

**Заключение.** Реализация такой технологии позволит промышленному предприятию производить как строительные материалы, так и электроэнергию, используя только собственные национальные ресурсы (сырьевые природные и возобновляемые энергетические).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мохамед Мусбах. Табиб, Али М. Элмансури, Журавский Г.И., Мартинов О.Г. Термическая утилизация твердых бытовых отходов. Ж.-л «Энергетика и топливно-энергетический комплекс», № 2 (131). 2014. С.20 – 23.

2. Журавский Г.И, Мартинов О.Г. Твердые бытовые отходы в качестве энергетических ресурсов при производстве строительных материалов. Ж.-л «Энергоэффективность», начало в № 5 (199). 2014. С. 26 – 31, окончание в № 6 (200). 2014. С. 22 – 26.

3. Кузьменков М. И., Хотянович О. Е., Мельникова Р. Я., Сушкевич А. В. Влияние продуктов сгорания изношенных автомобильных покрышек на качество цемента и бетона // Цемент и его применение. – 2012. – № 11–12. – С.34–38.

4. Журавский Г.И., Градов А.С., Лисай Н.К., Мартинов О.Г., Сусеков Е.С., Шаранда Н.С. Газогенераторные технологии утилизации горючих технологических и коммунальных отходов. В сб.: Тепло- и массоперенос – 2012 . Минск: ИТМО им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, 2012. С. 159 – 164.

5. Журавский Г.И., Мартинов О.Г., Полесский Д.Э., Шаранда Н.С. Газогенераторные технологии для промышленности строительных материалов. Ж.-л «Энергетика и топливно-энергетический комплекс», № 11/12 (128/129). 2013. – С.16 –18.

УДК 666.972.53

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА**

М.И. Кузьменков, Н.Г. Короб, Д.М. Кузьменков,  
А.В. Сушкевич, Н.М. Шалухо

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

Промышленность строительных материалов находится на третьем месте после теплоэнергетики и транспорта по потреблению энергоресурсов. Первое место по энергопотреблению в строительном комплексе занимает цементная промышленность, на которую приходится примерно 62% потребляемой тепловой и электрической энергии. Од-

ним из важнейших направлений, стоящей перед цементной промышленностью в мире, является минимизация содержания клинкера в цементах, а также максимальное вовлечение техногенных продуктов в его производство.

Таким техногенным продуктом является электросталеплавильный шлак – отход, образующийся на ОАО «Белорусский металлургический завод». В настоящее время накопилось около 4,5 млн. тонн электросталеплавильного шлака, причем ежегодное накопление этого шлака находится на уровне 400 млн. тонн. В процессе хранения происходит его рассыпание с образованием пылевидной фракции, которая разносится по сельскохозяйственным угодьям.

Одним из компонентов цементной сырьевой смеси является железосодержащий – железная руда, пиритные огарки (отход цехов по производству серной кислоты из серного колчедана), железная окалина и др. Многие из указанных железосодержащих продуктов завозятся на цементные заводы Беларуси по импорту.

В отличие от доменного гранулированного шлака, широко используемого в цементной промышленности, сталелитейные шлаки, вследствие существенного отличия их вещественного состава, используются в настоящее время в значительно меньших объемах. Принимая во внимание, что сталелитейные шлаки на разных заводах имеют различный фазовый состав, это диктует необходимость проведения системного исследования по изучению характера твердофазового взаимодействия в процессе его обжига при получении цементного клинкера. Поскольку в составе электросталеплавильного шлака присутствуют оксиды, способные образовывать легкоплавкие эвтектики, есть основания полагать, что это будет способствовать образованию клинкерного расплава при более низких температурах, что в свою очередь интенсифицирует процессы, протекающие в системах «твердое-жидкость» и снизит расход тепловой энергии на этот процесс.

Сведения об использовании электросталеплавильного шлака ОАО «БМЗ» в качестве железосодержащего компонента цементной сырьевой смеси в литературе отсутствуют, что явилось побудительной мотивацией для проведения поисковых исследований в этом направлении.

Исследования проводили с использованием сырьевой муки ОАО «Белорусский цементный завод» и электросталеплавильного шлака ОАО «Белорусский металлургический завод», составы которых приведены в таблицах 1 и 2.

