

УДК 666.65

НОВОЕ ПЕНОСТЕКЛО НА ОСНОВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

**В. В. АРТАМОНОВ, Е. И. ГРИШКОВА,
Е. Н. ПОДДЕНЕЖНЫЙ, Я. О. ШАБЛОВСКИЙ**

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Введение

В настоящее время большое внимание уделяется разработке новых высокоэффективных теплоизолирующих материалов на основе силикатных систем, пригодных для теплоизоляции производственных и жилых помещений. Одним из требований к теплозащитным материалам является себестоимость их производства, экологическая чистота изделий, возможность использования материала внутри жилых помещений. Много внимания уделяется также возможности получения новых теплозащитных материалов с использованием бытовых и промышленных отходов [1].

Стандартная технология производства пеностекла заключается в следующем [2]–[6]. Силикатное натрий-кальциевое стекло измельчается (размер частиц ≤ 80 мкм), смешивается с пенообразующей добавкой углеродного типа, помещается в формы из жаропрочной стали и подвергается термообработке. При температуре 750–850 °С частицы стекла спекаются, и одновременно в системе происходит выделение газа, вспенивающего композицию.

Затем пеностекляные блоки извлекают из форм и помещают в печь отжига, где в течение 8–16 часов охлаждают со скоростью 0,6–1,5 °С/мин. Готовые блоки нарезаются на изделия требуемой формы. Недостатками этого процесса производства являются длительный (до 20 часов) производственный цикл и применение углеродных пенообразователей, в частности антрацита, содержащего в своем составе до 1,5 мас. % элементарной серы, снижающих экологическую безопасность материала и исключающих возможность его применения для внутренней отделки жилых и служебных помещений. Кроме того, в результате процесса разрезания и отформовывания блоков пеностекла заданной формы и размеров образуется большое количество отходов, доля которых доходит до 20 % от объема готовой продукции.

Цель настоящей работы – исследование возможности переработки бытового и промышленного стеклобоя в высокоэффективные теплоизоляционные материалы без применения традиционных карбонатных и углеродсодержащих вспенивателей.

Экспериментальная часть

Авторами разработан упрощенный и удешевленный способ производства пеносиликатного материала из отходов (стеклобоя) при одновременном повышении его экологической безопасности за счет отказа от применения углеродных пенообразователей [7].

Поставленная задача решается тем, что для получения пеностекла из отходов вначале готовят порошкообразную смесь стеклобоя и метасиликата натрия, добавляют в нее воды, нагревают и вспенивают в муфельной печи при температуре 700–750 °С. Исходную порошкообразную смесь готовят при следующем соотноше-

нии компонентов, мас. %: стеклобой 60–70, метасиликат натрия 30–40. При этом воду добавляют до влажности 5–20 %, а полученную смесь перед нагреванием укладывают в форму.

Варьирование долевого содержания метасиликата натрия в сухой шихте от 30 до 40 мас. % позволяет варьировать диаметр пор пеностекла от 0,5 мм до 3,5 мм, тем самым изменяя коэффициент теплопроводности материала от 86 до 34 мВт/(м · °К). Смесь стеклобоя и сухого метасиликата натрия Na_2SiO_3 (ТУ 6-09-5337-87) размалывают в шаровой мельнице, просеивают через сито с диаметром ячейки не более 100 мкм, засыпают в механическую мешалку и добавляют в барабан мешалки воду в количестве, обеспечивающем влажность смеси от 5 до 20 %. После перемешивания в течение 15 мин шихту выкладывают в металлическую форму, внутренние стенки которой предварительно покрывают алюминиевой фольгой или раствором глины во избежание прилипания пеностекла к форме. Форму с шихтой выдерживают в течение 1–1,5 ч при температуре 70 °С, а затем нагревают со скоростью 400 °С/ч до 700 °С и выдерживают в печи 20 мин. После этого остужают печь до температуры не выше 200 °С и вынимают пеностекло из формы. Весь цикл производства пеностекла занимает до трех часов (рис. 1). На выходе получают пеностекло светло-зеленого цвета (рис. 2).

