

- ◆ повышение реализации вяжущих свойств каустического магнезита за счет увеличения гидратационной активности оксида магния и степени его преобразования в гидрооксихлоридные комплексы;
- ◆ уплотнение структуры камня вяжущего, формируемой при участии кристаллических и аморфных гидратов, различающихся по составу и строению;
- ◆ расширение возможностей регулирования гидратообразования и свойств материала ввиду повышенной чувствительности многокомпонентного вяжущего к изменению состава и способа приготовления;
- ◆ ресурсосбережение при производстве и применении вяжущего в результате замены значительной части дефицитного каустического магнезита техногенным материалом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Верещагин В. И., Смирнская В. Н., Эрдман С. В. Водостойкие смешанные магнезиальные вяжущие // Стекло и керамика. – 1997. – № 11. – С. 33–37.
2. Козлова В. К., Свит Т. Ф., Гришина М. Н. Фазовый состав водостойкого магнезиального камня // Резервы производства строительных материалов: Материалы междунар. науч.-техн. конф. – Барнаул, 1997. – С. 27–31.
3. Мирюк О. А., Ахметов И. С. Вяжущие вещества из техногенного сырья. – Рудный: Рудненский индустр. ин-т, 2002. – 250 с.
4. Росляков П. В., Ионкин И. Л., Егорова Л. Е. Система непрерывного мониторинга и контроля вредных выбросов ТЭС в атмосферу. – М.: МЭИ, 2000. – 158 с.

ШЛИКЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПОРИСТОГО СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ЯЧЕИСТОГО МАТЕРИАЛА

***М. А. Семин (semin@inbox.ru), А. А. Егоров, П. Н. Новоселова,
РХТУ им. Д. И. Менделеева, г. Москва***

Ключевые слова: высокопористые ячеистые материалы, шликерная технология, стекло пироксенового состава, реологические свойства шликера

Key words: porous highcell ceramization material, slip forming technology, pyroxene glasses, flow properties of slip

Технический прогресс невозможен без создания материалов с заранее заданными физико-механическими свойствами. К таким материалам относятся высокопористые ячеистые материалы (ВПЯМ). Сочетание конструктивной прочности, высокой проницаемости, низкого гидравлического сопротивления и развитой удельной поверхности обуславливает эффективность их применения в химической, металлургической, медицинской промышленности и других областях [1].

Актуальная проблема современной науки и техники – изыскание экономичных ВПЯМ, характеризующихся улучшенными физико-химическими и механическими свойствами. Одно из перспективных направлений создания новых видов ВПЯМ предполагает получение их на основе стеклокристаллических композиций. Технология производства таких материалов может обеспечить их заданные характеристики при относительно низкой температуре обжига. Использование недорогого сырья способствует снижению себестоимости готовой продукции.

В РХТУ им. Д. И. Менделеева ведется разработка стеклокристаллических ВПЯМ пироксеновой системы.

Для синтеза новых стеклокристаллических ВПЯМ применяли хорошо зарекомендовавший себя метод дублирования полимерной матрицы, который заключается в нанесении порошка стекла на поверхность органической структурообразующей матрицы с последующим спеканием этого слоя и удалением матрицы путем термодеструкции (см. схему) [2]. В качестве органической структурообразующей матрицы использован пенополиуретан, структура которого представляет собой пространственный каркас, образованный перемычками, имеющи-

ми в поперечном сечении форму криволинейного треугольника. Вследствие дублирования силикатный материал приобретал ячеистую структуру вспененного пенополиуретана, причем отличие состояло только в наличии микропористости и канальной пористости у готового образца [1].



Схема получения ВПЯМ

Варку стекла проводили в печи с газовым отоплением в корундовых тиглях в течение 2 ч. Температура варки составляла 1470–1500 °С. После варки получали гранулят быстрым охлаждением стекломассы в воде. Гранулят измельчали мокрым способом в шаровой мельнице с корундовыми шарами в полидисперсный порошок с размером частиц менее 10 мкм. Шликер состоял из дисперсной фазы (порошок стекла) и дисперсионной среды (поливиниловый спирт). Термообработку заготовок осуществляли в лабораторной печи с нагревателями из карбида кремния.

При разработке нового материала начальной стадией был выбор оптимального состава стекла. Известно, что каталитическая активность катализатора повышается при высокой удельной поверхности носителя [3]. Поскольку удельная поверхность стекловидных ВПЯМ недостаточна, было решено использовать стекло пироксенового состава, кристаллизующееся в процессе термообработки. Такой выбор был продиктован также необходимостью улучшения прочностных характеристик, снижения объемной усадки и повышения химической стойкости ВПЯМ, что позволило бы применять полученный материал при жестких условиях эксплуатации.

