УДК 624.148:666.189.3

А.Д. ОРЛОВ, канд. техн. наук (aorlov2004@yandex.ru)

Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций им. В.А. Кучеренко
(109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6)

Оптимизированная одностадийная технология гранулированного пеностекла на основе низкотемпературного синтеза стеклофазы

Рассмотрены основные принципы разработки и оптимизации пеностекольных и пеностеклокристаллических материалов методом низкотемпературного синтеза стеклофазы на основе кремнистых опал-кристобалитовых пород. Приведен краткий сравнительный обзор основных технологий производства гранулированного пеностекла. В качестве критериев оптимальности одностадийных технологий пеностекла предлагаются суммарные затраты на щелочесодержащие сырьевые компоненты, а также на суммарные технологические энергозатраты на вспенивание и сушку. Дано описание и обоснование разработанной оптимизированной одностадийной технологии гранулированного пеностекла, основанной на получении сырцовых гранул (шихты) путем гранулирования тонкомолотого кремнеземистого компонента с натрийсодержащим связующим раствором на основе силикатов и других водорастворимых солей натрия. Приведены основные свойства полученных гранулированных пеноматериалов и технико-экономические преимущества разработанной технологии.

Ключевые слова: гранулированное пеностекло, опал-кристобалитовые породы, пеностеклокерамика, низкотемпературный синтез стеклофазы, диатомит, трепел, опока, цеолит.

A.D. ORLOV, Candidate of Sciences (Engineering) (aorlov2004@yandex.ru)
Central Research Institute of Construction Structures named after V.A. Kucherenko (6, Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

Optimization of One-Stage Technology of Granulated Foam Glass on the Basis of Low-Temperature Synthesis of Glass Phase

Basic principles of the development and optimization of foam-glass and foam glass crystalline materials by the method of low-temperature synthesis of a glass phase on the basis of siliceous opal-crystobalite rocks are considered. A brief comparative review of basic technologies of granulated foam glass manufacturing is presented. Total expenditure for alkali-containing raw components as well as total technological energy consumption for foaming and drying are offered as criteria of the optimality of foam glass one stage technologies. The description and substantiation of the developed optimized one-stage technology of granulated foam glass based on producing raw granules (batch) by means of granulating the fine ground siliceous component with the sodium-containing binding mortar on the basis of silicates and other water-soluble sodium salts are given. Main properties of obtained granulated foam materials and technical-economical advantages of the developed technology are presented.

Keywords: granulated foam glass, opal-crystobalite rocks, foam glass-ceramic, low-temperature synthesis of glass phase, diatomite, tripoli, gaize, zeolite.

В последние годы повысился интерес к гранулированному пеностеклу и аналогичным материалам, применяемым как в виде засыпки, так и в качестве особо легкого заполнителя бетонов и других строительных композитов [1]; в стадии реализации находится ряд крупных проектов по производству гранулированного пеностекла.

Возможность массового применения этого материала в строительстве зависит прежде всего от себестоимости, которая определяется сырьевой компонентой (до половины себестоимости готового продукта), и во вторую очередь, технологическими энергозатратами. Соответственно составы и технология производства гранулированного пеностекла должны изначально проектироваться исходя из критерия минимизации себестоимости.

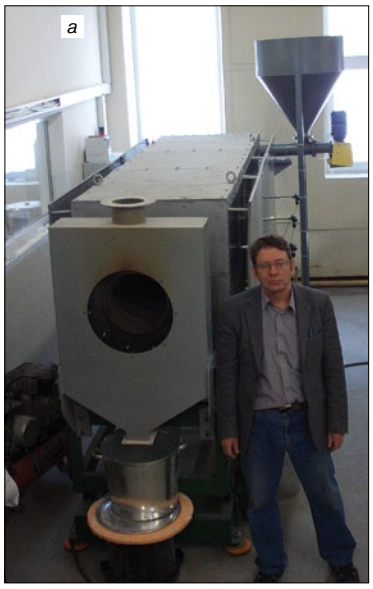
Высокая стоимость как покупного стеклобоя, так и гранулята, сваренного в ванных печах, объективно связана с высокими энергозатратами и капиталоемкостью стекловарения, а также с ограниченностью ресурсов стеклобоя, несопоставимых с потребностью строительной отрасли в легких заполнителях для бетона [2]. Так, расчетная себестоимость собственного производства стеклогранулята существенно превышает стоимость покупного тарного стеклобоя, составляя не менее 12–13 тыс. р/т (в ценах 2013 г.), что целесообразно только при производстве более дорогого блочного пеностекла.

