

УДК 666.189.3

В.Ю. БОРОВОЙ, аспирант гр. А9-53 (ТПУ)

К.В. СКИРДИН, аспирант гр. А9-53 (ТПУ)

Научный руководитель О.В. КАЗЬМИНА, д.т.н., профессор (ТПУ)

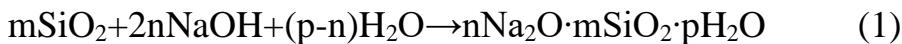
г. Томск

## ПОЛУЧЕНИЕ ПОРИСТОГО СТЕКЛОКОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ МИКРОКРЕМНЕЗЕМА И МАРШАЛИТА

На современном этапе развития строительной и химической промышленностей создание новых сооружений и промышленных мощностей невозможно без применения теплоизоляционных материалов. Так, по разным оценкам, общие затраты энергии, связанные с теплопотерями, варьируются в пределах 20-40%, что обуславливает значительные экономические издержки. Теплоизоляционные материалы позволяют снижать их, являясь перспективным направлением развития бережливого производства. Одним из лучших теплоизоляционных материалов, исходя из сочетания свойств долговечности, экологичности, негорючести и химической инертности, является пеностекло, применяемое для теплоизоляции магистральных нефтепроводов [1-2].

Производство пеностекла по традиционной методике, предполагающей использование в качестве основного сырья стеклобой, имеет ряд ограничений. Эти ограничения связаны с высокими требованиями к химической чистоте вторичного стеклобоя, необходимостью предварительной стадии высокотемпературного синтеза гранулята-сырца и ограниченностью объемов стеклобоя. В настоящее время ведутся разработки составов пеностекольных композиций на основе природного и техногенного кремнеземистого сырья, а также получения стеклокомпозитов по низкотемпературной методике на основе жидкостекольных композиций [3-5]. Синтез пеностекла и пеностеклокристаллических материалов на основе природного и техногенного сырья позволит снизить воздействие на экологию за счет использования отходов и снижения температуры синтеза.

Получение стеклокомпозита на основе кремнеземистого сырья наиболее перспективно по гидратному (гидротермальному) механизму, который позволяет исключить введение дополнительных газобразователей и производить вспенивание за счет давления нагретого водяного пара. Взаимодействие кремнезема с щелочью с образованием жидкостекольной композиции протекает согласно уравнению:



В качестве кремнеземистого сырья перспективно использование микрокремнезема, который при температурах порядка 80°C в течение 10-15 минут практически полностью реагирует с щелочью с образованием жидкостекольной композиции, являющейся в данном составе связующим. При этом микрокремнезем является техногенным отходом, объемы которого ограничены и зависи-

мы от объемов производства. В связи с этим перспективно использование природного кремнеземистого материала – маршалита. Важно подчеркнуть, что взаимодействие кремнезема с щелочью по гидратному механизму в данном составе в большей степени обусловлено взаимодействием преимущественно аморфного  $\text{SiO}_2$ , находящегося в микрокремнеземе. При этом кристаллический  $\text{SiO}_2$  маршалита химически более устойчив к действию щелочи и практически не взаимодействует по гидратному механизму. В то же время присутствие кремнезема в кристаллической форме увеличивает прочность материала.

Отношение  $\text{SiO}_2/\text{NaOH}$  соответствует эвтектической точке состава ( $788^\circ\text{C}$ ,  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}=4$ ) двухкомпонентной диаграммы  $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ . Химический состав маршалита Елбашинского месторождения и микрокремнезема Братского месторождения представлен в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав компонентов

Сырье	Содержание оксидов, мас.%				
	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$
микрокремнезем	97,8	0,50	0,40	1,3	-
маршалит	95,7	2,1	0,8	1,0	0,4

Технология синтеза материала включает приготовление раствора  $\text{NaOH}$  путем смешения кристаллической щелочи с горячей водой ( $95-98^\circ\text{C}$ ) с последующим введением смеси маршалита и микрокремнезема. Смесь тщательно перемешивается и выдерживается при комнатной температуре в течение 10 минут с последующим вспениванием при температурах до  $400^\circ\text{C}$ .

Разработанная технология получения теплоизоляционного материала позволяет получать либо гранулы, либо блоки (в зависимости от содержания воды). При этом свойства материала изменяются согласно данным рисунка 1.