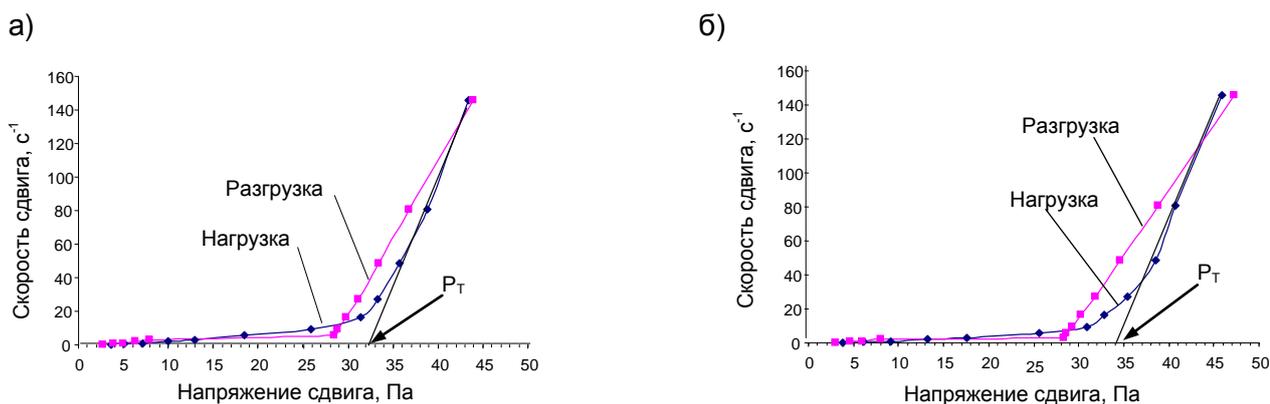
Для исследования была выбрана система $\text{CaO-MgO-SiO}_2\text{-Na}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ с добавками Cr_2O_3 в качестве стимулятора кристаллизации. Основная кристаллическая фаза стекол пироксенового состава представлена диопсидоподобными твердыми растворами. Свойства закристаллизованных стекол вполне удовлетворяют требованиям, предъявляемым к материалам для получения ВПЯМ. Важная особенность выбранного состава стекла заключается в том, что кристаллизация происходит с минимальными деформационными проявлениями, не сказывающимися на целостности ячеистой структуры [4].

Следующим, наиболее сложным этапом, стала разработка оптимальной шликерной системы. Шликерами называют высококонцентрированные суспензии порошков в жидкости. При шликерном литье, разновидностью которого является метод дублирования полимерной матрицы, шликеры должны характеризоваться низкой вязкостью, позволяющей пропитать куски пенополиуретана различной толщины с разными диаметрами ячейки, пределом текучести,

способствующим фиксации шликера вплоть до полного высыхания на произвольно ориентированной стенке перемишки пенополиуретана без стекания с нее, высоким содержанием дисперсной фазы, равномерным распределением дисперсной фазы в дисперсионной среде (отсутствием расслаивания). Следовательно, шликер должен обладать высокой начальной вязкостью, т. е. с увеличением нагрузки последняя должна снижаться. Этому условию удовлетворяют тиксотропные суспензии, проявляющие себя как неньютоновские структурированные жидкости, склонные к разрушению структуры под действием нагрузки [1].

Наибольшее влияние на реологию дисперсных систем оказывает твердая фаза. Как показала практика, для получения текучей тиксотропной псевдопластической устойчивой шликерной системы частицы дисперсной фазы должны иметь округлую форму и размер 7–9 мкм ($S_{уд} = 2,3–2,4 \text{ м}^2/\text{г}$) [5]. Кроме того, в составе стекол не должны присутствовать компоненты, вызывающие химическое взаимодействие составных частей системы. Основное требование к дисперсионной среде для получения ВПЯМ заключается в том, что она должна обладать клеящими свойствами для лучшего закрепления порошка на поверхности полимерной матрицы.

При подборе оптимальной концентрации шликера были исследованы пять систем с отношением твердой фазы к жидкой (Т/Ж) 1,9, 2,0, 2,1, 2,2 и 2,3. По качеству пропитки заготовок шликером с разным Т/Ж и их спеканию можно судить о том, какое соотношение дисперсной фазы и дисперсионной среды является оптимальным. Установлено, что при пропитке шликером с Т/Ж 2,1 и 2,2 обеспечивалась наилучшая адгезия, при спекании отсутствовали значительная усадка, деформация и залипание пор, достигалась хорошая структура по проницаемости. Указанным оптимальным соотношениям Т/Ж соответствуют оптимальные пределы текучести системы. Выявлено, что при оптимальных соотношениях Т/Ж предел текучести составляет 32–33 Па (см. рисунок) [5].