Компромиссный вариант двухстадийной технологии, разработанный и апробированный в Томском политехническом университете [3], – замена варки стеклогранулята фриттованием тонкомолотой смеси сырьевых компонентов шихты снижает себестоимость полуфабриката в лучшем случае до уровня цены на покупной стеклобой.

Альтернативой двухстадийной технологии производства пеностекла являются технологии низкотемпературного синтеза стеклофазы на основе опал-кристобалитовых пород, содержащих высокоактивный и частично гидратированный аморфный кремнезем, способный реагировать с растворами щелочей и вступать в реакции стеклообразования при пониженной температуре [4], однако высокая цена едкого натра (не менее 35 тыс. р/т в ценах 2013 г.) обесценивает преимущества одностадийного процесса.

Отдельным направлением является интеграция технологий пеностекла и пеностеклокерамики в техноло-

Рис. 1. Пеностекло, полученное по технологии прямого синтеза



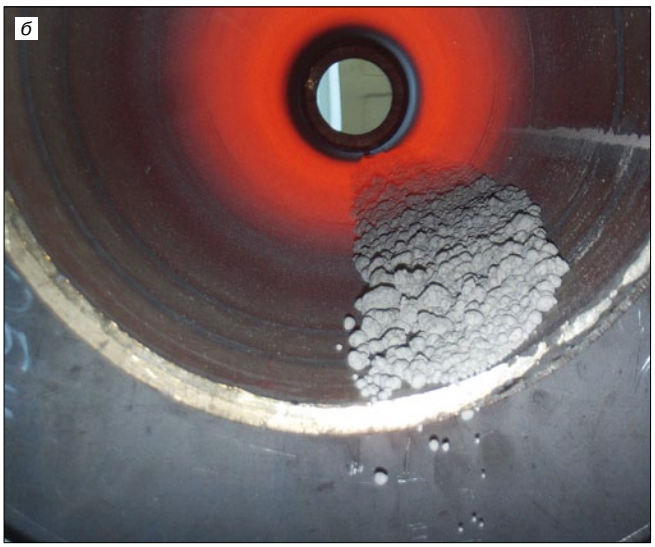


Рис. 2. Печь: общий вид установки (*а*); в процессе испытания с неполной загрузкой, без питателя (*б*)

гические циклы глубокой химической переработки горных пород [5], где в качестве щелочесодержащего сырья также используется едкий натр.

Очевидный путь снижения стоимости сырьевой составляющей – отказ от едкого натра как основного щелочного сырья и введение оксида натрия через кальцинированную соду и продукты ее переработки.

В частности, работы по синтезу пеностекольных материалов на основе кремнистых пород и силикат-глыбы проводились в ГИС под руководством Д.Л. Орлова в 2005–2008 гг. по договору с ООО «Экспресстройиндустрия» (Тамбов) и были реализованы в опытно-промышленном масштабе при производстве материала «Трегран».

Существенный недостаток пеностекла из стеклобоя тарного и листового состава – низкая щелочестойкость, ограничивающая его применение в строительных композитах (бетонах) на основе портландцемента.

Использование кремнистых пород с повышенным (до 10%) содержанием глинозема и снижение доли щелочей и щелочных земель по сравнению с составами тарных и листовых стекол существенно повышает химическую стойкость, особенно в щелочной среде, и снижает ТКЛР стеклофазы, что позволяет заметно ускорить отжиг блочного материала и упростить стабилизацию и студку гранулированного пеноматериала. Этому же способствует присутствие в кремнистых породах 5% глинозема и более .

Фундаментальным критерием технической и экономической эффективности технологии гранулированных пеноматериалов являются затраты на энергоресурсы. Поскольку расход тепла на вспенивание примерно одинаков для всех технологий и определяется теплоемкостью стекла и температурой вспенивания, критерием оптимальности технологии будет расход тепла на операциях сушки.

