2. Найдены оптимальные режимы работы вихревого пылеуловителя, при которых эффективность пылеулавливания достигает 99,9% при минимуме энергозатрат ΔP = 1200 Па.

3. Сравнение эффективности газоочистки насадочного абсорбера и вихревого скруббера, которое проводилось при одинаковой входной концентрации отходящих газов на входе в аппарат, показали, что закрутка потоков газа и жидкости позволяет увеличить производительности абсорбера в 10-15 раза и эффективности в 5-8 раза, по сравнению с аппаратами с осевым, незакрученным газо-жидкостным потоком.

4. Вихревые аппараты для абсорбционной очистки выбросных газов от пыли и газовых примесей, позволяют сократить материалоемкость аппаратов абсорбции газов более чем в 10 раз по сравнению с распространенными насадочными и тарельчатыми аппаратами.

5. Установки мокрой очистки газовых выбросов, укомплектованные вихревыми аппаратами, обеспечивают современные санитарные нормы очистки газов при минимуме капитальных, энергетических и эксплуатационных затрат.

6. Вихревые аппараты для тепло-массообменных процессов, обеспечивают полное высвобождение дорогих и громоздких насадочных и барботажных аппаратов, а также электрофильтров для очистки газовых выбросов.

7. Результаты работ внедрены на предприятиях Государственного предприятия Навоийский горно-металлургический комбинат. Достигнута эффективная очистка отходящих газов от пыли и газовых примесей.

УДК 661.683.3+666.189.3

Терещенко И.М., Войтов И.В., Дормешкин О.Б., Кравчук А.П., Жих Б.П.
(УО «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск)

СИНТЕЗ РАСТВОРИМЫХ И НЕРАСТВОРИМЫХ СИЛИКАТОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННОГО КРМЕНЕЗЕМИСТОГО СЫРЬЯ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОДУКТОВ ИЗ НИХ

Как показали исследования, проводимые в условиях БГТУ, кремнегель, являющийся многотоннажным отходом химических производств следует рассматривать как перспективное кремнеземистое

сырье для производства растворимых и нерастворимых силикатов щелочных металлов. К его достоинствам следует отнести:

– высокое содержание аморфного SiO_2 – (89–93)%;

– дисперсность, поскольку доминирующей фракцией в его суспензиях являются частицы диаметром 20–50 мкм;

– стабильность химического состава;

– большие объемы, что позволяет организовать на его основе ряд многотоннажных производств важных в техническом отношении продуктов.

Известно, что при получении одной тонны фтористого алюминия образуется до 1,8 т гидратированного аморфного кремнезема (кремнегеля). После отделения от основного продукта кремнегель промывается, обезвоживается на вакуум-фильтрах и вывозится в отвалы в виде рыхлого плохо сыпучего порошка [1]. Только на российских заводах ежемесячно образуется свыше 50000 тонн отвального продукта, аналогичные производства функционируют в Беларуси, Литве, Украине.

Следует заметить, что попытки утилизации кремнегеля предпринимались неоднократно, однако эффективной технологии его переработки до сих пор не предложено. Анализ данных литературы и проводимых исследований позволили выявить три фактора, которые обусловливают громоздкость и неэффективность технологии его утилизации:

– порошкообразное состояние, для синтеза силикатов на основе кремнегеля его следует перевести в состояние суспензии, причем без дополнительного введения воды;

– высокое водосодержание (в пределах 60–65%), попытки термического обезвоживания кремнегеля требуют больших затрат энергии (до 850кВт·ч/т), что приводит к потере экономической эффективности многотоннажных технологий на его основе;

– негативное влияние примесей кремнегеля (соединений алюминия и фтора) на синтез силикатов щелочных металлов.

В публикациях [2–4] последняя причина считается основной. Для ее устранения предлагаются: а) многократная промывка; б) термохимическая и в) химическая обработка кремнегеля, что приводит к большим производственным затратам, усложнению технологической схемы, образованию фторсодержащих сточных вод, требующих утилизации.

