

17. Tyukavkina V. V., Gurevich B. I. Effect of calcination regimes of dolomite on magnesia binder properties. *Sukhie stroitel'nye smesi*, 2014, no. 1, pp. 33–36 (in Russian).

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕНООБРАЗУЮЩЕЙ СМЕСИ НА МОРФОЛОГИЮ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО ПЕНОСТЕКЛА

О. В. Пучка, С. С. Вайсера, БГТУ им. В. Г. Шухова, г. Белгород

Ключевые слова: пеностекло, теплоизоляция, коэффициент теплопроводности, пористость, прочность, водопоглощение, вспенивание, отжиг, теплоизоляционный материал

Key words: foam glass, heat insulation, heat conductivity coefficient, porosity, strength, water absorption, foaming, annealing, heat-insulating material

Теплофизические свойства ячеистого стекла во многом определяет его структура, основу которой составляют геометрически правильная укладка (упаковка) пор (ячеек), а также равномерность толщины межпоровых перегородок. Для получения материала с равномерной мелкопористой структурой необходима качественная подготовка исходных компонентов пенообразующей смеси [1]. Цель данной работы – оптимизация параметров пенообразующей смеси для производства высокоэффективного теплоизоляционного пеностекла с равномерной мелкопористой структурой. Была исследована зависимость удельной поверхности стеклопорошка от времени помола и рассмотрено влияние количества газообразователя, вводимого в пенообразующую смесь, на процесс вспенивания.

Анализ научных разработок в области производства теплоизоляционного пеностекла свидетельствует о недостаточном изучении влияния удельной поверхности стекольного порошка на энергоемкость производства. Еще в 70-е годы исследованием влияния удельной поверхности стеклопорошка на вспенивающую способность пеностекла занимался Б. К. Демидович. В работе [2] содержатся данные об изменении плотности пеностекла в зависимости от дисперсности навески (пробы) в диапазоне 100–700 м²/кг. Современное дробильно-помольное оборудование, в частности вибрационные мельницы периодического действия, позволяет получать стеклопорошок с удельной поверхностью 1000–1200 м²/кг. Стоит также отметить отсутствие данных по оптимизации количества сажи, влияющего на вспенивающую способность пеностекла, при использовании стеклопорошка с такой удельной поверхностью. В качестве газообразователя Б. К. Демидовичем применена сажа (0,3–0,5 мас. %) [2], а Ю. П. Горловым с сотрудниками – антрацит (1–3 мас. %) и каменноугольный кокс (0,5–2,5 мас. %) [3].

В производстве теплоизоляционного пеностекла традиционно используют стекла, при выборе которых исходят из специфических условий пенообразования в высоковязком стекольном расплаве. Химический состав стекла должен обеспечивать низкую склонность к кристаллизации, а также достаточное количество активного окисляющего компонента для протекания реакции вспенивания. Для газообразователей на основе углерода необходимо присутствие в стекле 0,1–0,4 мас. % окисляющего вещества (например, SO₃, As₂O₃) [4]. В большинстве случаев производство пеностекла базируется на применении боя тарного (чаще всего бутылочного) или листового стекла. Составы стекол, используемых для получения пеностекла в различных странах мира, приведены в таблице [4].

Химические составы стекол для производства пеностекла

Страна	Содержание оксидов, мас. %						
	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O + K ₂ O	SO ₃
Россия	69,7–73,5	0,0–1,78	0,5–6,4	6,0–10,8	3,5–11,22	14,0–16,5	0,2–0,5
США	40–75	2–15	0–20	5–20	0–10	–	0,34–0,54
Великобритания	72–74	–	0–2	8–12	–	13–17	≤ 0,50
Франция	70–72,7	0–3,6	2–7	4,9–7,6	3	14	0,40
Индия	71	–	4	7	3	15	0,20

В качестве исходного сырья для получения блочного пеностекла обычно применяют стеклогранулят (продукт стекловарения) или стеклобой, причем одного химического со-

става (любые добавки стеклобоя другого состава необходимо предварительно исследовать). Иными словами, рецепт пенообразующей смеси должен быть стабильным.