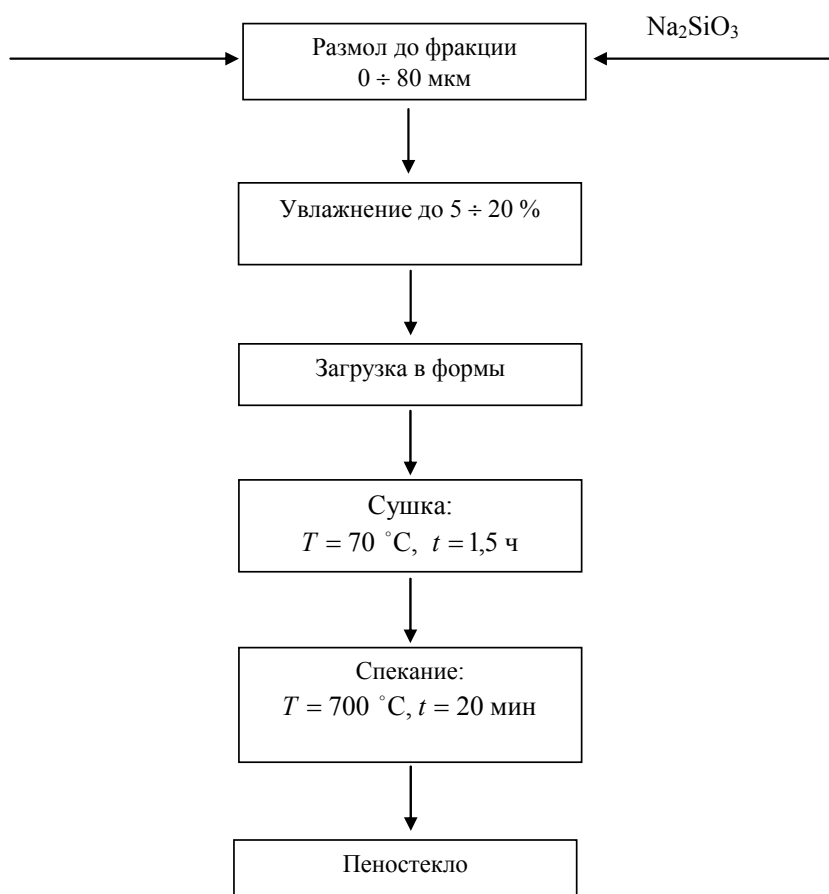


Рис. 1. Цикл производства вспененного теплоизолирующего материала



Рис. 2. Микрофотография скола пеностекла

Теплопроводность полученного вспененного материала получена расчетным путем. Расчет теплопроводности пористой среды обычно основывается на моделировании такой среды системой сферических ячеек. При пористости $\pi < 0,74$ газовые ячейки в жидкой пене не соприкасаются и потому действительно являются сферическими. Полученное нами пеностекло имеет более высокую пористость ($\pi > 0,8$), вследствие чего его ячейки суть не сферы, а многогранники.

В основу расчета теплопроводности такой пены была положена модель Рибо [8]: пористое тело рассматривалось как среда с периодически расположенными кубическими полостями (рис. 3). При этом элементарной ячейкой этой модельной структуры служил куб с ребром $R = d + \delta$, где d – диаметр полости твердой пены, δ – толщина межполостной стенки в ней.

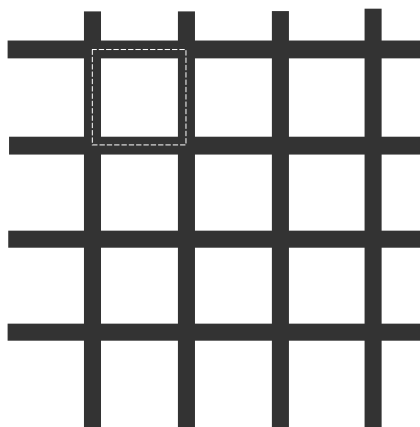


Рис. 3. Сечение модели Рибо, использованное при расчете теплопроводности пеностекла. Пунктиром показано сечение элементарной ячейки модели

В соответствии с методикой [9], [10] расчета теплопроводности среды с периодическими включениями рассматривалась квадратная область $0 \leq x \leq L$, $0 \leq y \leq L$ (где $L = R/2$), представляющая собой одну четверть сечения элементарной ячейки плоскостью, перпендикулярной ее граням. Температурное поле $T(x, y)$ в этой области описывается дифференциальными уравнениями

$$\frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial y^2} = 0, \quad \begin{matrix} 0 \leq x \leq l, \\ 0 \leq y \leq l, \end{matrix} \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 T'_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T'_2}{\partial y^2} = 0, \quad \begin{matrix} l \leq x \leq L, \\ 0 \leq y \leq l, \end{matrix} \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 T_2''}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2''}{\partial y^2} = 0, \quad 0 \leq x \leq L, \quad l \leq y \leq L. \quad (3)$$

