

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 4640-2011. Вата минеральная. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 2012. – 10 с.
2. Рабинович Г.Д., Слободкин Л.С., Куц П.С. Тепло- и массообмен в сушильных и термических процессах. Минск: Наука и техника, 1966. – 334 с.
3. Лыков А.В. Теория сушки. М.: Энергия, 1968. – 472 с.
4. Лыков М.В. Сушка в химической промышленности. М.: Химия, 1970. – 429 с.

Самойленко Вячеслав Владимирович, старший научный сотрудник лаборатории материаловедения минерального сырья Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), 659322, Алтайский край, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1. Дом. адрес: 659322, Алтайский край, г. Бийск, ул. Декабристов, д. 4, кв. 43. Раб. тел. (3854) 30-59-06. E-mail:

labmineral@mail.ru.

Фирсов Вячеслав Викторович, инженер лаборатории материаловедения минерального сырья Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), 659322, Алтайский край, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1. Дом. адрес: 659305, Алтайский край, г. Бийск, ул. Ударная, д. 71, кв. 114. Раб. тел. (3854) 30-59-06. E-mail: labmineral@mail.ru.

Татаринцева Ольга Сергеевна, д-р техн. наук, доцент, зав. лабораторией материаловедения минерального сырья Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), 659322, Алтайский край, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1. Дом. адрес: 659322, Алтайский край, г. Бийск, ул. Декабристов, д. 10/1, кв. 36. Дом. тел. (3854) 30-51-63, раб. тел. 30-58. E-mail: labmineral@mail.ru.

УДК 691.618.93

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ С ЖЕСТКОЙ ЯЧЕИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

Т.К. Углова, С.Н. Новоселова, О.С. Татаринцева

Показана принципиальная возможность изготовления теплоизоляции с жесткой ячеистой структурой на неорганическом сырье по энергосберегающей технологии.

Ключевые слова: жидкое стекло, микрокальцит, аэросил, каолин, поризация, пеносиликат, плотность, теплопроводность, водопоглощение, прочность.

На постоянно развивающемся рынке теплоизоляции уже длительное время лидирующее место по эксплуатационным характеристикам занимает пеностекло. Его сотовая структура, состоящая из замкнутых стеклянных ячеек, обеспечивает неизменность прочностных и теплофизических характеристик материала в процессе эксплуатации, абсолютную биостойкость, низкое водопоглощение, негорючесть и экологическую безопасность. Препятствием для его широкого применения является высокая стоимость из-за значительного энерго- и трудоемкого производства [1].

Альтернативой пеностеклу может стать пеносиликат – материал с жесткой ячеистой структурой, изготовленный с использованием неорганического сырья по энергосберегающей технологии.

Реализовать идею создания такого материала представляется возможным при использовании в его составе водорастворимых

силикатов щелочных металлов (натриевого или калиевого жидкого стекла). Известно, что выпускаемое промышленностью жидкое стекло за счет содержащегося в нем нанодисперсного аморфного кремнезема при температурной обработке способно структурироваться с образованием пор, разделенных межпоровыми перегородками. Качество получаемой структуры непосредственно связано со способом удаления присутствующей в избыточном количестве (50–60 %) химически несвязанной воды. Неравномерное или с высокой скоростью ее удаление приводит к образованию крупнопористой, часто с межпоровыми «дырами», структуры. Эффективным способом стабилизации процесса является изменение содержания твердой фазы в жидкостекольной композиции, которое достигается модификацией жидкого стекла кремнеземом в виде измельченной силикат-глыбы и выражается через степень модификации (процент сухого

стекла).

Вторым, хорошо известным способом создания твердой фазы в жидковязких композициях, является введение различных минеральных наполнителей. Эффект от их применения определяется контактным взаимодействием наполнителя со связующим: чем поверхность первого больше, тем меньшее его количество требуется для равномерного распределения жидкой фазы в смеси и стабилизации процесса удаления свободной воды.

В целях создания материала с бездефектной ячеистой структурой в настоящей работе были использованы оба эти приема.

В соответствии с литературными данными [2–4] для ячеистых теплоизоляционных материалов оптимальной следует считать структуру с равномерно распределенными в ней полидисперсными по размеру порами, разделенными тонкими, плотными перегородками. Полидисперсный характер распределения по размерам обеспечивает высокую вероятность размещения пор меньшего диаметра между более крупными и способствует созданию рационально упакованной структуры. Состояние межпоровых перегородок определяет прочностные характеристики структуры и материала в целом. При значительных отклонениях по их толщине происходит недобор прочности, так как после быстрого разрушения более тонких перегородок нагрузка перераспределяется на оставшиеся, вызывая их преждевременное разрушение.