При производстве пеностекла в промышленных масштабах, как правило, используют пенообразующую смесь с удельной поверхностью 500–700 м²/кг. Для достижения более высокой удельной поверхности пенообразующей смеси при проведении исследований помол осуществляли в два этапа по специально разработанной технологии. Удельную поверхность сырьевых компонентов определяли на приборе ПСХ-11 [5]. Пробы отбирали с временным интервалом 5 мин.

Результаты экспериментов (рис. 1) показали, что листовое стекло характеризуется наибольшей удельной поверхностью (1266,3 м²/кг) через 40 мин помола на вибромельнице, а тарное – через 50 мин (1257,3 м²/кг), после чего удельная поверхность снижается. По-видимому, это обусловлено тем, что поверхность свежего излома стекла отличается минимальной устойчивостью к действию влаги, поступающей из окружающей среды. Разрушение начинается с поглощения поверхностью стекла молекул воды за счет избыточных сил поверхности – сил поверхностного натяжения. Вода структурно связывается со стеклом и в виде групп ОН⁻ покрывает поверхность, на которой происходит сорбция новых порций воды, что в свою очередь приводит к агрегатированию тонкоизмельченных частиц материала [2].

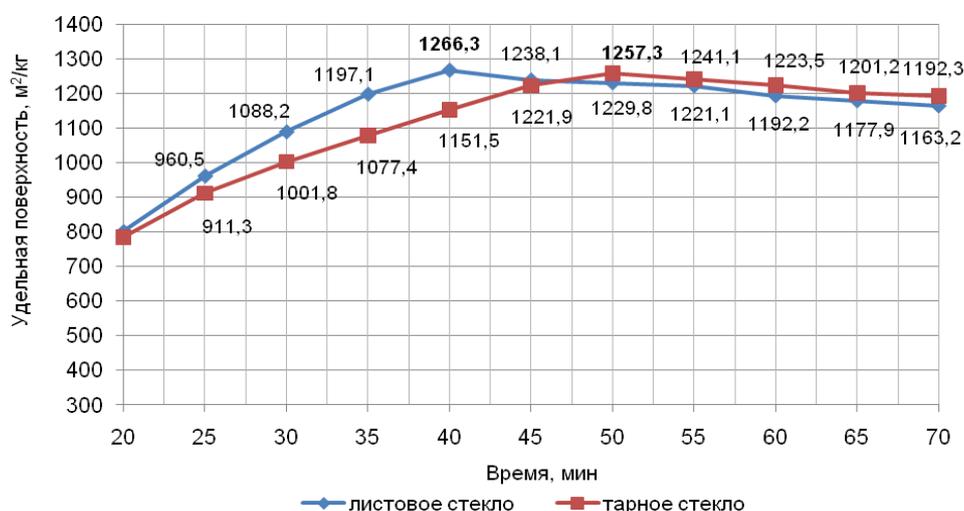


Рис. 1. Зависимость удельной поверхности стеклобоя от времени помола

По данным работ [2, 3], при получении теплоизоляционного пеностекла наилучшие результаты были достигнуты в случае применения пенообразующей смеси на основе тарного стекла. Это объясняется более высоким содержанием щелочноземельных оксидов и Al₂O₃ в составе тарного стекла по сравнению с листовым. В результате появляется возможность увеличить температурный интервал процесса вспенивания (стекло данного состава является «длинным»). В связи с этим в ходе дальнейших исследований использовали смеси на основе боя тарного стекла.

Гранулометрический анализ боя тарного стекла, подвергнутого помолу в течение 40–70 мин, проводили на лазерном анализаторе размеров частиц «Микросайзер 201» [5]. Полученные результаты приведены на рис. 2. Наилучшие показатели распределения частиц по размерам имеет навеска стеклопорошка после 50 мин помола, что согласуется с данными, полученными на приборе ПСХ-11. Это дает основание сделать вывод о том, что дальнейший помол стеклобоя нецелесообразен и энергетически невыгоден.