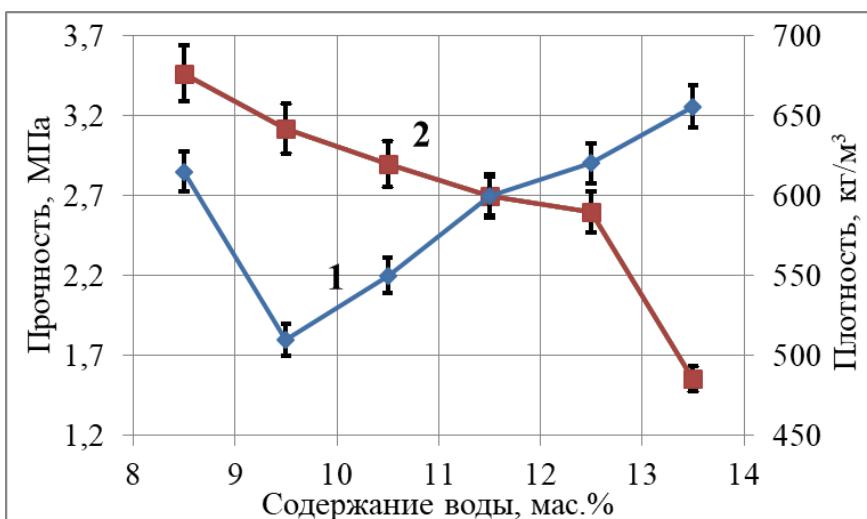


Рисунок 1. Зависимость изменения свойств стеклокомпозита от содержания воды (1 – плотность; 2 – прочность)

При содержании воды менее 10 мас.% сохраняется форма образцов; соответственно, возможно получение материала в виде гранул. При большем со-

держании воды образцы растекаются, вследствие чего требуется форма для получения материала в виде блоков.

Показанное на рисунке 1 увеличение плотности при содержании воды более 10 мас.% объясняется уменьшением вязкости композиции, приводящей к коагуляции мелких пузырьков с образованием более толстой и менее пористой межпоровой перегородки. Кроме того, снижение вязкости системы приводит к более свободному выходу пузырьков пара с объема материала, что приводит к потере выраженной пористой структуры. Полученные гранулы и пористая структура материала представлены на рисунке 2.

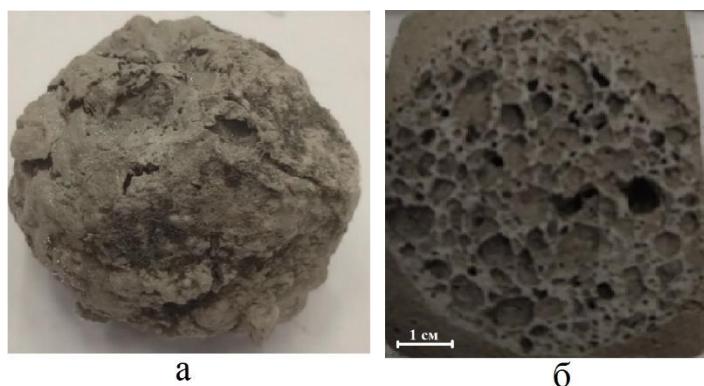


Рисунок 2. Пористый стеклокомпозит (а – гранулы; б – пористая структура)

Полученный материал обладает выраженной пористой структурой; при этом размеры пор в зависимости от содержания воды изменяются согласно графику (рисунок 3).

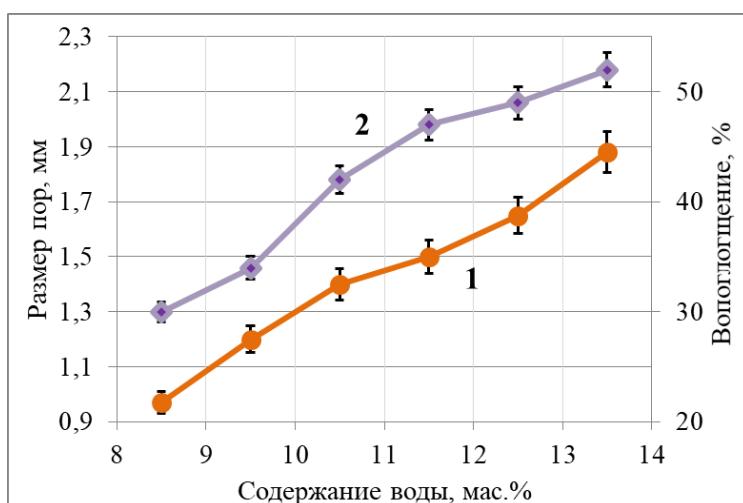


Рисунок 3. Зависимость изменения свойств стеклокомпозита от содержания воды (1 – размер пор, мм; 2 – водопоглощение, %)

