Тимошенко Т.И., Буршина Н.А. Бетоны с защитно-декоративными покрытиями на основе алюминатных цементов, оплавленные плазменной струей // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2016. № 2. С. 181–185.

#### *Информация об авторах*

**Изотова Ираида Алексеевна**, аспирант кафедры технологии стекла и керамики.

E-mail: iraida.izotova.1993@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Бондаренко Надежда Ивановна**, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии стекла и керамики.

E-mail: bondarenko-71@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Борисов Иван Николаевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии цемента и композиционных материалов.

E-mail: xtsm@intbel.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Клименко Василий Григорьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии.

E-mail: Klimentko3497@yandex.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Слабинская Ирина Александровна**, доктор экономических наук, профессор кафедры бухгалтерского учёта и аудита

E-mail: iaslabinskaya@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

*Поступила в январе 2018 г.*

© Изотова И.А., Бондаренко Н.И., Борисов И.Н., Клименко В.Г., Слабинская И.А., 2018

**I.A. Izotova, N.I. Bondarenko, I.N. Borisov, V.G. Klimenko, I.A. Slabinskij**  
**RESEARCH OF THE EFFECT OF PLASMA TREATMENT ON THE OPERATIONAL PROPERTIES OF COMPOSITE GLASS-CERAMIC MATERIALS**

*The article presents the research findings of the influence of plasma-chemical modification on aesthetic and performance properties of a composite glass-ceramic material. The optimum compositions of composite glass-crystalline materials based on broken colored glass containers, broken porcelain and liquid glass have been developed. It has been shown that the composite glass-crystalline material possessed the increased mechanical properties and relatively low esthetic properties. It has been determined that in the process of plasma treatment the front surface undergoes fire polishing with the formation of a high-quality coating. When exposed to a high-temperature jet, the surface of the glass-crystalline material is heated up to 2000 °C, resulting in the enrichment of the front surface with silicon and aluminum oxides and depletion of alkali and alkaline-earth oxides. It has been experimentally confirmed that after the plasma-chemical modification the diffuse reflectance coefficient, water resistance, acid resistance, alkali resistance and heat resistance of the face surface of the composite glass-crystalline material are increased.*

**Keywords:** *plasma-chemical modification, composite glass-ceramic material, diffuse reflectance coefficient, water resistance, acid resistance, alkali resistance, heat resistance.*

**REFERENCES**

1. Budov V.M., Sarkisov P.D. Manufacture of building and technical glass. 4-e Izd. M.: Vysshaya shkola, 1991. 319 p.

2. Dorokhova E.S., Izotova I.A., Zhernovoi F.E., Bessmertnyi V.S., Zhernovaya N.F. Development and experimental approbation facing glass ceramic composite technology // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2016, no. 1, pp. 138–143.

3. Zhernovaya N.F., Doroganov Ye.A., Bessmertnyi V.S., Dorokhova Ye.S., Zhernovoi F.Ye., Zdorenko N.M., Izotova I.A. Glassceramic composite with multifunctional colemanite additive // Promising materials, 2016, no. 5, pp. 51–58.

4. Dorokhova E.S., Zhernovoi F.E., Izotova I.A., Bessmertnyi V.S., Zhernovaya N.F., Tarasova E.E. Shrink-free face material based on cullet and colemanite // Glass and Ceramics, 2016, vol. 73, no. 3, pp. 103–106.

5. Dorokhova E.S., Zhernovaya N.F., Bessmertnyi V.S., Zhernovoi F.E., Tarasova E.E. Control of the structure of porous glass-ceramic material // Glass and Ceramics, 2017, vol. 74, no. 3–4, pp. 95–98.

6. Bessmertnyi V.S., Bondarenko N.I., Borisov

I.N., Bondarenko D.O. Obtaining protective-decorative coatings on wall building materials using the method of plasma reflow. Belgorod: BGTU, 2014. 104 p.

7. Bessmertnyi V.S., Borisov I.N., Ilyina I.A., Bondarenko N.I., Bondarenko D.O. Plasmochemical modification of building materials. Proc. of the Intern. scientific and practical conference «High technology and innovation» (XXI scientific readings). Belgorod: BGTU, 2014, pp. 41–45.

8. Bessmertnyi V.S., Zubenko S.N., Dyumina P.S., Zdorenko N.M., Voloshko N.I. Plasma-melted protective and decorative coatings on concrete based on aluminate cements and battles of colored glass // International journal of experimental education, 2015, no. 9, pp. 104.

9. Puchka O.V., Bessmertnyi V.S., Sergeev S.V., Vaysera S.S. Plasmachemical method receipt payment on surface foamglass // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2013, no. 3, pp. 147–150.

10. Bessmertnyi V.S., Minko N.I., Bondarenko N.I., Lesovik V.S., Yahya Mohammed Yaha, Bondarenko D.O., Tabitha Salim Al-Azab Research of influence of plasma processing of wall construction materials on consumer properties of protective and decorative coverings // Bulletin of BSTU named

after V.G. Shukhov, 2014, no. 4, pp. 59–62.

11. Bessmertnyi V.S., Zdorenko N.M., Simachev A.V. Some aspects of improving the quality of building ceramics by selecting complex organomineral additives // Advances in current natural sciences, 2013, no. 5, pp. 109.

12. Bessmertnyi V.S., Ilyina I.A., Sokolova O.N. Reception of protectively-decorative coverings on wall building materials of the autoclave concreting // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2012, no. 3, pp. 155–157.

13. Ilyina I.A., Minko N.I., Borisov I.N., Bondarenko D.O., Skripchenko P.V. Local heat treatment of wall building materials of autoclave hardening // Modern high technologies, 2014, no. 3, pp. 165.

14. Bessmertnyi V.S., Ilyina I.A., Zubenko S.N., Sokolova O.N., Zdorenko N.M., Voloshko N.I. Plasmochemical modification of walled building materials of autoclave hardening // International journal of experimental education, 2015, no. 9, pp. 119.

15. Bessmertnyi V.S., Lyashko A.A., Panasenko V.A., Doludenko A.A., Antropova I.A., Ilyina I.A. Plasma processing of autoclave materials // International journal of applied and fundamental research, 2015, no. 9, pp. 119.

16. Bondarenko N.I., Bessmertniy V.S., Borisov I.N., Tymoshenko T.I., Burshina N.A. The concrete with protective and decorative coverings on the basis of aluminatny cements which are melted off by the plasma stream // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2016, no. 2, pp. 181–185.

*Information about the author*

**Iraida A. Izotova**, Postgraduate student.

E-mail: iraida.izotova.1993@mail.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.  
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Nadezda I. Bondarenko**, PhD, Assistant professor.

E-mail: bondarenko-71@mail.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.  
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Ivan N. Borisov**, PhD, Professor.

E-mail: xtsm@intbel.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.  
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Vasiliy G. Klimenko**, PhD, Assistant professor.

E-mail: Klimenko3497@yandex.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.  
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Irina A. Slabinskaya**, PhD, Professor.

E-mail: iaslabinskaya@mail.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.  
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

---

*Received in January 2018*