
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

Известия вузов. Строительство. 2022. № 8. С. 65–72.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2022; (8): 65–72.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 691:533.9

DOI: 10.32683/0536-1052-2022-764-8-65-72

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ И ОБРАБОТКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Владимир Алексеевич Черемных, Геннадий Георгиевич Волокитин,
Анатолий Анатольевич Клопотов, Нелли Карповна Скрипникова**

Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск,
Россия

Аннотация. В работе рассмотрена и установлена возможность использования энергии низкотемпературной плазмы в области создания и обработки строительных материалов. Выявлено, что высокая концентрация тепловых потоков поверхности материалов образует покрытие, отличающееся стойкостью к воздействию неблагоприятных факторов. Защитно-декоративный слой получен на материалах искусственного и растительного происхождения. Приведены данные, отражающие влияние рабочего режима плазменной обработки на характеристики оплавленной поверхности силикатных изделий. Представлены результаты исследования влияния плазменной обработки древесины на прочность клеевого соединения. Определено, что преимущество плазменных технологий основано на высокой интенсивности процессов создания/обработки материалов. Показаны перспективы использования плазменных технологий в области переработки техногенных отходов для производства материалов с хорошими физико-механическими свойствами.

Ключевые слова: низкотемпературная плазма, силикатный кирпич, древесина, минеральные волокна, защитно-декоративное покрытие

Благодарности: издание осуществлено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FEMN-2023-0003).

Для цитирования: Черемных В.А., Волокитин Г.Г., Клопотов А.А., Скрипникова Н.К. Перспективы использования плазменных технологий в области создания и обработки строительных материалов // Известия вузов. Строительство. 2022. № 8. С. 65–72. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-764-8-65-72.

Original article

PROSPECTS FOR THE USE OF PLASMA TECHNOLOGIES IN THE CREATION AND PROCESSING OF BUILDING MATERIALS

**Vladimir A. Cheremnykh, Gennady G. Volokitin, Anatoly A. Klopotov,
Nelli K. Skripnikova**

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. The paper considers and establishes the possibility of using low-temperature plasma energy in the field of creation and processing of building materials. It was found that a high concentration of heat fluxes of the material surface forms a coating that is characterized by resistance to the effects of adverse factors. The formation of a protective and decorative layer is obtained on materials of artificial and plant origin. The data reflecting the influence of the operating mode of plasma treatment on the characteristics of the melted surface of silicate products are presented. The results of the study of the effect of plasma treatment of wood on the strength of the adhesive joint are presented. It is determined that the advantage of plasma technologies is based on the high intensity of the processes of creating /processing materials. The prospects of using plasma technologies in the processing of industrial waste for the production of materials with good physical and mechanical properties are shown.

Keywords: low-temperature plasma, silicate brick, wood, mineral fibers, protective and decorative coating

Acknowledgments: The publication was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (subject No. FEMN-2023-0003).

For citation: Cheremnykh V.A., Volokitin G.G., Klopotov A.A., Skripnikova N.K. Prospects for the use of plasma technologies in the creation and processing of building materials. *News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2022; (8): 65–72. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2022-764-8-65-72.

Введение. Развитие строительного комплекса сопровождается поиском новых, а также разработкой технологий создания и обработки строительных материалов. В настоящее время одними из основных требований, предъявляемых к технологии создания строительных материалов, являются экономическая и экологическая эффективность. Использование низкотемпературной плазмы в качестве источника теплового воздействия, за счет значительной температуры и высокой концентрации удельных тепловых потоков, открывает новые возможности в области создания и модификации строительных материалов с учетом предъявляемых требований.

Целью работы является изучение возможности применения энергии низкотемпературной плазмы для создания и обработки строительных материалов.