Здесь T_1 – температура области $0 \leq x \leq l$, $0 \leq y \leq l$; T_2' – температура области $l \leq x \leq L$, $0 \leq y \leq l$; T_2'' – температура области $0 \leq x \leq L$, $l \leq y \leq L$, где $l = d/2$. При этом предполагается, что тепловой поток параллелен секущей плоскости элементарной ячейки, и принимаются граничные условия:

$$\left. \frac{\partial T_1}{\partial x} \right|_{x=0} = \left. \frac{\partial T_2''}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial T_2'}{\partial x} \right|_{x=L} = \left. \frac{\partial T_2''}{\partial x} \right|_{x=L} = 0, \quad (4)$$

$$T_1|_{x=l} = T_2'|_{x=l}, \quad T_1|_{y=l} = T_2'|_{y=l} = T_2''|_{y=l}, \quad T_1|_{y=0} = T_2'|_{y=0}, \quad (5)$$

$$\left. \frac{\partial T_2'}{\partial y} \right|_{y=l} = \left. \frac{\partial T_2''}{\partial y} \right|_{y=l}, \quad \lambda_0 \left. \frac{\partial T_1}{\partial x} \right|_{x=l} = \lambda_1 \left. \frac{\partial T_2'}{\partial x} \right|_{x=l}, \quad \lambda_0 \left. \frac{\partial T_1}{\partial y} \right|_{y=l} = \lambda_1 \left. \frac{\partial T_2''}{\partial y} \right|_{y=l}, \quad (6)$$

где λ_0 – коэффициент теплопроводности материала включений; λ_1 – коэффициент теплопроводности материала межполостных стенок.

Решение системы уравнений (1)–(3) совместно с условиями (4)–(6) дает температурное поле $T(x, y)$ и тепловой поток

$$q = -\lambda_1 \int_0^l \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=l} dx.$$

Искомый коэффициент теплопроводности:

$$\lambda = \frac{q}{T|_{y=0} - T|_{y=l}}.$$

Результаты, к которым привел расчет по упомянутой методике [9], [10], были дополнительно обработаны в соответствии с методом равноправных компонентов Миснара [11].

Характеристики пеностекла, полученные расчетно-экспериментальным путем, приведены в таблице.

Средний размер ячейки, мм	Пористость	Коэффициент теплопроводности, мВт/(м · °К)
0,5	0,81	85,7
1,0	0,89	45,7
3,0	0,906	38,8
3,5	0,925	33,9

Заключение

1. Разработан новый способ изготовления экологически чистого пеностекла на основе промышленных и бытовых отходов (стеклобоя), отличающийся от существующих пониженными температурами вспенивания (700–750 °С) и отсутствием углеродных пенообразователей.

2. Полученный материал обладает низкой теплопроводностью, улучшенными физико-механическими характеристиками (пониженной хрупкостью), высокой водостойкостью.

3. Пеностекло в виде блоков, пластин, гранул может применяться в строительстве, теплоэнергетике, машиностроении как тепло-, звукоизолирующий материал при эксплуатации в диапазоне от -50 до 600 °С.

Литература

1. Производство теплоизоляционных пеносиликатных материалов / В. Ф. Павлов [и др.]. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 1999. – С. 5–35.
2. Демидович, Б. К. Производство и применение пеностекла / Б. К. Демидович. – Минск : Наука и техника, 1972. – С. 304.
3. Демидович, Б. К. Пеностекло / Б. К. Демидович. – Минск : Наука и техника, 1975. – С. 248.
4. Способ получения блоков пеносиликата : пат. РФ № 2225373, МКИ С 03 С 11/00. / А. А. Кетов, И. С. Пузанов, М. П. Пьянков, Д. В. Саулин ; опубл. 10.03.2004.
5. Patent US 4826788, C03B 19/08. Composition for producing foamed glass molded products. Heinz Dennert, Hans V. Dennert, Alois Seidl. Published 2.05.1989.
6. Patent GB 1002786, C03B. Process of producing foamed glass and insulating material produced by this process. Hermann Kreidl. Published: 25.08.1965.
7. Способ получения пеностекла : пат. Респ. Беларусь № 11711, МПК С03С 11/00, С03В 19/08. / А. А. Бойко, Е. И. Гришкова, Я. О. Шабловский, Е. Н. Подденежный ; опубл. 22.12.2008.
8. Чудновский, А. Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов / А. Ф. Чудновский. – Москва : ГИФМЛ, 1962. – С. 82.
9. Дульнев, Г. Н. Теплопроводность смесей и композиционных материалов / Г. Н. Дульнев, Ю. П. Заричняк. – Ленинград : Энергия, 1974. – С. 21–25.
10. Бахвалов, Н. С. Осреднение процессов в периодических средах / Н. С. Бахвалов, Г. П. Панасенко. – Москва : Наука, 1984. – 352 с.
11. Missenard A. Conductivité thermique des solides, liquides, gaz et de leurs mélanges. Paris: Eyrolles, 1965.

Получено 10.02.2009 г.