Проведенные поисковые исследования показали экономическую целесообразность использования электросталеплавильного шлака в качестве железосодержащего компонента при производстве цементного клинкера.

**Таблица 1 – Химический состав сырьевой муки ОАО «БЦЗ»**

Компонент	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	ППП	Прочее
Высокий мергель	5,65	1,44	0,72	39,25	0,62	0,13	0,28	31,05	0,02
Низкий мергель	4,63	1,14	0,46	4,39	0,24	0,07	0,18	4,06	0,01
Железная руда	0,8	0,09	1,4	0,02	0	0,04	0,01	0,04	0,01
Кварцевый песок	2,91	0,14	0,04	0,06	0,03	0	0,05	0,03	0
Состав сырьевой смеси в %	13,99	2,81	2,62	43,72	0,89	0,24	0,52	35,18	0,03

**Таблица 2 – Химический состав электросталеплавильного шлака ОАО «БМЗ»**

Компонент	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	ППП	Прочее
Высокий мергель	17,67	5,52	28,27	32,82	6,84	1,23	0,61	1,44	0,12

Экономический эффект от использования электросталеплавильного шлака вместо импортного железосодержащего сырья будет достигнут за счет его меньшей стоимости и частичной замены карбоната кальция, входящего в состав сырьевой смеси.

Так, при полной замене необходимого количества Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в составе сырьевой муки, для введения оксида железа в сырьевую смесь с электросталеплавильным шлаком, содержащем Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в среднем 19 %, требуется около 9% шлака от массы сырьевой смеси, что составит около 0,126 тонны шлака для производства 1 т клинкера. Самой энергозатратной стадией при обжиге цементного клинкера является разложение карбоната кальция, на что затрачивается 96% расходуемой тепловой энергии. За счет введения шлака сокращается расход карбонатного компонента, а, следовательно, снижается расход топлива на обжиг клинкера.

Кроме того, за счет образования более легкоплавких эвтектик процесс клинкерообразования активизируется, что позволяет снизить температуру обжига клинкера на  $50^{\circ}\text{C}$ , что явится дополнительной статьей экономии топливно-энергетических ресурсов. Предварительные расчеты показали, что экономия будет находиться в пределах 0,5–1\$ на каждой тонне цемента.

Проведенные в 2016 г. на двух цементных предприятиях, входящих в Белорусскую цементную компанию, испытания в вышеуказанном направлении в целом дали положительный результат. В то же время был выявлен ряд задач, для решения которых требуется проведение дополнительных научных исследований.

Реализация данного технического решения на цементных заводах Республики Беларусь позволит предотвратить дальнейшее накопление шлака в Жлобинском регионе, а также снизить выброс в атмосферу парникового газа (углекислоты), что в совокупности обеспечит также еще и значительный экологический эффект.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сушкевич А.В. Проявление метастабильного парагенезиса при твердофазовом взаимодействии в системе  $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ . А.В.Сушкевич, М.И. Кузьменков, Н.М. Шалухо, Т.Н. Манак // Труды БГТУ. – 2012. –№3: Химия и технология неорган. в-в. –С. 51–56.

УДК 666.768

#### **ЖАРОСТОЙКИЕ МАТЕРИАЛЫ ХОЛОДНОГО ОТВЕРЖДЕНИЯ ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ**

М.И. Кузьменков, Н.Г. Короб, С.А. Лыщик, Д.М. Кузьменков,  
Н.М. Шалухо, А.В. Сушкевич

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

Основными потребителями огнеупорных материалов в Республике Беларусь являются предприятия по производству строительных материалов, металлургические и машиностроительные заводы. Кампания печных агрегатов (пробег от холодного до холодного ремонта) зависит, прежде всего, от огнеупорности футеровочных материалов и их термостойкости. Как правило, эти два важнейших эксплуатационных свойства редко сочетаются в одном материале. Так, хромитопериклазовый и периклазохромитовый огнеупоры, используемые во вращающихся цементных и известковых печах, обладают высокой огнеупорностью (не ниже  $1750^{\circ}\text{C}$ ), однако из-за низкой термостойкости (число циклов термоциклирования менее 3) срок службы футеровки