Первые исследования возможности применения энергии плазмы в области строительных материалов проводились на бетонных, керамических и силикатных материалах [1, 2]. Отмечена более высокая скорость процесса плазменной обработки материалов по сравнению с газопламенным методом. В результате экспериментальных исследований разработана технология получения защитно-декоративного покрытия на поверхности силикатного

Влияние рабочего режима плазменной обработки на состояние поверхности силикатных изделий

The effect of the operating mode of plasma treatment on the surface condition of silicate products

Плотность, Вт/м ²	Температура на поверхности изделия, К	Время воздействия плазмы, с	Толщина стекловидной пленки, мм	Прочность сцепления, МПа	Характеристика поверхности
$1,0 \cdot 10^6$	1300	1	—	—	Не оплавилась
	1700	2	—	—	»
$1,5 \cdot 10^6$	1800	1	—	—	»
	2400	2	0,34	1,32	Оплавление хорошее, поверхность ровная
$2,0 \cdot 10^6$	2300	1	0,22	2,34	Оплавление хорошее, поверхность гладкая
	3100	—	0,50	1,81	Оплавление сильное, поверхность бугристая

кирпича посредством оплавления высококонцентрированными потоками плазмы. На основе анализа результатов исследований установлено, что созданное покрытие отличается высокой химической стойкостью, морозостойкостью и долговечностью [3]. В таблице представлены данные по определению влияния параметров рабочих режимов плазменной обработки на состояние оплавленной поверхности. Кроме того, было получено уникальное покрытие на поверхности бетонных изделий, обладающее защитно-декоративными свойствами [4, 5].

Создание защитно-декоративных покрытий с помощью плазменных технологий возможно не только за счет оплавления поверхности, но и путем напыления покрытий из тонких пленок металлов [6].

Энергия низкотемпературной плазмы может применяться для получения цементного клинкера с использованием плазменной печи. Эффективность заключается в сокращении процесса клинкерообразования за счет температуры плазменной печи (более 3500 °C) [7].

Это ускоряет все реакции, так как они проходят в жидкой фазе.

Рассматривая проблему утилизации отходов различных предприятий, устанавливалась возможность их применения в качестве сырья для создания строительных материалов. В результате исследований была разработана одностадийная технология получения минеральных волокон, использующихся в качестве звуко- и теплоизоляционных материалов. Микрофотография полученных минеральных волокон представлена на рис. 1.



Рис. 1. Микрофотография минеральных волокон ($\times 300$), полученных из золошлаковых отходов

Fig. 1. Micrograph of mineral fibers ($\times 300$) obtained from ash and slag waste

В качестве сырья для получения минеральных волокон возможно использовать отходы ТЭЦ (золу, шлаки), а также отходы горнодобывающей промышленности и их сочетания [8].

Физико-химические свойства минерального волокна, полученного из зол ТЭЦ:

Водостойкость	2,1 %
Средняя толщина волокон	2,8 мкм
Удельный объем	0,010 м ³ /кг
Кислотостойкость	98,5 %
Средняя длина волокна	100,6 мм
Температуростойкость	1800 К
Прочность на разрыв	14–16 МПа

Новейшими разработками в области применения плазменных технологий являются технология получения нанопорошка диоксида кремния из природного высококремнеземистого сырья, который, к примеру, используется в качестве добавки в цементный раствор, увеличивающей прочность при сжатии и на изгиб [9], технология получения микросфер на основе агломерированных тугоплавких оксидов и технология получения углеродных наноматериалов. Полученные микросфера в строительной индустрии нашли применение в качестве модифицирующей добавки в строительные смеси различного назначения, мастики и краски [10]. Углеродные наноматериалы применяются в качестве добавки, увеличивающей прочность цемента [11].

Еще одним направлением использования энергии низкотемпературной плазмы является модификация свойств древесины. Актуальность развития направления определяется объемами заготовки, производства и спросом на древесные материалы, а также особенностями древесины. При повышенной влажности древесина имеет склонность к загниванию, образованию плесени. Влажность оказывает влияние на механические свойства древесины. Все это говорит о необходимости предусмотреть меры по ее защите.

Для улучшения физико-механических свойств древесины проведена разработка и создано оборудование для плазменной обработки древесины. Фотография процесса плазменной обработки древесины на разработанном оборудовании представлена на рис. 2.

Обнаружено, что после обработки высококонцентрированными потоками плазмы на поверхности древесины образуется защитно-декоративный слой. Снижается пористость поверхности, шероховатость, уменьшается водопроницаемость, повышается стойкость к воспламенению и стойкость к истиранию. Определено, что на глубине до 5 мм происходит уничтожение грибковых заболеваний [12].