Для исследования влияния количества газообразователя на процесс вспенивания были проведены поисковые эксперименты с целью оптимизации количества сажи, вводимого в пенообразующую смесь. Интервал варьирования количества газообразователя составил от 0,3 до 1 мас. % (сверх 100%). Была получена серия образцов пеностекла с различным содержанием газообразователя (шаг 0,1 мас. %) и разной дисперсностью стеклопорошка (рис. 3). Установлено, что равномерная мелкопористая структура пеностекла при дисперсности стеклопорошка 1200–1250 м²/кг достигается при содержании газообразователя 0,6–0,7 мас. % (сверх 100%) и коэффициенте вспенивания 4,3–4,4. Это подтверждается и приведенными в работе [3] данными, согласно которым с повышением концентрации угле-

рода в пенообразующей смеси возрастал выход газовой фазы при одновременном незначительном увеличении вероятности протекания реакций газообразования. Кроме того, при концентрации углерода свыше 0,7% в блоках пеностекла наблюдались прорывы в межпоровых перегородках, неравномерное вспенивание, сообщающиеся поры, что для теплоизоляционного пеностекла крайне нежелательно.

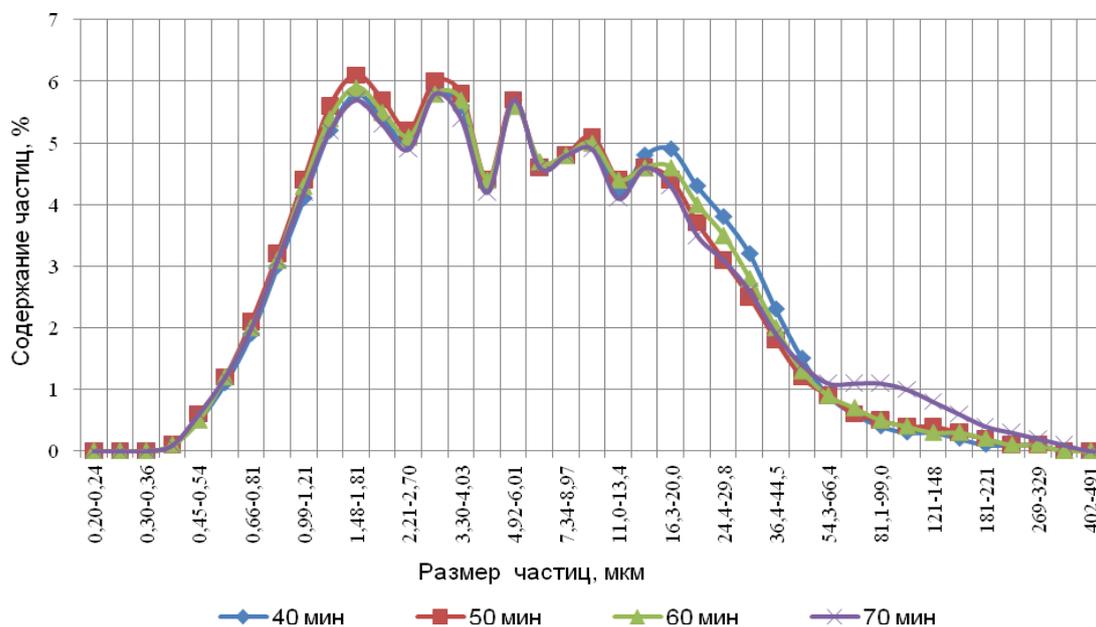


Рис. 2. Зависимость распределения частиц по размерам от времени помола

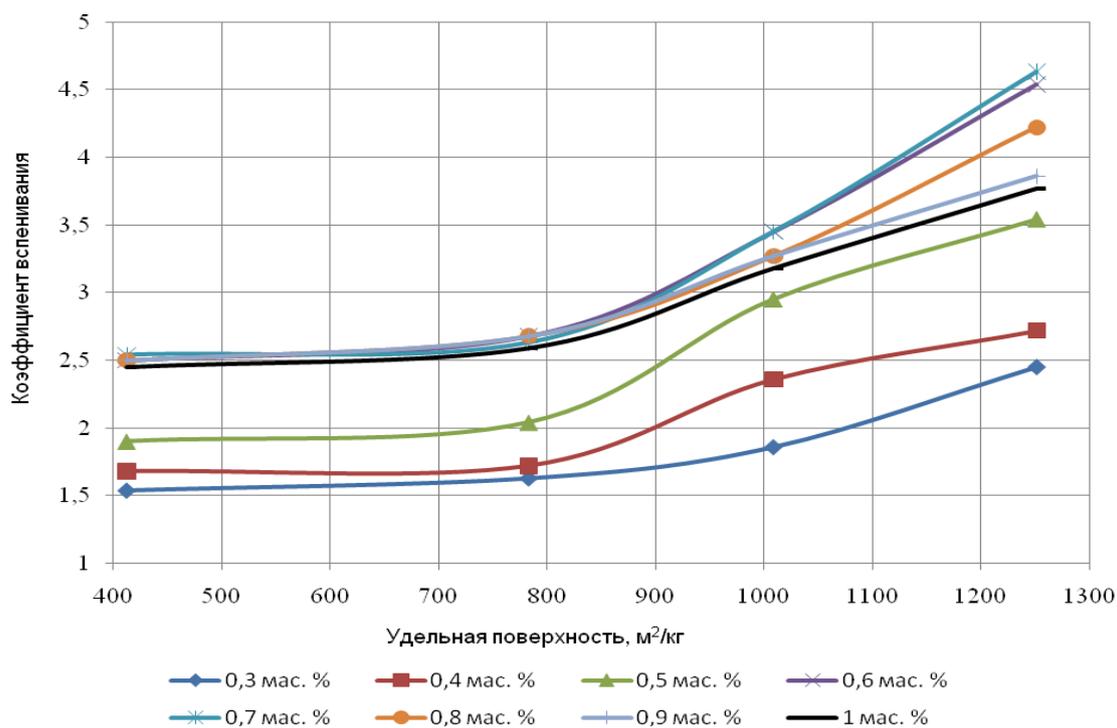


Рис. 3. Зависимость коэффициента вспенивания пеностекла от удельной поверхности стеклопорошка и количества газообразователя

Повышение дисперсности стеклопорошка при оптимальном содержании газообразователя позволяет сократить продолжительность вспенивания образца в печи. Если при использовании стеклопорошка с удельной поверхностью 500–700 м²/кг продолжительность выдержки при вспенивании составляла 40 мин [2], то для стеклопорошка с удельной поверхностью 1000–1200 м²/кг было достаточно 20 мин. Температурно-временной режим вспенивания образцов в печи в зависимости от удельной поверхности стеклопорошка пред-

ставлен на рис. 4. Использование мелкодисперсной пенообразующей смеси позволяет снизить энергозатраты (вследствие сокращения продолжительности термообработки), а следовательно, уменьшить себестоимость конечного продукта.