Так, если расход тепла на вспенивание (без учета теплопотерь) составляет около 900 кДж/кг (250 кВтч/т), то расход тепла при мокрой технологии с распылительной сушкой 50% суспензии составит 2300 кДж/кг (630 кВтч/кг), не считая энергозатрат на сушку сырца после грануляции. На практике распылительная сушка полуфабриката дает прибавку себестоимости не менее 800–1000 р/т материала.

Приведенные выше направления и критерии проектирования составов и оптимизации технологий одностадийного синтеза пеностекла были реализованы в ходе исследований, проведенных автором в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко начиная с 2012 г.

В качестве альтернативы разработана «сухая» одностадийная технология гранулированного пеностекла. Она основана на совмещенном с получением сырцовых гранул смешивании высокодисперсного порошка опал-кристобалитовой породы с многокомпонентным натрийсодержащим раствором. Это обеспечивает максимальную площадь межфазной границы, многокомпонентность шихты на микроуровне, максимально равномерное распределение компонентов и, как следствие, обеспечивает стеклообразование при температуре, не выходящей за интервал вспенивания готовой стеклофазы.

В качестве жидкофазного компонента были использованы многокомпонентные щелочесиликатные растворы на основе силикатов натрия, взаимодействующие с высокодисперсным опалом в широком диапазоне температуры и образующие при нагревании и обезвоживании активную легкоплавкую стеклофазу, обеспечивающую более раннее формирование закрытоячеистой структуры и соответственно хорошее вспенивание и низкое объемное водопоглощение готового материала. Это позволило снизить содержание оксида натрия, минимально достаточное для получения закрытоячеистой структуры, до 9–11 мас. %, благодаря чему стеклофаза имеет повышенную щелочестойкость.

Поскольку исходная сырьевая смесь содержит достаточное количество химически связанной воды (гидросиликатов) в составе как связующего раствора, так и в составе опала, а также определенное количество карбонатов, входящих в состав диатомита, специальные газообразователи либо не требуются, либо играют вспомогательную роль, позволяя варьировать плотность материала без изменения основного состава шихты (сырца).

Ключевая особенность разработанной технологии – совмещение операций смешивания кремнеземистого компонента (молотого диатомита) и связующего раствора с получением сырцовых гранул. Это не только исключает операции переработки и транспортирования вязкой массы, склонной к твердению и налипанию, но и позволяет регулировать средний размер гранул в диапазоне 0,5–10 мм, получая продукт от 0,3 до 15 мм (рис. 1).

В качестве базового кремнеземистого сырья был использован диатомит Мурачевского месторождения (Калужская обл.) фракции 20–100 мкм (остаток на сите 0,1 мм не более 5%) и влажностью не более 3%.

Связующий раствор на основе силикатов натрия, содержащий необходимое для стеклообразования количество оксида натрия, смешивался с минеральным компонентом непосредственно в смесителе-грануляторе периодического действия, в результате чего получались сырцовые гранулы близкой к сферической формы, размер которых зависел в основном от соотношения твердой и жидкой фаз.

Гранулированная шихта (сырцовые гранулы) высушивалась до 3–5% влажности и вспенивалась по общепринятой технологии при температуре 850–1000°С во вращающейся лабораторной печи косвенного нагрева (рис. 2).

Свойства полученного материала определялись по методикам ГОСТ 9758–86 «Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний».

В результате оптимизации составов и технологии пеностекла прямого синтеза были получены следующие показатели:

- массовая доля Na_2O – 9–11%;
- насыпная плотность (для фракции 5–15 мм) – 140–180 кг/м^3;
- прочность на сжатие в цилиндре – 0,7–1 МПа (для фракции 5–15 мм –180 кг/м^3) до 7 МПа (фракция 0,5–1 мм – 400 кг/м^3);
- объемное водопоглощение не более 2%;
- фракционный состав вспененного гранулята от 0,2 до 15 мм с возможностью регулирования преобладающей фракции.

Как видно, основные целевые свойства полученного продукта соответствуют уровню гранулированного пеностекла, полученного по двухстадийной технологии.

При микроскопическом исследовании структура образцов представляет пену с ячейками до 1,5 мм и с глянцевыми стенками, что свидетельствует о высокой степени остеклования материала. Стенка ячейки представляет прозрачное (в стенках ячеек видны микропузырьки) вспененное стекло без заметного количества кристаллической фазы с включениями темноокрашенных примесных минералов.