В качестве наполнителя жидкостекольной композиции была использована базальтовая чешуя (далее по тексту Б.ч.). Согласно рентгенофазового анализа основной состав базальтовой чешуи представлен стеклом, обеспечивающим ее экологическую и пожарную безопасность. Состоит она из отдельных пластинок толщиной от 1 до 3 мкм, средним диаметром 20–300 мкм с краями произвольной («рваной») формы. Эксперименты показали, что положительный эффект от дисперсного армирования базальтовой чешуей композиций проявляется только при низких степенях наполнения. Так как низкая насыпная плотность и хаотичное расположение частиц в слое обеспечивается за счет их заряженности и запасов поверхностной энергии, а при контакте с жидким стеклом происходит сток электрического заряда, чешуйки укладываются параллельно в горизонтальной плоскости, система расслаивается и не поддается перемешиванию при концентрации наполнителя более 7 % масс.

Для предотвращения этого необходимо

или включение в процесс предварительной грануляции с частичным удалением свободной воды, или введение второго минерального наполнителя с другой формой частиц и более высокой дисперсностью, который дополнительно увеличит концентрацию твердой фазы, снизит степень прямого взаимодействия чешуи с жидким стеклом, вытеснит жидкую фазу из возможных застойных зон, за счет чего улучшится равномерность ее распределения по объему. Это стабилизирует систему и замедлит седиментационные процессы.

Второй способ считаем более перспективным из-за сложности технологической реализации первого, включающего формирование гранул со стабильными заданными свойствами.

В качестве дополнительного наполнителя были исследованы: микрокальцит, полученный измельчением мрамора, с размером частиц от 0,5 до 5 мкм, аэросил марки «А-380» – аморфный нанопорошок с диаметром частиц 5–40 нм и каолин, состоящий из гексагональных пластинок размером 0,2–4,8 мкм. Особенность последнего заключается в том, что он, обладая гидрофильными свойствами, легко диспергируется при смешении с жидким стеклом.

Параллельно с компоновкой рецептур композиций велась отработка технологии получения образцов пеносиликата. Было установлено, что процесс изготовления должен включать смешение компонентов, формование образца, поризацию и высокотемпературную обработку. Для получения однородной массы оказалось достаточным смешение составляющих в течение 35–45 мин при комнатной температуре с помощью лопастного смесителя типа «Беккен». Формование образца проводили заполнением массы в металлическую форму открытого типа. Количество смеси рассчитывали исходя из заданной плотности и объема образца. При отработке режимов поризации было установлено, что термообработка композиций с карбонатом кальция при температуре 250 °С приводит к получению образцов с большими межпоровыми «дырами». А при 200 °С – формируется крупнопористая структура.

Оптимальным режимом поризации оказался ступенчатый: нагревание в открытой форме при 100 °С, а затем при 200 °С с последующей выдержкой при этой температуре. После чего образец распрессовывался и в свободном состоянии термостатировался при 450 °С. Время прохождения стадий термооб-

работки определяется габаритами изделия и подбирается для каждого отдельного вида экспериментально.

После поризации при температуре 200 °С образцы имеют сформированную бездефектную структуру, но характеризуются низкой влагостойкостью. Это можно объяснить недостаточной температурой для перехода жидкостекольной композиции в нерастворимую структуру. Дополнительное термостатирование при 450 °С исключает эту проблему. Способ охлаждения образцов не оказывает влияния на их качество.

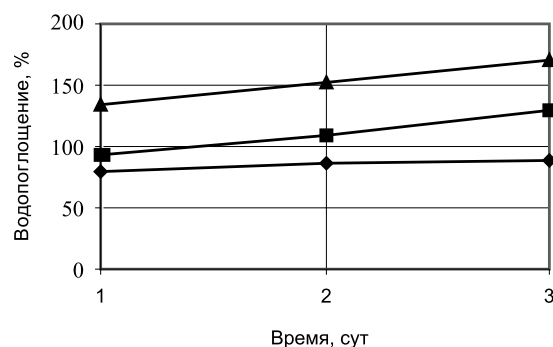
Образцы, имеющие структуру без межпоровых «дыр» и полостей, были получены при определенном соотношении компонентов с участием каждого вышеуказанного минерального наполнителя (таблица 1).

Таблица 1 – Композиции пеносиликатов

Показатель и характеристики	Значение показателя и характеристики с наполнителем		
	микрокальцит	аэросил	каолин
Степень наполнения, %	25,9	20,5	20,0
Содержание Б.ч., %	12,05	13,00	13,00
Соотношение Б.ч./наполнитель, отн. ед.	0,87	1,70	1,90
Степень модификации, %	23,8	20,8	21,2
Плотность, кг/м ³	300–400	250–290	260–270
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,085–0,092	0,078–0,082	0,073–0,078
Прочность при сжатии, МПа	1,20–2,00	0,76–0,92	1,19–1,21

Коэффициент теплопроводности определяли по ГОСТ 7076–99, плотность, водопоглощение и прочность при сжатии по ГОСТ 17177–94.

Из данных таблицы 1 видно, что введение микрокальцита приводит к формированию образцов с повышенной плотностью, прочностью и довольно высокой водостойкостью (рисунок 1).



—◆—микрокальцит; —■—каолин; —▲— аэросил
Рисунок 1 – Водопоглощение образцов пеносиликата

Использование нанодисперсного аэросила и высокодисперсного каолина обеспечило снижение общей степени наполнения и позволило сформировать образцы с плотностью менее 300 кг/м³. На композициях с аэросилом реализуются недостаточно высокие прочностные характеристики, что объясняется низкой ее способностью растекаться в неотвержденном состоянии, обуславливающей неравномерность распределения по объему формы и, как следствие, отрицательно влияющей на порообразование и свойства готовых изделий.