В настоящее время проводятся исследования, целью которых является определение влияния плазменной обработки на физические и механические свойства древесины, например, такие как предел прочности при сжатии, предел прочности при изгибе, твердость, адгезия и т.п.

Одним из ключевых показателей полученного покрытия на поверхности древесины является прочность kleевого соединения, поскольку спрос на клееные изделия из древесины имеет восходящую тенденцию. Были проведены исследования на прочность kleевого соединения образцов из сосны

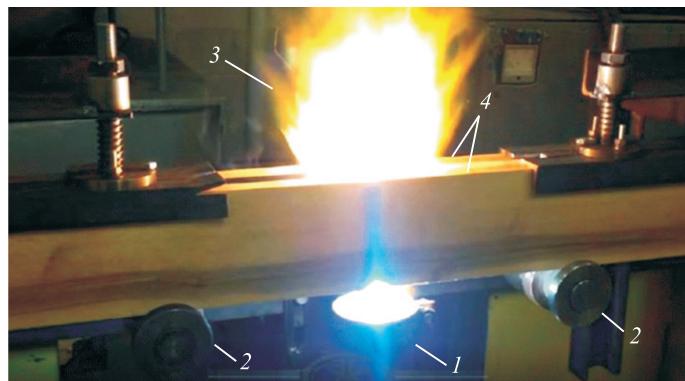


Рис. 2. Процесс плазменной обработки древесины
1 – плазменный генератор; 2 – ролики системы подачи обрабатываемых изделий; 3 – плазменный поток; 4 – обрабатываемые изделия

Fig. 2. The process of plasma treatment of wood
1 – plasma generator; 2 – rollers of the feed system of processed products; 3 – plasma flow; 4 – processed products

по ГОСТ 33120–2014. Обработка древесины проводилась на специально сконструированном стенде. Выходная мощность источника, питающего плазменный генератор, составляла 20 кВт. Механические испытания проводились на испытательной машине INSTRON 3382 для необработанных (исходных) образцов и образцов, обработанных с помощью энергии плазмы. Графики зависимости деформации от напряжения, полученные в результате испытания образцов из сосны на прочность клеевого соединения, представлены на рис. 3.

На основе анализа результатов исследования установлено, что обработка древесины высококонцентрированными потоками плазмы позволяет полу-

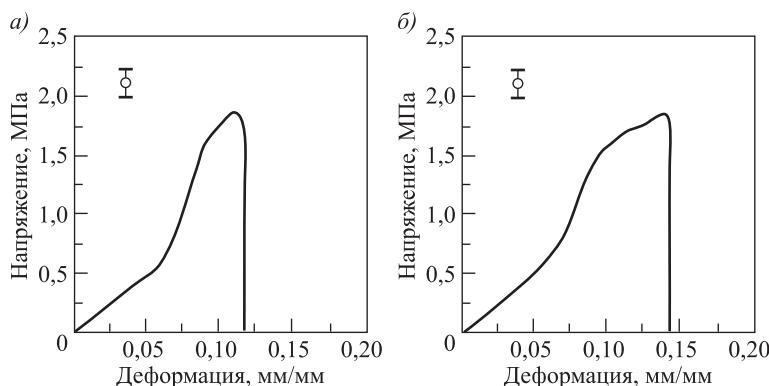


Рис. 3. Графики зависимости деформации от напряжения, полученные в результате испытания образцов из сосны на прочность клеевого соединения

a – необработанные (исходные) образцы; б – обработанные энергией плазмы

Fig. 3. Graphs of the dependence of strain on stress obtained as a result of testing pine samples for the strength of the adhesive joint
a – untreated (initial) samples; b – treated with plasma energy

чить защитно-декоративное покрытие, не снижая прочность клеевого соединения. Таким образом, модификация поверхности образцов из древесины с помощью энергии низкотемпературной плазмы позволила улучшить в комплексе механические свойства клеевого соединения древесины с созданием защитно-декоративного покрытия.

Заключение. На основе исследований показаны значительные возможности применения энергии низкотемпературной плазмы для модификации поверхности и производства строительных материалов. Установлено улучшение физико-механических свойств поверхности после плазменной обработки.