Рентгенофазовый анализ также показал аморфный характер материала с незначительной примесью альфа-кварца. Электронно-микроскопическое исследование также показывает отсутствие заметного количества кристаллической фазы.

В настоящее время технология была успешно апробирована на диатомитах, трепелах и опоках других месторождений, а также на цеолитах.

По сравнению с пеностеклом, полученным по двухстадийной технологии, расчетная себестоимость 1м^3 материала может быть уменьшена не менее чем на 20–30% за счет удешевления сырьевой составляющей, снижения затрат топливно-энергетических ресурсов и сокращения числа технологических операций, что создает предпосылки для массового применения гранулированного пеностекла в строительстве.

В настоящее время исследования составов и способов получения гранулированного и блочного пеностекла на основе диатомитов продолжаются на уровне НИОКР. В ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко запущена опытная линия с гранулятором ТЛ-50: сырье – диатомиты, цеолиты, опоки, трепелы, туфы, перлиты; производительность лимитируется печью (50–60 кг/ч, 3 м^3/сут); с новой печью (рис. 2) плотность материала снизилась на 15–20%. Ведется проектирование опытно-промышленной линии производительностью 10 тыс м^3/г. На способ производства материала получен патент РФ на изобретение [6].

Список литературы

1. Давидюк А.Н. Легкие конструкционно-теплоизоляционные бетоны на стекловидных пористых заполнителях. М.: Красная звезда, 2008. 208 с.
2. Орлов Д.Л. Эксплуатационные свойства пеностекла и направления развития его производства // *Сб. докладов международной научно-практической конференции «Эффективные тепло- и звукоизоляционные материалы в современном строительстве и ЖКХ»*. 8–10 ноября 2006 г., Москва, МГСУ.
3. Казьмина О.В., Верещагин В.И., Семухин Б.С., Абияка А.Н. Низкотемпературный синтез стеклогранулята из шихт на основе кремнеземсодержащих компонентов для получения пеноматериалов // *Стекло и керамика*. 2009. № 10. С. 5–8.
4. Никитин А.И., Стороженко Г.И., Казанцева Л.К., Верещагин В.И. Теплоизоляционные материалы и изделия на основе трепелов Потанинского месторождения // *Строительные материалы*. 2014. № 8. С. 34–37.
5. Мелконян Р.Г. Аморфные горные породы и стекловарение. М.: НИА Природа, 2002. 266 с.
6. Патент РФ №2513807. Способ получения теплоизоляционных блоков / Васкалов В.Ф., Орлов А.Д., Ведяков И.И. Заявл. 23.07.2012. Опубл. 20.04.2014. Бюл. №11.

References

1. Davidyuk A.N. Legkie konstruktsionno-teploizolyatsionnye betony na steklovidnykh poristykh zapolnitelyakh. [Lightweight construction-insulating concrete on glassy porous aggregates]. Moskow: Krasnaya Zvezda. 2008. 208 p.
2. Orlov D.L. Operational properties of foamed glass and directions of development of its production. *Reports of the international scientific-practical conference «Effective heat and sound insulating materials in modern construction and housing and communal services»*. November 8–10, 2006. Moscow. MGSU. (In Russian).
3. Kaz'mina O.V., Vereshchagin V.I., Semukhin B.S., Abiyaka A.N. Low-temperature synthesis of granulated batches for foamglass materials based on siliceous components. *Steklo i keramika*. 2009. No. 10, pp. 5–8. (In Russian).
4. Nikitin A.I., Storozhenko G.I., Kazantseva L.K., Vereshchagin V.I. Heat-insulating materials and products on the basis of tripolis of Potanin deposit. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 8, pp. 34–37. (In Russian).
5. Melkonyan R.G. Amorfnye gornye porody i steklovarenie [Amorphous rocks and glass production]. Moskow: «NIA Priroda». 2002. 266 p.
6. Patent RF 2513807 Sposob polucheniya teploizolyatsionnykh blokov [A method for producing heat-insulating blocks]. Vaskalov V.F., Orlov A.D., Vedyakov I.I. Declared 23.07.2012. Published 20.04.2014. Bulletin No. 11. (In Russian).

Подписка на электронную версию журнала «Строительные материалы»®
http://ejournal.rifsm.ru/