

может быть произведен огнеупор, который по своим физико-химическим и термическим свойствам будет превосходить шамот.

Реализация данного технического решения позволит сократить импортные закупки огнеупорного материала, снизить экологическую нагрузку за счет ликвидации необходимости складирования хромосодержащего огнеупорного лома, создать новые рабочие места.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьменков, М.И. Композиции на фосфатных связующих холодного отверждения. М.И. Кузьменков, С.В. Плышевский, И.В. Бычек, Н.Г. Стародубенко // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорганич. в-в. – 2002. – Вып. X. – С. 194–196.

2. Бычек, И.В. Получение огнеупорного бетона на фосфатном связующем из техногенных продуктов // И.В. Бычек, М.И. Кузьменков, О.А. Капитанова / Ресурсо- и энергосберегающие технологии в химической промышленности и производстве строительных материалов: Материалы межд. Науч.-технич. конф., Минск, 9-10 нояб. 2000 г. С. 198–201.

УДК 666.942.2:666.9.015.224

#### **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ КЛИНКЕРООБРАЗОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ СОЛЕЙ ТЕХНОГЕННЫХ ПРОДУКТОВ**

М.И. Кузьменков, Н.Г. Короб, Е.А. Свистун, М.К. Анкуда,  
А.В. Сушкевич, Н.М. Шалухо

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

Одной из важнейших научно-технических задач, стоящих перед цементной промышленностью, является снижение топливно-энергетических затрат на производство цемента, поскольку это статья на сегодня является преобладающей. Эта задача решается по нескольким направлениям, одним из которых является ревизия модульных характеристик сырьевой смеси, но это направление на будущее.

Наиболее эффективным может явиться использование минерализаторов. Эта идея хорошо известна, и те заводы, которые располагают такой возможностью, эффективно ее используют.

На ОАО «Красносельскстройматериалы» два года тому назад были проведены промышленные испытания по использованию плавикового шпата в качестве минерализатора. При дозировке его в количестве 0,7 мас. % было достигнуто при одной и той же температуре увеличение выпуска клинкера – вместо проектных 55 т в час было выпущено на 2 т в час больше.

В Беларуси природного полевого шпата, как известно, нет, но перспективным продуктом может явиться так называемый шлам станции нейтрализации ОАО «Гомельский химический завод». В настоящее время этот шлам складывается на заводской площадке и накопился в количестве несколько сот тысяч тонн, что создает серьезную экологическую нагрузку в регионе.

Под действием атмосферных осадков проникновение загрязненных вод уже достигло 25 метровой глубины, а с 40-ка метровой глубины идет водозабор питьевой воды для города Гомеля. Чтобы не допустить проникновения загрязненных вод на глубину водозабора, производят откачивание воды из 25 метровой глубины.

Исследована возможность использования шлама станции нейтрализации ОАО «Гомельский химический завод» в качестве минерализатора при производстве портландцементного клинкера.

На указанном предприятии имеется 3 вида кислых стоков: из цеха сернокислотного, цеха фосфорной кислоты и из цеха фторсолей.

Ранее было проведено тестирование всех трёх шламов в качестве минерализаторов обжига цементного клинкера при различных температурах [1]. Исследования проводились на сырьевой муке ОАО «Белорусский цементный завод». Оценку минерализующего действия проводили по содержанию свободного оксида кальция в обожженном материале этилглицератным методом. Было установлено, что все указанные шламы показывают высокое усвоение оксида кальция при минимальной температуре обжига, что говорит о целесообразности их использования в цементной промышленности в качестве минерализаторов. При различных температурах обжига данные минерализаторы можно расположить в следующем порядке их эффективности: шлам цеха фторсолей > шлам цеха сернокислотного > шлам цеха фосфорной кислоты.

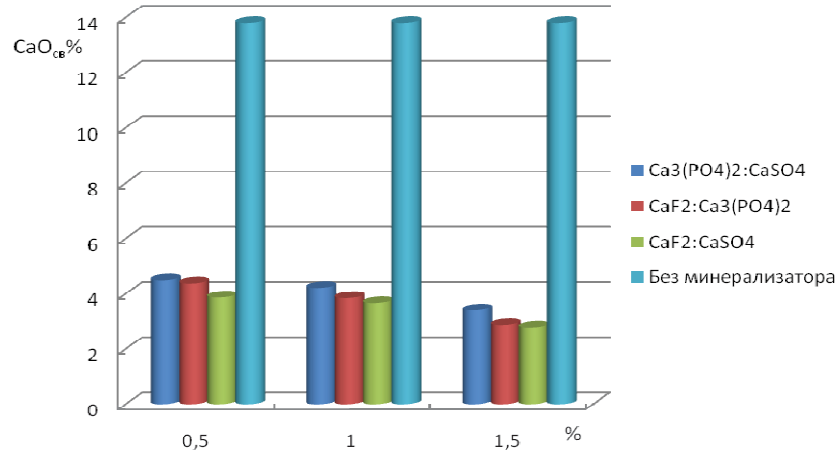
Согласно данным проведенного рентгенофазового анализа, шлам цеха фтористых солей представлен обильным содержанием фтористых компонентов, чем и вызвана его хорошая минерализующая способность.

Следующим этапом явилось проведение системных исследований по изучению интенсифицирующего действия минерализаторов на твердофазное взаимодействие в системе  $\text{CaCO}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ . Были изучены как индивидуальные солевые минерализаторы, так и бинарные минерализующие смеси  $\text{CaF}_2 - \text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaF}_2 - \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{CaSO}_4 - \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ .

