

По результатам исследования химической стойкости опытных стекол определено оптимальное соотношение оксидов кремния, алюминия и кальция, при котором обеспечивается снижение потерь массы образцов при обработке 1 н раствором соляной кислоты в сравнении с промышленным боросиликатным стеклом.

Для оценки электрофизических свойств опытных стекол определена их температурная зависимость удельного электрического сопротивления. Получены зависимости удельного электросопротивления образцов стекол в интервале температур 100–450 °С. Показатели сопротивления снижаются по мере роста содержания оксидов кальция и магния в составе стекол. Снижение показателей сопротивления с ростом содержания ионов-модификаторов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  обусловлено ионным характером проводимости силикатных стекол. Показатели удельного электрического сопротивления стекол при температуре 400 °С составляют  $10^7$ – $10^{7.7}$  Ом·м, что отвечает требованиям, предъявляемым к электроизоляционному стекловолокну.

По результатам исследования физико-химических свойств разработаны составы стекол на основе системы  $\text{MgO}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  для получения электроизоляционного непрерывного стекловолокна.

Помимо основных компонентов шихтовой состав стекол включает в качестве осветлителя сульфат натрия, с которым вводится до 0,5 мас.%  $\text{Na}_2\text{O}$ . При варке бесщелочных и малощелочных силикатных стекол для интенсификации процессов стеклообразования вводятся ускорители. Влияние ускорителя варки, в качестве которого использовался плавиковый шпат, исследовалось при последовательной термической обработке шихты в температурном интервале 1000–1300 °С. Установлено, что при введении ускорителя варки процессы стеклообразования завершаются при температуре 1200 °С, в то время как расплав базового состава содержит кристаллические включения – зерна кристобалита.

Использование безборных и малоборных составов стекол в производстве непрерывного волокна обуславливает существенное снижение затрат на сырьевые материалы. Кроме этого, отсутствуют выбросы соединений бора в окружающую среду. Вместе с тем для стабилизации процесса вытягивания волокна необходимо обеспечивать химическую и термическую однородность стекломассы в зоне формования. Разработанные составы стекол рекомендуется для получения стекловолокна, который используется для производства тканых и нетканых стекловолоконистых материалов различного назначения.

#### Литература

1. Гутников С.И. Стекланные волокна / С.И. Гутников, Б.И. Лазорьяк, А.И. Селезнев. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2010. – 53 с.
2. Типы и составы стекол для производства непрерывного стеклянного волокна / Ю. И. Колесов [и др.] // Стекло и керамика. – 2001. – № 6. – С. 5–10.
3. Шелби, Дж. Структура, свойства и технология стекла / Дж. Шелби. – М.: Мир, 2006. – 288 с.

### **МЕХАНОХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ПРИРОДНЫХ ФОСФАТОВ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ**

Минаковский А.Ф., к.т.н., доц., Шатило В.И., к.т.н., доц.

*УО «Белорусский государственный технологический университет» (г. Минск)*

С увеличением населения Земли потребность в производстве фосфорных удобрений ежегодно возрастает на 2-3 %. По мере выработки богатых фосфатом и легко обогащаемых руд в переработку необходимо вовлекать сложные по составу и не богатые полезным компонентом руды. Обогащение таких руд зачастую

экономически нецелесообразно, при их переработке образуется большое количество отходов, загрязняющих окружающую среду.

В сложившейся ситуации необходим поиск безотходных, экологически чистых методов переработки природных фосфатов. Одним из таких методов является механическая активация фосфатных руд с целью получения готового удобрения [1]. Данный способ переработки фосфатных руд имеет ряд преимуществ: позволяет использовать некондиционное фосфатное сырье; экологически безопасен, так как отсутствуют выбросы в атмосферу и сточные воды; нет ограничений по содержанию магния, железа и карбонатов; механически активированные фосфаты не повышают кислотности почв; длительность действия получаемых удобрений составляет от 5 до 7 лет. Препятствием для использования механически активированных фосфатных руд могут быть лишь повышенные содержания ряда элементов-примесей, таких как свинец, ртуть, кадмий, мышьяк и др., содержание которых ограничено санитарными нормами. Данные преимущества механохимического метода делают перспективным его использование для получения удобрений.

