УДК 536.33
Таймаров Михаил Александрович
E-mail: taimarovma@yandex.ru
доктор технических наук, профессор
Казанский государственный энергетический университет
Адрес организации: 420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51
Лавирко Юрий Васильевич
кандидат технических наук, доцент
E-mail: lav.yu55@gmail.com
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Разработка новых типов алюмосиликатных огнеупоров с повышенной излучательной способностью

Аннотация

Постановка задачи. При производстве строительных керамических материалов обжиговым способом для футеровки внутреннего пространства печей используются обычно шамотные огнеупоры. Теплообмен в топках обжиговых печей происходит за счет излучения обмуровки на обжигаемый материал. Обмуровка разогревается за счет подводимого тепла от факела при сжигании топливного природного газа. Целью исследования является повышение эффективности используемого топливного газа. Задача максимально увеличить исследование интегральной излучательной способности материала обмуровки.

Результаты. Излучательная способность шамота не является высокой и зависит от рецептуры огнеупора. Кроме того, шамот имеет сравнительно невысокий температурный диапазон применения. Огнеупорные материалы с высокой излучательной способностью – хромомагнезитовые огнеупоры – являются очень дорогими. Выявлено, что при определенных соотношениях фаз муллита, кристобалита и добавке углеродсодержащего вещества в состав рецептуры алюмосиликатных кислых и полукислых огнеупоров обеспечиваются повышенная излучательная способность и температурная стойкость.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что при определенных соотношениях фаз муллита и кристобалита и добавке углеродсодержащего вещества в состав рецептуры алюмосиликатных кислых и полукислых огнеупоров обеспечивается повышенная излучательная способность и температурная стойкость. В качестве добавочного углеродсодержащего вещества для получения огнеупора с гарантированным значением высокой излучательной способности применен шунгит Зажогинского месторождения Республики Карелия. Для повышения излучательной способности муллиткорундовых основных огнеупоров наиболее эффективно использование хромита, добываемого карьерным способом в Бураковско-Аганозерском (Республика Карелия), Имандро-Варгузском (Мурманская область), Рай-Изском, Сыумкеуском и Войкаро-Сыньинском (Ямало-Ненецкий АО) месторождениях.

Ключевые слова: огнеупор, алюмосиликатный, шамот, кристобалит, муллит, корунд, углерод, фаза, температурная стойкость, излучательная способность, карбид кремния, хромит.

Введение

Огнеупорные алюмосиликатные материалы технологически представляют собой смесь эвтектик на основе диоксида кремния SiO_2 и окиси алюминия Al_2O_3 с добавками тугоплавких компонентов [1-10]. От того, в каком соотношении присутствуют эти эвтектики в составе огнеупора, зависит излучательная способность и температурная стойкость. Кристобалит, муллит и корунд являются диэлектриками, излучение которых, в отличие от металлов, формируется в объеме. Излучение металлов является поверхностным. Муллит является эвтектическим соединением, условная формула которого записывается как $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ при содержании Al_2O_3 = 72 % (по массе) или $2Al_2O_3 \cdot SiO_2$ при содержании Al_2O_3 = 78 %. Объемное излучение муллита отличается от

излучения чистых SiO_2 и Al_2O_3. Муллит обладает более значительной толщиной излучающего слоя по сравнению с чистыми веществами SiO_2 и Al_2O_3, поэтому его излучательная способность выше по сравнению с чистыми SiO_2 и Al_2O_3.

Методика исследования

В данной статье исследуется интегральная излучательная способность огнеупоров, так как именно она, в отличие от спектральной излучательной способности, применяется в нормативных тепловых расчетах всех высокотемпературных энерготехнологических агрегатов. Экспериментальное исследование интегральной излучательной способности огнеупорных образцов проводилось при нагреве на воздухе при помощи электрической трубчатой печи по методике, изложенной в работах [5, 10]. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