Проведенными в БГТУ исследованиями установлено, что главной проблемой кремнегеля является химическая инертность кремнезема – основной его составляющей, в частности, по отношению к щелочам, что обусловлено особенностями его строения, а именно: наличием многослойных водных оболочек вокруг частиц SiO_2, их агрегированием, высокой пористостью частиц, влиянием примесных ионов. В итоге затрудняется доступ гидроксидов щелочи к твердой

поверхности и скорость реакции скорости кремнегель+NaOH, отсюда вытекает необходимость предварительной активации кремнегеля.

В БГТУ разработаны технологические параметры синтеза растворимых и нерастворимых силикатов щелочных металлов на основе кремнегеля, основой которых является использование процесса предварительной механоактивации кремнегеля. Данная стадия хорошо вписывается в технологический процесс, не требует сложного оборудования и больших затрат (расход энергии на механоактивацию около 16 кВт·ч/т). Важно, что в ходе данной стадии решается все проблемные вопросы, связанные с кремнегелем, а именно:

1. резко повышается химическая активность кремнезема за счет разрушения его пространственной структуры, дезагрегации и диспергации частиц, увеличения межфазной поверхности в системе «кремнегель–вода»;

2. изменение агрегатного состояния: переход от порошка к текучей суспензии (вязкость по Энглеру 12–14 с), за счет частичного перехода связанной в структуре кремнегеля воды в свободную;

3. полученная суспензия стабильна, при легком перемешивании может хранится длительное время;

4. избыточная влага может быть удалена после отстаивания методом декантации;

5. устраняется негативное влияние примесей, которые также как и SiO_2 реагируют со щелочью с образованием нерастворимых соединений.

В итоге реакция кремнегеля с едким натром при атмосферном давлении и температуре 90–95 °С протекает полностью и завершается за 25–45 мин в зависимости от силикатного модуля смеси (для растворимых силикатов).

На основе активированного кремнегеля также возможен синтез нерастворимых силикатов (полисиликатов с силикатным модулем 4,5–6,1). Установлено, что синтез полисиликатов из активированных суспензий кремнегеля с ограниченной влажностью (55–65%) протекает в четыре стадии:

1) растворение частиц кремнезема (деполимеризация) в щелочном растворе;

2) полимеризация моно- и димеров растворенного кремнезема, которая начинается практически сразу после введения щелочи в суспензию кремнегеля и определяется по растущей вязкости суспензии в процессе нагрева;

3) повышение текучести смесей (разжижение) вследствие выделения воды, вероятно, в ходе протекания процессов поликонденсации при температуре около 90°С;

4) быстрое гелеобразование при дальнейшем нагреве смесей при максимальной температуре вплоть до полного затвердевания.

Основной проблемой синтеза полисиликатов является наложение второй стадии на первую, что приводит к быстрому схватыванию смеси и прекращению синтеза. Требуются специальные меры (очередность и скорость дозирования компонентов, режим перемешивания, скорость подъема температуры др.) для предотвращения последнего. Только в случае последовательной реализации всех четырех стадий возможно получение качественных продуктов на основе синтезируемых гидросиликатов.

На кафедре ТСиК БГТУ разработаны одностадийные ресурсо-и энергосберегающие технологии получения жидкого стекла и гранулированных стекловидных теплоизоляционных материалов с кажущейся плотностью менее 200 кг/м^3, основой которых является использование процесса предварительной активации кремнегеля. Ниже приведены технологические схемы и краткая характеристика двух технологий, обеспечивающих полное вовлечение кремнегеля в производство.

1) Получение жидкого стекла с силикатным модулем 2,0–3,2 по одностадийной безавтоклавной технологии.

Больший интерес с экономической и экологической точки зрения, представляет способ получения жидкого стекла безавтоклавным низкотемпературным синтезом (температура гидротермальной обработки менее 100 °С, атмосферное давление), реализуемым на основе высокодисперсного промышленного кремнеземистого отхода (кремнегеля). Качество производимого по такой технологии жидкого стекла характеризуется следующими показателями:

– выход готового продукта по SiO_2 – не менее 98 %;
– силикатный модуль – 2,0–3,2;
– плотность, г/см^3 – 1,26–1,55;
– массовая доля SiO_2 – 22,0–36,8;
– массовая доля Na_2O – 7,8–13,9;
– осадок при длительном хранении – менее 1 %.