Существует два пути прикладного использования механохимического метода для переработки фосфатных руд [1]. Первый путь – безреагентная механическая активация фосфатных руд с целью перевода фосфата в усвояемые формы. Второй путь – это механохимическая переработка, в процессе которой происходят химические реакции между фосфатной рудой и вводимыми реагентами, с целью получения комплексных удобрений.

В связи с этим большой научный и практический интерес представляет исследовать возможности механохимической активации (МХА) фосфатной составляющей фосфоритов в технологиях переработки фосфоритов в NPK удобрения.

Объектами исследований были выбраны фосфоритная мука Верхнекамского месторождения (содержание  $P_2O_{5\text{общ}}$  – 22,4%,  $P_2O_{5\text{л.р}}$  – 7,2%) и небогатенный фосфорит бассейна Каратау месторождения Жанатас (содержание  $P_2O_{5\text{общ}}$  – 23,9%,  $P_2O_{5\text{л.р}}$  – 5,03%). Выбор обусловлен следующими факторами: в фосфатном сырье Верхнекамского рудника полезного компонента меньше, оно имеет и некоторые преимущества. В частности, в фосфорите низкое содержание MgO при высоком содержании  $P_2O_5$  в усвояемой форме (до 7,5%) [2]. Последнее свойство фосфорита Верхнекамского рудника позволяет рассматривать его как достаточно перспективное фосфорсодержащее сырье. Фосфориты Каратау также характеризуются сравнительно невысоким содержанием  $P_2O_5$ ; в среднем по бассейну 24%  $P_2O_5$ . При этом технико-экономические расчеты показывают [3], что себестоимость добычи и переработки фосфоритов будет ниже, чем себестоимость добычи и переработки фосфатного сырья других месторождений.

Авторами исследовано влияние на эффект активации: типа активатора; продолжительности активации; шаровой нагрузки; размера шаров; частоты вращения барабана; применения соактивирующих добавок.

Эффект МХА определяли по изменению растворимости  $P_2O_5$  в 2%-ом растворе лимонной кислоты в соответствии с ГОСТ 20851.2-75. Для количественной оценки процесса механоактивации использовано относительное содержание усвояемой формы  $P_2O_5$  – отношение содержания лимонорастворимой формы к общему содержанию  $P_2O_5$  в фосфорите.

Критерием выбора измельчительной аппаратуры для осуществления механохимических процессов является получение максимального эффекта для конкретного процесса [4]. Ранее авторами [1,5,6] отмечалась высокая эффективность планетарных мельниц для активации фосфоритов. Однако, среди измельчающего оборудования, которое могло бы послужить в качестве активатора, наибольший

интерес представляют шаровые мельницы барабанного типа, которые широко распространены в промышленности и накоплен большой опыт управления ими.

Фосфориты – многокомпонентные руды, химический и минералогический состав которых существенно отличается для разных месторождений, поэтому оптимальные режимы МХА для разных типов фосфоритов могут существенно различаться. Комплекс проведенных исследований позволил установить оптимальный технологический режим МХА для указанных типов фосфоритов: размер мелющих тел – 5–6 мм, шаровая нагрузка (15–20):1, частота вращения барабана – 100–140 об/мин, продолжительность активации – 30–60 мин.

По результатам экспериментов установлено, что фосфориты желвакового типа (Верхнекамское месторождение) значительно лучше подвергаются активации, чем фосфориты пластового типа (бассейн Каратау). Увеличение содержания лимоннорастворимой формы  $P_2O_5$  наблюдалось с 7,25% (32,29% отн.) до 14,12% (62,29% отн.) – для Верхнекамского, и с 5,03% (23,4% отн.) до 8,11% (37,72% отн.) – для фосфорита месторождения Жанатас.

Определенный интерес представляло исследование влияния компонентов NPK удобрений на процесс МХА активации фосфатной составляющей фосфоритов.

В качестве минеральных добавок были выбраны наиболее доступные однокомпонентные азотные и калийные удобрения – карбамид, сульфат аммония, хлорид калия. При оптимальных условиях были активированы различные композиции фосфоритов с минеральными добавками, составленные с учетом получения сбалансированных удобрений.