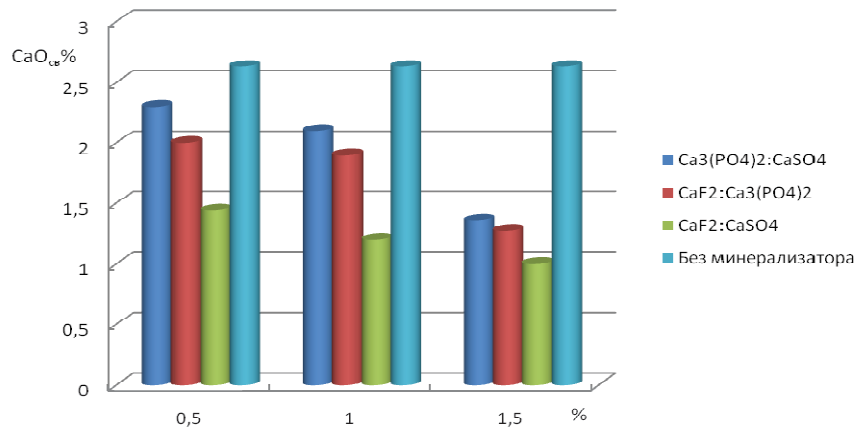
Как следует из представленных на рисунке данных, все соли оказывают заметное минерализующее действие на процесс клинкерооб-

разования. По эффективности действия бинарные солевые минерализаторы можно расположить в следующем порядке:  $\text{CaF}_2 + \text{CaSO}_4 \gg \text{CaF}_2 + \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 > \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{CaSO}_4$ .

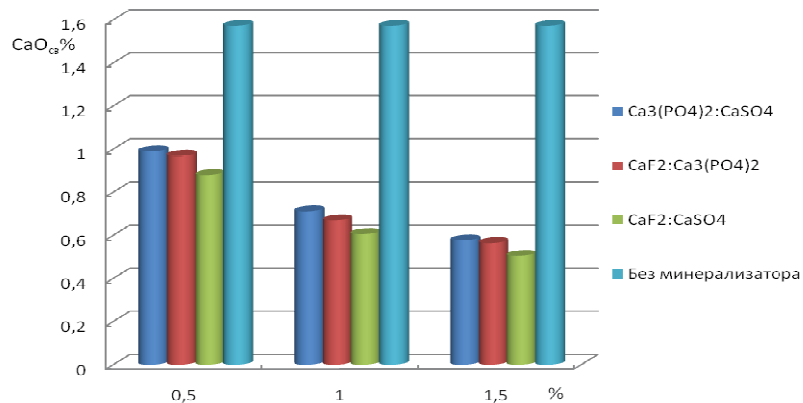
а)



б)



в)



**Рисунок – Влияние количества введенных бинарных солевых минерализаторов на содержание свободного оксида кальция в клинкерах, обожженных при температурах: а – 1300°C, б – 1350°C, в – 1300°C**

В системе  $\text{CaF}_2 + \text{CaSO}_4$  образуется легкоплавкая эвтектика при температуре около  $950^\circ\text{C}$ , что позволяет значительно ускорить процессы клинкерообразования. Установлено, что эффективность действия смешанных минерализаторов значительно превосходит эффективность воздействия каждого компонента в отдельности. На приведенных гистограммах видно, что при использовании минерализатора количество усвоенного оксида кальция выше.

Суть действия минерализаторов сводится к следующему:

1) при наличии их в сырьевой смеси образование жидкой фазы происходит при значительно более низких температурах, в связи с этим кристаллизация главных клинкерных минералов происходит намного раньше и значительно быстрее;

2) ускорительное действие минерализующей добавки, фторсодержащей в частности, обусловлена тем, что с появлением эвтектического расплава кремнекислородные цепочки  $\text{Si-O-Si}$  деполимеризуются за счет вхождения фтора вместо мостикового кислорода. Это делает силикатный расплав менее вязким, что в свою очередь обеспечивает лучшую смачиваемость расплавом твердой фазы и обеспечит более быстрое протекание реакции в системе твердое–жидкость.

Подводя итоги исследования всех трёх шламов, можно утверждать, что использование совместных шламов является лучшим минерализатором для получения портландцементного клинкера.

Согласно стандарту СТБ ЕН 197-1-2007, содержание свободной извести в цементе не должно превышать 5%. При использовании общего шлама солей этот показатель находится на уровне 1,5% при температуре обжига  $1300^\circ\text{C}$ , что говорит о целесообразности его использования для обжига цементно-сырьевой смеси.

Результаты исследований могут быть использованы на ОАО «Белорусский цементный завод» и ОАО «Красносельскстройматериалы» для интенсификации процессов обжига в производстве цементного клинкера. ОАО «Гомельский химический завод» выражает готовность поставлять шлам станции нейтрализации на цементные предприятия Беларуси, для чего необходимо осуществить реконструкцию и решить вопрос замены барабанных вакуумных фильтров на центрифуги с целью снижения влажности шлама с 63% до не более 5%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ситько, М.К. Исследование влияния минерализаторов на процесс обжига портландцементного клинкера / М.К. Ситько, Н.Г. Стародубенко // Труды БГТУ. – 2016. – №3 : Химия и технология неорган. в-в. – С. 106 – 110.