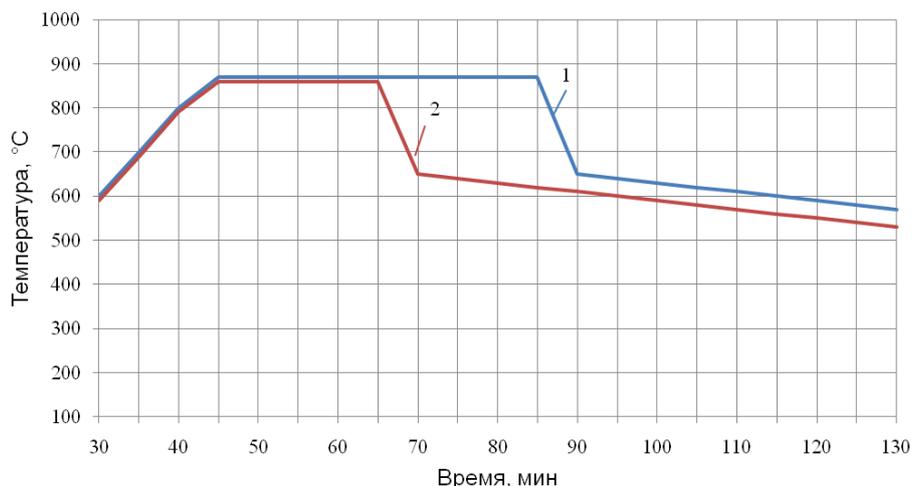


Рис. 4. Температурно-временной режим вспенивания образцов в печи в зависимости от удельной поверхности стеклопорошка: 1 – 500–700 м²/кг; 2 – 1000–1200 м²/кг

Основные технико-эксплуатационные свойства полученного пеностекла: прочность при сжатии 1,35–1,55 МПа, при изгибе 0,7–0,8 МПа, морозостойкость более 50 циклов, теплопроводность 0,05–0,06 Вт/(м·К), плотность 176 кг/м³, водопоглощение менее 5%. Следует отметить, что полученный материал обладает более высокими прочностными характеристиками, чем обычное пеностекло: прочность при сжатии выше на 0,2–0,4 МПа, а при изгибе – на 0,2–0,3 МПа. Общий вид и структура материала представлены на рис. 5.

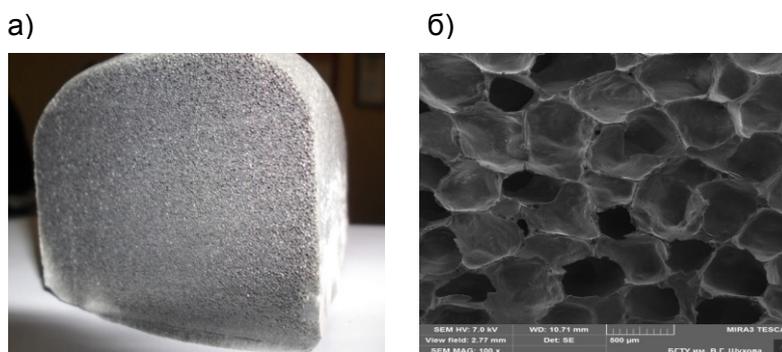


Рис. 5. Общий вид (а) и структура (б) полученного материала

Таким образом, использование мелкодисперсной пенообразующей смеси (удельная поверхность стеклопорошка 1000–1200 м²/кг) при содержании газообразователя 0,6–0,7% и оптимальных температурно-временных режимах вспенивания позволяет получать материал с равномерной мелкопористой структурой, отличающийся высокими теплофизическими и прочностными характеристиками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крупа А. А. Физико-химические основы получения пористых материалов из вулканических стекол. – Киев: Вища школа, 1978. – 136 с.
2. Демидович Б. К. Производство и применение пеностекла. – Минск: Наука и техника, 1972. – 304 с.
3. Горлов Ю. П., Меркин А. П., Усенко А. А. Технология теплоизоляционных материалов. – М.: Стройиздат, 1980. – 399 с.
4. Пучка О. В., Минько Н. И. Пеностекло. Научные основы и технология: учеб. пособие. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2009. – 162 с.
5. Ходаков Г. С. Основные методы дисперсионного анализа порошков. – М.: Стройиздат, 1968. – 200 с.