Таблица 1 – Относительное содержание усвояемой формы  $P_2O_5$  в активированных композициях

| Соотношение фосфорита и добавки по массе, % | Минеральная добавка |                |       |
|---|---------------------|----------------|-------|
|   | $CO(NH_2)_2$        | $(NH_4)_2SO_4$ | KCl   |
| Верхнекамский фосфорит                      |                     |                |       |
| 20:80                                       | 83,65               | 74,0           | 97,70 |
| 30:70                                       | –                   | 72,77          | 89,82 |
| 50:50                                       | 63,32               | 67,50          | 67,25 |
| 70:30                                       | –                   | 47,19          | 53,75 |
| 80:20                                       | 44,13               | 44,05          | 51,53 |
| Фосфорит Каратау                            |                     |                |       |
| 20:80                                       | 54,73               | 61,50          | 45,27 |
| 50:50                                       | 36,90               | 36,90          | 37,12 |
| 80:20                                       | 25,36               | 33,44          | 25,56 |

Анализируя данные зависимости, видно, что все внесенные добавки обладают высокой соактивирующей способностью и повышают растворимость фосфоритов. Ранее была отмечена лучшая активируемость Верхнекамского фосфорита. Выполнившая серия экспериментов подтвердила эту тенденцию.

Активация композиций фосфорит : сульфат аммония : хлорид калия позволяет получать комплексные удобрения с различным соотношением питательных элементов. Некоторые примеры представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Зависимость содержания питательных элементов в активированных композициях от соотношения исходных компонентов

| Соотношение фосфорит : сульфат аммония : хлорид калия по массе, % | Содержание питательных элементов в активированных композициях (N : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O), % масс. |
|---|---|
| Верхнекамский фосфорит  |   |
| 46:38,5:15,5  | 8,0 : 7,3 : 9,6   |
| 60:30:10  | 6,3 : 9,6 : 6,2   |
| 70:23:7   | 4,8 : 10,5 : 4,4  |
| Фосфорит Каратау  |   |
| 53,5:33,5:15  | 6,6 : 3,4 : 9,4   |
| 60:30:10  | 6,3 : 4,7 : 6,2   |
| 70:23:7   | 4,8 : 5,3 : 4,4   |

Показана принципиальная возможность получения удобрительных смесей с различным соотношением питательных элементов, что позволит расширить ассортимент комплексных удобрений.

Результаты исследования показывают, что при механохимической активации природных фосфоритов с различными добавками можно добиться таких же результатов, как и при химической переработке исходного сырья. Кроме того, механохимическая активация значительно расширяет технологические возможности освоения месторождений природных фосфатов. Наиболее важным преимуществом является экологичность технологии, исключающая химическую кислотную переработку фосфатной руды.

#### Литература

1. Чайкина, М. В. Механохимия природных и синтетических апатитов / М. В. Чайкина. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2002. – 223 с.
2. Интернет Химическая промышленность сегодня, 2011, №1. Производство минеральных удобрений. [Электронный ресурс] / Группа компаний «Химинвест». – Режим доступа: <http://cheminvest.org>. – Дата доступа: 21.12.2012.
3. Калинин, К. В. Фосфорные удобрения и их применение / К. В. Калинин. – М., 1967. – 237 с.
4. Бутягин, П. Ю. Кинетика и энергетический баланс в механохимических превращениях / П. Ю. Бутягин, А. Н. Стрелецкий // Физика твердого тела. – 2005. – Т.47, вып. 5. – С.37–41.
5. Ляхов, Н. З. Кинетика механохимических реакций / Н. З. Ляхов, В. В. Болдырев. – Новосибирск: СО АН СССР, 1982. – Вып. 4, № 12. – С. 67–73.
6. Соколов, М. Т. Механохимическая активация в процессах переработки природных фосфатов / М. Т. Соколов // Труды БГТУ. – Мн., 2004. – Вып. XII. – С. 56-60.

### УПРОЧНЕНИЕ СТЕКОЛ ДЛЯ ЗАЩИТНЫХ ОЧКОВ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМ ИОННЫМ ОБМЕНОМ

Марухин А.И., Синяк А.Ю., Шишковец А.С. ст. гр. 8

Научный руководитель доц. Павлюквич Ю.Г.

УО «Белорусский государственный технологический университет» (г. Минск)

Целью данной работы являлась разработка технологии упрочнения стёкол для защитных очков с использованием твёрдофазных реагентов.

В настоящее время низкотемпературный обмен применяется для упрочнения стекла, используемых при изготовлении различных видов рассеивателей