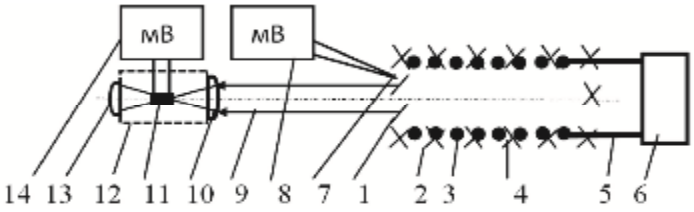

Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – образец; 2 – трубчатая печь; 3 – нагревательная электроспираль; 4 – тепловая изоляция; 5 – кабели электропитания; 6 – силовой электротрансформатор; 7 – термопара; 8 – милливольтметр; 9 – излучение нагретого образца; 10 – линза объектива; 11 – термочувствительный элемент; 12 – корпус радиометра; 13 – линза окуляра; 14 – милливольтметр (иллюстрация авторов)

Для проведения экспериментов образцы огнеупоров – 1 толщиной 5 мм закреплялись на выходном отверстии трубчатой печи – 2, полость которой имеет высокую температуру за счет теплоты, выделяющейся при прохождении электрического тока по нагревательной спирали – 3. Регулируемый подвод электрического тока к спирали осуществляется от силового трансформатора – 6. Для измерений температуры излучающей поверхности образцов устанавливались термопары – 7. Рабочий спай термопар располагался заподлицо с излучающей поверхностью образцов. До температуры 1300 °С применялись хромель-алюмелевые термопары с диаметром термоэлектродного провода 0,2 мм. При температурах свыше 1300 °С применялись платино-платинородиевые термопары с градуировкой ПП-1. Значение термо-электродвижущей силы от нагретого рабочего спая регистрируется милливольтметром – 8. Так как измерительный прибор – милливольтметр – включен в холодный спай, термопары и охлаждение этого спая до температуры тающего льда отсутствует, то к полученному по градуировочной таблице значению температуры прибавляется температура окружающего воздуха.

Излучение – 9 с нагретой поверхности образца фокусируется кварцевой линзой объектива – 10 на термочувствительном элементе – 11, в качестве которого использован термостолбик. Получаемая при этом в термостолбике термо-электродвижущая сила регистрируется милливольтметром – 14.

Точность наведения объектива – 10 на излучающую площадку образца – 1 контролируется при помощи линзы окуляра – 13. Объектив – 10, термочувствительный элемент – 11 и окуляр – 13 конструктивно соединены при помощи корпуса – 12.

Излучательная способность нагретого образца огнеупора – 1 определяется по формуле:

$$\epsilon(T) = E(T)/E_0(T), \quad (1)$$

где $E(T)$, $E_0(T)$ – соответственно, интенсивности излучения нагретого образца огнеупора и эталонного излучателя – абсолютно черного тела, по которому производится градуировка радиометра с термочувствительным элементом – 11 при температуре образца – 1, измеренной в градусах Кельвина.

Интенсивность излучения нагретого эталонного излучателя – абсолютно черного тела определяется по формуле:

$$E_0(T)=5{,}67' \ 10^{-11'} \ T^4, \text{ кВт/м}^2, \quad (2)$$

где T – температура излучающей полости абсолютно черного тела, К.

При определении излучательной способности огнеупоров по формуле (1) температура излучающей полости должна быть равна температуре образца, измеренной с помощью термопары.

Неисключенная систематическая погрешность определения излучательной способности в общем виде записывается как:

$$s_u = 1{,}1(s_{u.n}^2 + s_м^2)^{0,5}, \quad (3)$$

где $s_{и.п}$ – систематическая погрешность определения отношения интегральных потоков излучения образца и абсолютно черного тела, %; $s_м$ – методическая погрешность, %.

Систематическая погрешность определения отношения интегральных потоков излучения образца и абсолютно черного тела выражается как:

$$s_{u.n} = 1{,}1(s_E^2 + s_{E0}^2)^{0,5}, \quad (4)$$

где s_E, s_{E0} – систематические погрешности определения интенсивностей излучения образца огнеупора и абсолютно черного тела (в %), которые рассчитываются по формулам:

$$s_E = 1{,}1(4s_m^2 + s_p^2 + s_o^2)^{0,5}, \quad (5)$$

$$s_{E0} = 1{,}1(4s_{m0}^2 + s_{p0}^2 + s_{o0}^2)^{0,5}, \quad (6)$$

где s_m, s_{m0} – погрешности измерения температуры излучающей поверхности образца и излучающей полости абсолютно черного тела, %; s_p, s_o – соответственно, погрешность регистрации сигнала и погрешность графической обработки результатов при измерении интенсивности излучения образца, %; s_{p0}, s_{o0} – соответственно, погрешность регистрации сигнала и погрешность графической обработки результатов при измерении интенсивности излучения полости абсолютно черного тела, %.