Зависимость скорости сдвига от напряжения сдвига при Т/Ж 2,1 (а) и 2,2 (б) (P_T – предел текучести)

На заключительном этапе был подобран оптимальный температурно-временной режим спекания материала. При этом оперировали следующими известными из научной литературы параметрами для пироксеновых ситаллов: температура кристаллизации 830–860 °С, температура начала деформации 1000–1050 °С, температура полной деструкции пенополиуретана 580–660 °С [1, 3]. На этапе кристаллизации варьировали температуру (760–880 °С) и время выдержки (1–3 ч). Таким образом, было исследовано 18 различных режимов термообработки (см. таблицу). В качестве показателей оптимальной спекаемости образцов были приняты высокая пористость, химическая стойкость, низкая усадка и низкая кажущаяся плотность.

Исследования показали, что для обеспечения наилучшей кристаллизации образцов ВПЯМ целесообразно производить термообработку при температуре 830 °С и выдержке в течение 1 ч. Следует отметить, что данный оптимальный температурно-временной режим термообработки учитывает экономическую эффективность технологического процесса.

В результате проведенных исследований были оптимизированы технологические параметры тиксотропного шликера, состоящего из дисперсного порошка стекла и клеящей диспер-

сионной среды, обеспечивающие устойчивость его закрепления на поверхности органической пены при пропитке. Рекомендуемые параметры: средний размер частиц стеклопорошка 7–9 мкм, оптимальное соотношение Т/Ж 2,1 и 2,2, удельная поверхность 2,3–2,4 м²/г, дисперсионная среда – водные растворы поливинилового спирта с концентрацией 5 мас. %, вязкость шликера 0,3–0,4 Па·с при плотности 1,7–1,8 г/см³, пластическая вязкость и предел текучести при оптимальном Т/Ж соответственно 0,34–0,42 Па·с и 32,5–33,5 Па.

Температурно-временные режимы термообработки ВПЯМ

Максимальная температура, °С	Номер режима термообработки		
	выдержка 1 ч	выдержка 2 ч	выдержка 3 ч
760	1	2	3
780	4	5	6
800	7	8	9
830	10	11	12
860	13	14	15
880	16	17	18

Полученный ячеистый материал характеризовался общей пористостью 88–92%, прочностью при сжатии 0,75–0,85 МПа, кислотостойкостью при кипячении в течение 10 ч в HCl 97,95% и в H₂SO₄ 98,24%, кажущейся плотностью 24–34 кг/м³.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проблемы порошкового материаловедения. Ч. 2 / В. Н. Анциферов, А. М. Беклемышев, В. Г. Гилев [и др.]. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 262 с.
2. Добровольский А. Г. Шликерное литье. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1977. – 240 с.
3. Павлушкин Н. М. Химическая технология стекла и ситаллов. – М.: Стройиздат, 1983. – 428 с.
4. Жунина Л. А., Кузьменков М. И., Яглов В. Н. Пироксеновые ситаллы. – Минск: Изд-во БГУ им. В. И. Ленина, 1974. – 221 с.
5. Фролов Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. – М.: Альянс, 2004. – 464 с.

ВСПЕНЕННЫЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ КВАРЦ-ПОЛЕВОШПАТОВОГО СЫРЬЯ

**А. Е. Бурученко (fizika4ifp@yandex.ru), А. А. Середкин (f.sz@yandex.ru),
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск;
В. И. Верещагин, Томский политехнический университет**

Ключевые слова: пеностекло, стеклобой, стеклогранулят, составы, режим вспенивания
Key words: foamed glass, cullet, quenched cullet, compositions, mode foaming

В связи с увеличением стоимости энергоносителей и ужесточением норм расхода энергии особый интерес вызывают теплоизоляционные материалы, применяемые для теплозащиты строительных конструкций и теплоизоляции различных сооружений [1, 2].

Современная промышленность производит большое количество различных теплоизоляционных материалов. К числу наиболее перспективных относится пеностекло, среди преимуществ которого перед другими теплоизоляционными материалами следует отметить долговечность, негорючесть, химическую стойкость, низкую плотность, влагонепроницаемость и экологическую безопасность.

Использование при получении пеностекла вторичного стеклобоя (особенно при организации производства пеностекла большой мощности) сдерживается из-за отсутствия в нашей