Установлено, что водопоглощение материала варьируется в пределах 30-52%, что объясняется наличием системы сообщающихся пор. Получение пористого стеклокомпозита заданного состава с меньшим значением водопоглощения возможно в условиях синтеза при больших температурах (выше эвтектичес-

ской точки 798°C). В этом случае материал будет переходить в вязко-текучее состояние и остекловываться, образуя замкнутые поры.

Коэффициент прочности, рассчитываемый как отношение прочности материала к его плотности, для данного материала варьируется в пределах 0,22-0,62 отн. ед., достигая максимального значения в области пониженного содержания воды 8,5-10,5 мас.%. Снижение значения коэффициента прочности по мере увеличения содержания воды объясняется установленным увеличением плотности и снижением показателя прочности; оно также связано с уменьшением пористости за счет коагуляции и выхода мелких пузырьков. Установленные зависимости позволяют однозначно определить оптимальное содержание воды в диапазоне значений 8,5-10 мас.%.

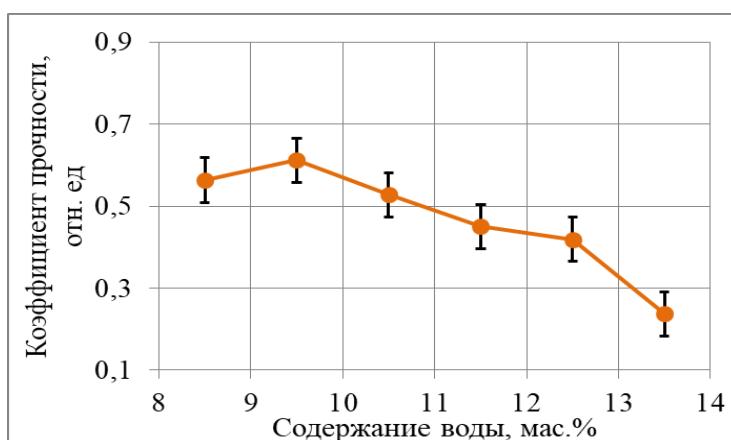


Рисунок 4. Зависимость коэффициента прочности от содержания воды

В результате эксперимента был получен теплоизоляционный материал с выраженной пористой структурой, пористостью порядка 70-85% и водопоглощением 30-50 % (см. рисунок 4) в блочном виде и в виде гранул с плотностью 500-670 кг/м<sup>3</sup> и прочностью 3,4-1,3 МПа.

#### Список литературы:

1. Избавление от сырьевой зависимости и современные направления развития экономики России / Денисова В.Д. [и др.] // Студент года 2017. – 2017. – С. 107-109.
2. Еремин В.В., Древаль А.Н., Трубченко Т.Г., Фигурко А.А., Скирдин К.В. Рентабельность малых наукоемких производств в России (на примере создаваемого производства антитурбулентных присадок (АТП)) // Фундаментальные исследования. 2017. № 7. С. 107-111. [Электронный ресурс] URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29771992> <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41594>
3. Казьмина О.В., Семенова В.И., Скирдин К.В. Состав сорбента и способ его получения. Патент на изобретение RU 2737728 C1, 02.12.2020. Заявка № 2020118279 от 03.06.2020.
4. Кинетика физико-химических процессов твердения пористого стеклокомпозита на основе жидкостекольного вяжущего при термообработке / Скирдин К.В.

// Система знаний: современные модели распространения научной информации: сборник научных трудов. – 2021. – 152-154 стр.

5. Повышение водостойкости пористого стеклокомпозита на основе жидкостекольного вяжущего обработкой HCL / Скирдин К.В. // Система знаний: современные модели распространения научной информации : сборник научных трудов. – 2021. – С. 155-157 стр.