Кроме систематической погрешности, в экспериментах принято оценивать случайную погрешность по следующей методике на основе массива полученных результатов измерений.

При обработке экспериментальных данных за конечный результат измерения принимается среднеарифметический результат измерений $a_{ср.}$

Оценка среднеквадратичного отклонения S этого результата описывается формулой:

$$S = [S(x_i - a_{cp})^2/n(n-1)]^{0,5}, \quad (7)$$

где n, x_i – число и результат измерений.

Здесь суммирование ведется от 1 до n.

В соответствии со значением коэффициента надежности a=0,95 и числом измерений – n определяется коэффициент Стьюдента – t_a.

При этом формула для расчета случайной погрешности записывается в виде:

$$Da = t_a S. \quad (8)$$

Отсюда, результат измерений с границами случайной погрешности записывается как $a = a_{ср} \pm Da$ и относительная случайная погрешность равна $x = (Da/a)100$, %.

Общая погрешность измерений определяется как совокупность случайной и неисключенной систематической погрешностей, %:

$$d = 1{,}1(x^2 + s^2)^{0,5}. \quad (9)$$

Так как в экспериментах по исследованию излучательной способности огнеупоров получено $s_u/x>8$, то случайной погрешностью x можно пренебречь и границы погрешностей результатов измерений можно оценивать по неисключенной систематической погрешности $\pm s_u$ (%).

Отсюда систематическая погрешность определения излучательной способности огнеупоров при температуре T = 1370 К равна s_u = ±0,91 % (составляющие погрешности: s_m = 0,25 %; s_{m0} = 0,2 %; s_p = 0,05 %; s_o = 0,15 %; s_{p0} = 0,05 %; s_{o0} = 0,15 %; $s_м$ = 0,08 %).

Результаты исследования и их обсуждение

Температурная стойкость алюмосиликатных огнеупоров исследовалась с применением состояния системы Al_2O_3-SiO_2 (рис. 2). Второй эвтектикой, кроме муллита, в диаграмме состояния системы Al_2O_3-SiO_2 является кристобалит. Кристобалит как эвтектика содержит 91 % SiO_2 и 6 % $A1_2O_3$.

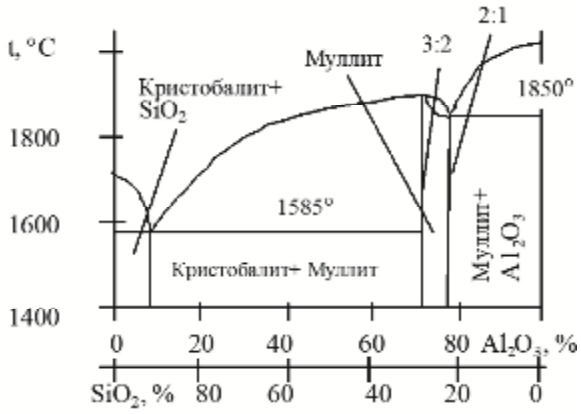

Рис. 2. Диаграмма состояния системы Al_2O_3-SiO_2
(обозначения 3:2 и 2:1 соответствуют формулам муллита $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ и $2Al_2O_3 \cdot SiO_2$)
(иллюстрация авторов)

При содержании в огнеупоре Al_2O_3 более 78 % линия солидус проходит при 1850 °С, а при содержании Al_2O_3 менее 72 % – при 1585 °С. Для огнеупоров с содержанием двух эвтектик: кристобалит+муллит и одной эвтектики – муллит при температурах ниже линии ликвидус, показанной утолщенной линией, но выше линии солидус, показанной горизонтальными тонкими линиями (рис. 2), огнеупор состоит из твердого раствора – муллита и жидкости, то есть он находится в размягченном состоянии. Как видно из рис. 2, муллит представляет собой твердый раствор до температур в области 1850…1910 °С. Доля муллита в рецептуре существующих алюмосиликатных огнеупорах определяет их термическую стойкость [1-3].