Использование энергии плазмы не ограничивается одним материалом и имеет огромный потенциал не только в области создания и обработки строительных материалов, но и в других областях.

Плазменные технологии позволяют совместить процесс утилизации техногенных отходов (золы, шлаки) с процессом создания материалов, таких как минеральное волокно.

Список источников

1. А. с. 172663 СССР. Способ обработки строительных изделий / Н.Г. Корсак. № 883888/29-14; заявл. 24.02.64; опубл. 29.06.65; Бюл. № 13.
2. А. с. № 636115 А1 СССР, МПК B44D 5/00. Способ отделки облицовочных изделий / А.С. Быков, В.Ю. Резник, Ю.А. Титов. № 2162096; заявл. 15.09.1975; опубл. 05.12.1978.
3. А. с. № 1040754 А1 СССР, МПК C04B 41/45. Способ получения защитно-декоративного покрытия на силикатных изделиях / Г.Г. Волокитин, Т.Ф. Романюк, Н.К. Скрипникова и др.; заявитель Томский инженерно-строительный институт. № 3380291; заявл. 14.01.1982; опубл. 07.07.1993.
4. Козлова В.К., Безбородов В.Г., Желнов Б.Л. Использование низкотемпературной плазмы для защитно-декоративного покрытия бетона // Тезисы докладов научно-технической конференции, Новосибирск, 01–30 апр. 1990 г. Новосибирск: Новосибирский инженерно-строительный институт им. В.В. Куйбышева, 1990. С. 221.
5. Куликова Г.А. Технология создания защитно-декоративного покрытия на бетонных изделиях с помощью низкотемпературной плазмы: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Томск, 1996. 24 с.
6. Федосов С.В., Акулова М.В., Таничев М.В. Нанесение металлических покрытий на поверхность различных строительных материалов с использованием низкотемпературной плазмы // Инженерные и социальные системы: Сб. науч. тр. ИвГПУ, Иваново, 2017 г. Вып. 2. Иваново, 2017. С. 23–29.
7. Волокитин Г.Г., Скрипникова Н.К., Позднякова Н.А. и др. Высокотемпературные способы производства цементного клинкера с использованием низкотемпературной плазмы и электродугового прогрева (джоулев нагрев) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2008. № 4. С. 106–112.
8. Пат. № 2060977 С1 Российская Федерация, МПК C03B 37/04. Способ получения минерального волокна плазменным нагревом / Г.Г. Волокитин, В.Э. Борзых, А.М. Шиляев и др.; заявитель Томская государственная архитектурно-строительная академия. № 93057718/33; заявл. 29.12.1993; опубл. 27.05.1996.
9. Космачев П.В. Синтез нанопорошка диоксида кремния в плазме электродугового разряда // Наука. Технологии. Инновации: Сборник научных трудов. В 9 ч., Новосибирск, 05–09 дек. 2016 г. / под ред. Е.Г. Гуровой. Ч. 5. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2016. С. 19–20.

10. Шеховцов В.В., Волокитин О.Г., Гафаров Р.Е. Технология получения микросфер различной плотности на основе тугоплавких оксидов и силикатов с использованием энергии плазмы // Избранные доклады 63-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых, Томск, 20 апр. 2017 г. Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2017. С. 336–337.
11. Доржсиеев Д.В., Буянытуев С.Л., Хмелев А.Б. и др. Получение углеродных наноматериалов в электродуговой плазме как модифицирующие добавки в строительные материалы // Современные технологии и материалы новых поколений: Сборник трудов Международной конференции с элементами научной школы для молодежи, Томск, 09–13 окт. 2017 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск, 2017. С. 52–53.
12. Волокитин Г.Г., Скрипникова Н.К., Синицын В.А. и др. Плазменная обработка древесины // Теплофизика и аэромеханика. 2016. Т. 23. № 1. С. 125–130.