Ниже приведена принципиальная технологическая схема получения жидкого стекла на основе кремнегеля:

Хранение, дозирование и подача КГ
↓
Активация КГ
↓
Хранение и подача суспензии КГ в смеситель ↓ | Хранение и подача NaOH в смеситель ↓
Синтез жидкого стекла
↓
Отстаивание, хранение, упаковка и транспортировка готовой продукции

Основные преимущества данной технологии, в сравнении с традиционной дуплекс-технологией, заключаются в снижении материальных и, особенно, энергетических затрат на производство жидкого стекла, упрощение технологической схемы, отказ от использования сложного технологического оборудования, а также отсутствие выбросов в окружающую среду. Энергозатраты на производство 1 т продукта снижается в 7–8 раз в сравнении с традиционным дуплекс-процессом. Стоимость жидкого стекла получаемого по разрабатываемой технологии составляет около 140–145 $/т, в то время как стоимость жидкого стекла, получаемого по традиционной технологии составляет 230–240 $/т.

2. Получение гранулированных вспененных материалов на основе активированного кремнегеля.

По технологии прямого синтеза гидросиликатов щелочных металлов на основе аморфного кремнеземистого сырья, с последующим их вспениванием и остеклованием при термической обработке получены вспененные гранулированные материалы с ячеистой структурой.

В соответствии с инновационной технологией, синтезированные на начальной стадии гидратированные полисиликаты натрия гранулируются, а затем переводятся в пиропластическое состояние и вспениваются в ходе единственной термообработки. В данном случае реализуется гидратный механизм вспенивания парами воды, выделяющимися из гидрогеля. Одновременно со вспениванием осуществляется остекловывание материала. Получаемые материалы обладают следующими характеристиками:

– насыпная плотность (в зависимости от размера гранул) 150–250 кг/м^3;

– теплопроводность (λ=0,055–0,065 Вт/м·К);

– температура применения от – 200 до 700 ºС;

– прочность на сжатие в цилиндре 0,5–1,2 МПа;

– водостойкость (потери массы при кипячении в течение 1 ч) 2–3 %;

– морозостойкость – более 35 циклов.

Разработанная технология обеспечивает получение гранул фракций (0–2), (2–4), (4–8) мм. Ниже приведена принципиальная технологическая схема получения вспененных гранулированных материалов.

Данный технологический процесс характеризуется простотой, не требует дорогостоящего оборудования. Этот факт, а также отсутствие в технологическом процессе энергоемких стадий (сушка, тонкое измельчение сырья), а также низкие температуры вспенивания (до 500 ºС)

обеспечивают себестоимость продукции в пределах 30–35 $ за 1 м^3 в зависимости от гранулометрического состава, что более чем в два раза ниже по сравнении с промышленным гранулированным пено-стеклом, на основе стеклобоя.

Хранение, дозирование и подача КГ

↓

Активация КГ

↓

Хранение и подача суспензии КГ в смеситель

Хранение и подача NaOH в смеситель

↓ ↓

Синтез полисиликата

↓

Вспенивание

↓

Фракционирование

↓

Упаковка

Полученные гранулированные материалы обладают комплексом свойств, близких к традиционному пеностеклу, которое считается эталоном для теплоизоляционных материалов. Материалы имеют широкую область применения; обеспечивается возможность получения мелкогранулированного и узкофракционированного продукта, например, фракции менее 4 мм, остро востребованной на рынке.

Литература

1. ТУ 2123–009–70864601–2009. Кремнегель. Технические условия. Введ. 22.07.2009. М.: Стандартинформ, 2009.

2. Sivaprasada Rao C. Utilusation of waste silica from phosphatic fertilizer plant // Chem. And Petrochem. J. – 1981/ Vol. 12, №4. – P. 31–32.

3. Мурашкевич А. Н, Жарский И. М. Кремнийсодержащие продукты комплексной переработки фосфатного сырья. Минск, БГТУ, 2002, 390 с.

4. Мамченков Е. А., Цветкова А. Д., Збигнев В., Акаев О. П. Физико-химические характеристики диоксида кремния – побочного продукта производства фторида алюминия // Вестн. КГУ им. А.Н. Некрасова. 2013. № 6. С. 17–20.