На диаграмме (рис. 2) наиболее тугоплавким компонентом рецептуры является корунд, представляющий собой, при Al_2O_3=100 %, кристаллическую структуру a-Al_2O_3. Количество муллита с условной формулой $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ по диаграмме рис. 2 определяется по правилу рычага как для огнеупоров системы кристобалит+муллит, содержащих до 72 % $A1_2O_3$, так и для муллитокорундовых огнеупоров при содержании $A1_2O_3$ свыше 72 % с системой муллит+корунд.

Муллит с формулой $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ находится в виде твердого раствора при содержании Al_2O_3= 72…73 %, при температурах выше 1850 °С, в то время как в системе при содержании Al_2O_3 свыше 78 % появляется жидкость. Линия солидус для муллита в области содержания Al_2O_3 = 72…78 % имеет криволинейный характер (рис. 2).

По диаграмме состояния системы Al_2O_3-SiO_2 для алюмосиликатных огнеупоров (рис. 2) можно выделить три области рецептурного существования эвтектик кристобалита и муллита в зависимости от соотношения содержания Al_2O_3 и SiO_2. Первая – избыток SiO_2 + кристобалит, вторая – кристобалит+муллит, третья – муллит + избыток Al_2O_3.

Первая область наличия одной эвтектики – кристобалита при избытке компонента SiO_2 характерна для кварцита (98 % SiO_2) и динасовых огнеупоров и располагается до соотношения содержания 91 % SiO_2 и 6 % $A1_2O_3$. Температурная стойкость огнеупора, за которую принимается окончание существования твердой фазы, сравнительно невелика и составляет 1700 °С у кварцита и 1590 °С у динаса. По технологическому применению это область кислых огнеупоров.

При увеличении содержания $A1_2O_3$ свыше 6 % до 25…30 % располагается область полукислых огнеупоров с наличием уже двух эвтектик: кристобалита и муллита. Температурная стойкость полукислых огнеупоров повышается по сравнению с

динасовыми огнеупорами и составляет 1750 °С при содержании $A1_2O_3$, равном 30 %, что обусловлено ростом содержания $A1_2O_3$.

При содержании $A1_2O_3$ свыше 30 % до 55…60 % на диаграмме состояния системы Al_2O_3-SiO_2 располагаются нейтральные шамотные огнеупоры с существованием в их составе также двух эвтектик – кристобалита и муллита. Температурная стойкость шамотных огнеупоров заметно повышается до 1750…1850 °С в зависимости от состава исходного сырья.

По технологическому признаку при содержании $A1_2O_3$ свыше 60 % располагаются высокоглиноземистые основные огнеупоры, которые до содержания $A1_2O_3$ = 72 % характеризуются наличием в их составе двух эвтектик – кристобалита и муллита. Температурная стойкость этих огнеупоров составляет 1850…1900 °С в зависимости от содержания $A1_2O_3$.

Муллитокорундовые огнеупоры на диаграмме состояния системы Al_2O_3-SiO_2 содержат свыше 78 % Al_2O_3 и имеют в своем составе эвтектику муллит с избыточным компонентом Al_2O_3. Это область тугоплавких огнеупоров с температурной стойкостью до 2010 °С для корунда с содержанием Al_2O_3, равным 97 %. Недостаток корунда как огнеупора – невысокая излучательная способность.

Как показали эксперименты данной работы, огнеупорность кислых и полукислых алюмосиликатных огнеупоров существенно повышается до температур порядка 2000 °С при введении в них углеродсодержащего вещества в количестве до 20 % вместо SiO_2.

В качестве такого вещества целесообразным является использование ископаемого минерала шунгита Зажогинского месторождения Республики Карелия. В этом шунгите содержание углерода С = 30 % при содержании других соединений в следующих количествах: SiO_2 = 57 %, Al_2O_3 = 4 %, FeO = 2,5 %, MgO = 1,2 %, K_2O = 1,5 %.

В технологии производства огнеупоров на стадии спекания при температуре 2050 °С в рецептуре с применением шунгита углерод взаимодействует с диоксидом кремния SiO_2 по реакции:

$$3C + SiO_2 = SiC + 2CO. \quad (10)$$

Образующийся карбид кремния SiC является тугоплавким веществом с огнеупорностью 2700 °С и с высокой излучательной способностью, равной 0,9 [9].