References

1. Copyright certificate 172663 USSR. Method of processing construction products. N.G. Korsak (USSR). No. 883888/29–14; appl. 24.02.1964; publ. 29.06.1965, Bull. No. 13. (In Russ.).
2. Copyright certificate No. 636115 A1 USSR, IPC B44D 5/00. Method of finishing facing products. A.S. Bykov, V.Yu. Reznik, Yu.A. Titov. No. 2162096; appl. 15.09.1975; publ. 05.12.1978. (In Russ.).
3. Copyright certificate No. 1040754 A1 USSR, IPC C04B 41/45. Method of obtaining a protective and decorative coating on silicate products. G.G. Volokitin, T.F. Romanyuk, N.K. Skripnikova et al.; applicant Tomsk Institute of Civil Engineering. No. 3380291; appl. 14.01.1982; publ. 07.07.1993. (In Russ.).
4. Kozlova V.K., Bezborodov V.G., Zhelnov B.L. The use of low-temperature plasma for protective and decorative coating of concrete. Abstracts of scientific and technical conference: Dedicated to the 60th anniversary of the Institute, Novosibirsk, April 01–30, 1990. Novosibirsk: Novosibirsk Civil Engineering Institute named after V.V. Kuibyshev, 1990. P. 221. (In Russ.).
5. Kulikova G.A. Technology of creating a protective and decorative coating on concrete products using low-temperature plasma: Abstract. ... PhD. Tomsk, 1996. 24 p. (In Russ.).
6. Fedosov S.V., Akulova M.V., Tanichev M.V. Application of metal coatings on the surface of various building materials using low-temperature plasma. Engineering and Social systems: Collection of scientific papers of the Civil Engineering Institute of IVSPU, Ivanovo, 2017. Vol. 2. Ivanovo, 2017. P. 23–29. (In Russ.).
7. Volokitin G.G., Skripnikova N.K., Pozdnyakova N.A. et al. High-temperature methods of cement clinker production using low-temperature plasma and electric arc heating (Joule heating). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkitekturno-stroitel'nogo universiteta = Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*. 2008; (4): 106–112. (In Russ.).
8. Patent No. 2060977 C1 Russian Federation, IPC C03B 37/04. Method for obtaining mineral fiber by plasma heating. G.G. Volokitin, V.E. Borzykh, A.M. Shilyaev et al.; applicant Tomsk State Academy of Architecture and Construction. No. 93057718/33; appl. 29.12.1993; publ. 27.05.1996. (In Russ.).
9. Kosmachev P.V. Synthesis of silicon dioxide nanopowder in electric arc discharge plasma. Nauka. Technologies. Innovations: Collection of scientific papers in 9 parts, Novosibirsk, 05–09 December 2016 / edited by E.G. Gurova. P. 5. Novosibirsk: Novosibirsk State Technical University, 2016. P. 19–20. (In Russ.).

10. Shekhovtsov V.V., Volokitin O.G., Gafarov R.E. Technology of obtaining microspheres of various densities based on refractory oxides and silicates using plasma energy. Selected reports of the 63rd University Scientific and Technical Conference of Students and Young Scientists, Tomsk, April 20, 2017. Tomsk: Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, 2017. P. 336–337. (In Russ.).
11. Dorzhiev D.V., Buyantuev S.L., Khmelev A.B. et al. Obtaining carbon nanomaterials in electric arc plasma as modifying additives in building materials. Modern technologies and materials of new generations: proceedings of the international conference with elements of a scientific school for youth, Tomsk, October 09–13, 2017 / National Research Tomsk Polytechnic University. Tomsk, 2017. P. 52–53. (In Russ.).
12. Volokitin G.G., Skripnikova N.K., Sinitsyn V.A. et al. Plasma treatment of wood. *Teplofizika i aeromehanika = Thermophysics and aeromechanics.* 2016; 23(1): 125–130. (In Russ.).

Информация об авторах

В.А. Черемных – аспирант, vacheremnykh@gmail.com

Г.Г. Волокитин – доктор технических наук, профессор

А.А. Клопотов – доктор физико-математических наук, профессор

Н.К. Скрипникова – доктор технических наук, профессор

Information about the authors

V.A. Cheremnykh – Post-graduate Student, vacheremnykh@gmail.com

G.G. Volokitin – DSc, Professor

A.A. Klopotov – DSc, Professor

N.K. Skripnikova – DSc, Professor

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 21.06.2022

Одобрена после рецензирования 21.07.2022

Принята к публикации 28.07.2022

The article was submitted 21.06.2022

Approved after reviewing 21.07.2022

Accepted for publication 28.07.2022