Введение каолина и незначительная корректировка по содержанию остальных компонентов привели к созданию композиции с необходимыми для заливки литьевыми свойствами. Достигнутый уровень реологических характеристик позволил за счет саморастекания массы образовывать в форме ровный по толщине слой, что, в свою очередь, способствовало равномерному протеканию процесса поризации и созданию бездефектной структуры образца.

Повышенное водопоглощение композитов с этими наполнителями по сравнению с кальцийсодержащим не является показателем низкой стойкости к воде, а объясняется повышенной пористостью материала. Подтверждением является факт, что после воздействия влаги и последующей сушки образцы сохраняют линейные размеры и не менее 90 % прочности. Для образцов с аэросилом при исходной прочности при сжатии 0,78 МПа после испытаний на водопоглощение значение характеристики составило 0,69 МПа, а с каолином 1,20 МПа и 1,17 МПа соответственно.

Результаты исследований структуры пеносиликатов с аэросилом и каолином с помощью оптического микроанализатора PIP 9.0 показали, что она состоит из открытых и за-

крытых пор, разделенных межпоровыми перегородками толщиной от 50 до 120 мкм (рисунок 2) при полидисперсном их распределении по диаметру (таблица 2).

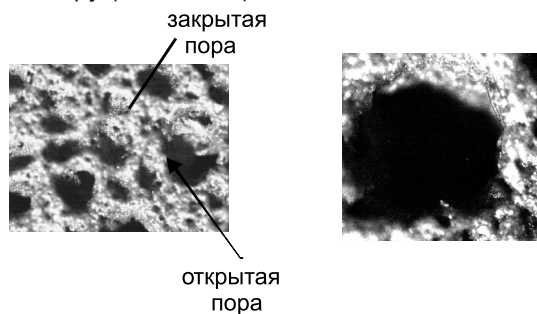


Рисунок 2 – Структура образца пеносиликата с каолином: а – поверхностный слой; б – единичная пора

Таблица 2 – Распределение пор по диаметру в структуре пеносиликата

Диаметр пор, мкм	Содержание в структуре пеносиликата, %	
	аэросил	Каолин
менее 100	20	54
100-200	34	26
более 200	46	20

За счет мелкопористости (54 % пор с диаметром ≤ 100 мкм) коэффициент теплопроводности и водопоглощение снизились, а суточное сорбционное увлажнение составило 2,7–2,8 % масс.

Подобранная степень модификации жидкостекольной композиции способствовала получению на этих образцах прочности при сжатии более 1 МПа.

Сравнение характеристик, реализуемых на образцах с каолином в пеносиликатах, полученных по традиционной технологии через стадию грануляции [5], показало, что разработанный материал не уступает ему по свойствам и даже имеет небольшие преимущества (таблица 3).

Таблица 3 – Характеристики образцов, полученных по разным технологиям

Наименование показателя	Значение показателя на образцах, изготовленных по технологиям	
	упрощенная	традиционная
Плотность, кг/м ³	260	300
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,073	0,083

Водопоглощение при полном погружении в воду на 1 сут, %	95	-
Прочность при сжатии, МПа	1,20	1,08

Таким образом, проведенные исследования показали возможность получения жестких ячеистых материалов хорошего качества по более дешевой упрощенной технологии без стадии предварительной грануляции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демидович, Б.К. Пеностекло. – Минск: Наука и техника, 1975. – 245 с.
2. Казьмина, О.В. Физико-химические закономерности получения пеностеклокристаллических материалов на основе кремнеземистого и алюмосиликатного сырья: автореф. дис. д.т.н.: Томск, 2010. – 43 с.
3. Борсук П.А., Лясс А.М. Жидкие самоотверждающиеся смеси. – М.: Машиностроение, 1979. – 255 с.
4. Береговой В.А., Королев Е.В., Береговой А.М., Еремкин А.И., Болтышева Т.А. // Строительные материалы. – 2006. – № 6. – С. 8–10.
5. Лотов В.А., Кутугин В.А., Ревенко В.В. Термопеносиликатные изделия на основе жидкого стекла и базальтовой чешуи // Сб. докл. VIII Всерос. науч.-практ. конф. «Техника и технология производства теплоизоляционных материалов из минерального сырья», Белокуриха, 21–23 мая. – Бийск: БТИ. АлтГТУ. – 2008. – С. 88–91.

Углова Татьяна Константиновна, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН). Тел. (3854) 30-59-06. E-mail: labmineral@mail.ru.

Новоселова Светлана Николаевна, канд. техн. наук, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН). Тел. (3854) 30-59-06. E-mail: labmineral@mail.ru.

Татаринцева Ольга Сергеевна, д-р техн. наук, доцент, зав. лабораторией Материаловедения минерального сырья Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН). Тел. 30-58-82. E-mail: labmineral@mail.ru.