В зависимости от количества вводимого карбида кремния в рецептуру кислых и полукислых огнеупоров их температурная стойкость может быть повышена до 2400 °С.

Невысокая излучательная способность корундовых и муллитокорундовых огнеупоров, имеющих в своем составе содержание Al_2O_3 более 50 %, может быть повышена за счет введения в исходную рецептуру соединения хромита с условной формулой $FeO{\cdot}Cr_2O_3$ и температурной стойкостью до 2180°С. Излучательная способность хромита равна 0,8 и практически не изменяется во всем температурном диапазоне работы огнеупоров.

Хромит содержит в своем составе около 68 % Cr_2O_3 и является природным минералом, добываемым карьерным способом в Бураковско-Аганозерском (Республика Карелия), Имандро-Варгузском (Мурманская область), Рай-Изском, Сыумкеуском и Войкаро-Сыньинском (Ямало-Ненецкий АО) месторождениях [4, 5].

По диаграмме состояния системы Al_2O_3-SiO_2 (рис. 2) избыточный компонент Al_2O_3 в количестве до 25 % для муллитокорундовых и корундовых основных огнеупоров может быть заменен на хромит $FeO{\cdot}Cr_2O_3$ с получением температурной стойкости 2000 °С.

Влияние шунгита и хромита, вводимых в состав соответственно кислых, полукислых и муллитокорундовых огнеупоров, на повышение их излучательной способности можно, для получаемых при этом новых типов огнеупорных рецептур, рассчитать по следующим формулам.

Для кислых и полукислых огнеупоров при содержании Al_2O_3 менее 20 % излучательная способность равна:

$$e_{кпо} = e_{кр}' \, g_{кр} + e_{кк}' \, g_{кк}, \quad (11)$$

где $e_{кр}$, $g_{кр}$ – излучательная способность и весовая доля кристобалита;
$e_{кк}$, $g_{кк}$ – излучательная способность карбида кремния и его весовая доля.

Для шамотных огнеупоров со структурой кристобалит+муллит при содержании Al_2O_3 более 20 %, но менее 55 % при введении шунгита в рецептуру огнеупора излучательная способность равна:

$$e_{шо} = e_{кр}' \, g_{кр} + e_{м}' \, g_{м} + e_{кк}' \, g_{кк}, \quad (12)$$

где $e_м$, $g_м$ – излучательная способность и весовая доля муллита.

Для муллитокорундовых огнеупоров при содержании Al_2O_3 более 55 % при введении хромита $FeO \cdot Cr_2O_3$ в рецептуру огнеупора излучательная способность равна:

$$e_{мко} = e_{х}' \, g_{х} + e_{м}' \, g_{м}, \quad (13)$$

где $e_х$, $g_х$ – излучательная способность и весовая доля хромита.

В таблице приведены полученные экспериментальные результаты по измерению интегральной излучательной способности исследованных рецептур алюмосиликатных огнеупоров с добавками шунгита и хромита в сопоставлении с расчетными данными по формулам (11)-(13).

Таблица

Излучательная способность e исследованных алюмосиликатных огнеупоров в зависимости от их рецептурного состава

Рецептура огнеупора	Содержание Al_2O_3, %	Содержание SiO_2, %	Огнеупорность, °С	e при 950 °С	
				Эксперимент	Расчет по формулам (11)-(13)
Корунд КЛ-1,3	97	-	2040	0,42	0,42
Муллит МКС-72	72	25	1900	0,49	0,49
Кристобалито-муллит МЛС-62	62	30	1880	0,54	0,53
Шамот	40	55	1820	0,58	0,58
Динас ДС	5	92	1650	0,66	0,66
Кварцит К98	-	98	1710	0,74	0,74
90 % кристобалит + 10 % шунгит	В составе кристобалита		1690	0,69	0,68
80 % кристобалит + 15 % муллит + 5 % шунгит	В составе кристобалита и муллита		1760	0,65	0,65
85 % муллит + 15 % хромит	В составе муллита		1950	0,56	0,54

Как видно из таблицы, в огнеупорах без добавок шунгита и муллита кристобалитовый компонент заметно повышает излучательную способность, но при этом снижается огнеупорность. Преобладание эвтектики – муллит, напротив, снижает излучательную способность, но приводит к росту огнеупорности. Для кислых и полукислых огнеупоров добавка 10 % шунгита в их рецептуру повышает их излучательную способность на 5 % при увеличении огнеупорности на 3 %.