REFERENCES

1. Krupa A. A. *Fiziko-khimicheskie osnovy polucheniya poristyykh materialov iz vulkanicheskikh stekol* [Physical-chemical basis for porous materials of volcanic glasses]. Kiev: Vyshcha shkola, 1978, 136 p (in Russian).
2. Demidovich B. K. *Proizvodstvo i primeneniye penostekla* [Production and use of foam glass]. Minsk: Nauka i tekhnika, 1972, 304 p (in Russian).
3. Gorlov Yu. P., Merkin A. P., Usenko A. A. *Tekhnologiya teploizolyatsionnykh materialov* [The technology of thermal insulation materials]. Moscow: Stroyizdat, 1980, 399 p (in Russian).
4. Puchka O. V., Min'ko N. I. *Penosteklo. Nauchnye osnovy i tekhnologiya* [Foam glass. Fundamentals and technologies]. Belgorod: Izd-vo BGTU im. V. G. Shukhova, 2009, 162 p (in Russian).
5. Khodakov G. S. *Osnovnye metody dispersionnogo analiza poroshkov* [The basic methods of analysis of variance powders]. Moscow: Stroyizdat, 1968, 200 p (in Russian).

ФОТО- И РАДИАЦИОННО-ХИМИЧЕСКОЕ СТИМУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИДРАТАЦИИ И СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ОКСИДНЫХ СИСТЕМ

**Ю. С. Саркисов, Н. П. Горленко, О. М. Лоскутов,
Томский государственный архитектурно-строительный университет**

Ключевые слова: оксиды, лазерное излучение, ультрафиолетовое излучение, гамма-излучение, прочность, структура твердения

Key words: oxides, laser radiation, ultraviolet radiation, gamma radiation, durability, structure of hardening

Физические методы управления процессами гидратации и структурообразования дисперсных систем включают большой арсенал средств и методов воздействия на вещество с целью направленного изменения его физико-химических, технологических и эксплуатационных характеристик. Известно [1], что к ним относятся лазерные, радиационные, электрофизические, плазменные, механические и другие высокоэффективные способы регулирования свойств синтезируемых материалов.

Несмотря на то, что с момента создания лазера прошло немногим более 50 лет, бурное развитие прикладной электроники сопровождается демонстрацией широких возможностей применения лазеров в информационных системах, вычислительной технике, химии, машиностроении, электронике и других отраслях [2, 3]. В промышленности строительных материалов и строительстве лазеры практически не используются, а в химии и химической технологии вяжущих веществ наши работы были одними из первых [3, 4]. Воздействие ультрафиолетовым и гамма-излучениями известно давно, однако влияние этих видов излучений на процессы гидратации и структурообразования оксидных систем и других вяжущих изучено недостаточно, и механизм такого влияния до конца не выяснен.

В настоящей работе исследовано влияние на кинетику рассматриваемых процессов лазерного, ультрафиолетового и гамма-излучений. Следует особо подчеркнуть, что все эти виды излучений имеют одинаковую физическую природу, но разную частоту волнового движения [5], поэтому сопоставление результатов их взаимодействия с веществом приобретает особый интерес.

Эксперименты проводили на образцах диаметром и высотой $(15 \times 15) \cdot 10^{-3}$ м с оптимальными показателями содержания воды в исходной массе, степени уплотнения и дисперсности. При изучении влияния импульсного лазерного излучения плотность энергии варьировали от 2 до 12 Дж при длительности импульса 1 мс, а в случае непрерывного излучения – от 99 до 990 Дж при длительности воздействия излучения на образец от 3 до 30 с. Исследование влияния дозы гамма-излучения проводили в интервале времени от 10 до 10^3 с при экспозиционной дозе от 1200 до 6200 Кл/кг. Энергию ультрафиолетового излучения изменяли от 500 до 2000 Дж при экспозиции от 2 до 15 мин. О характере изменения прочности структур твердения с увеличением дозы импульсного лазерного излучения можно судить по данным, представленным на рис. 1 и 2, из которых видно, что исследуемые зависимости носят экстремальный характер. На рис. 3 и 4 приведены