Для муллитокорундовых огнеупоров добавка 15 % хромита в их рецептуру повышает их излучательную способность на 14 % при увеличении огнеупорности в среднем на 3 %.

Расчет по формулам (11)-(13) позволяет определять излучательную способность новых разрабатываемых алюмосиликатных огнеупорных рецептур в широком диапазоне изменения содержания в них SiO_2 и Al_2O_3.

Заключение

Для алюмосиликатных кислых и полукислых огнеупоров их температурная стойкость и излучательная способность могут быть повышены путем введения в их рецептуру углеродсодержащего вещества на основе шунгита.

Для алюмосиликатных основных муллитокорундовых огнеупоров их излучательная способность может быть повышена путем введения хромита в их рецептуру.

Список библиографических ссылок

1. Тюлькин Д. С., Плетнев П. М. Характеристики отечественного сырья для производства термостойких высокотемпературных корундомуллитовых огнеупоров : сб. науч. тр. Ресурсы и ресурсосберегающие технологии в материаловедении – Международной конференции «СТРОЙСИБ-2016» / НГАУ. Новосибирск, 2016. С. 204–209.
2. Тюлькин Д. С., Плетнев П. М. Физико-химические принципы получения огнеупоров для производства технической керамики // Вестник СГУПС. 2016. № 1. С. 21–27.
3. Плетнев П. М., Погребенков В. М., Верещагин В. И., Тюлькин Д. С. Муллитокорундовые материалы на основе муллитовой связки, стойкие к высокотемпературным деформациям // Новые огнеупоры. 2017. № 11. С. 36–44.
4. Гаврик Г. Г. XVI Международная конференция огнеупорщиков и металлургов (19-20 апреля 2018 г.) // Новые огнеупоры. 2018. № 6. С. 61–70.
5. Таймаров М. А. Исследование излучательной способности химических составов огнеупорных рецептур, принадлежащих системам Al_2O_3-SiO_2 и MgO-Cr_2O_3 // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2008. № 11-12. С. 149–154.
6. Fotoyi N. Z., Eric R. H. Interaction of MgO – MgR_2O_4 (R: Al, Cr, Fe) with SO_2-containing gasess : dig. of art. Southern African Pyrometallurgy 2011 – International Conference / SAIMM. Johannesburg, 2011. P. 373–388.
7. Lange M., Garbers-Craig A. M., Cromarty R. Wear of magnesia-chrome refractory bricks as a function of matte temperature // The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2014. V. 114. № 4. P. 341–346.
8. Gregurek D., Spanring A., Breyner S., Ressler A. High Performance Refractory Brands for the Nonferrous Metal Industry // RHI Bulletin. 2012. № 2. P. 50–54.
9. Дигонский С. В. Газофазные процессы синтеза и спекания тугоплавких веществ. М. : ГЕОС, 2013. 462 с.
10. Садыков Р. А., Чайковский В. Г. Измерение температур и падающих потоков в топке котла ТГ-104 Сургутской ГРЭС-1 // Вестник машиностроения. 2016. № 2. С. 36–38.

Taimarov Mikhail Alexandrovich
doctor of technical sciences, professor
E-mail: taimarovma@yandex.ru
Kazan State Power Engineering University
The organization address: 420066, Russia, Kazan, Krasnoselskaya st., 51
Lavirko Yuri Vasilyevich
candidate of technical sciences, associate professor
Email: lav.yu55@gmail.com
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Development of new types of aluminosilicate refractors with improved radiative ability

Abstract

Problem statement. In the production of building ceramic materials by firing method, fireclay refractories are used for lining the internal space of furnaces. The heat exchange in the furnaces of the kilns takes place due to the emission of lining on the material being calcined. Bricking is heated by the input heat from the flare of burning fuel natural gas. The warming up of the lining is used due to electric heating elements. But such heating costs much more. To increase the efficiency of the fuel gas used, it is necessary that the integral emissivity of the lining material be as high as possible.

Results. The emissivity of fireclay is not high and depends on the formulation of the refractory. In addition, fireclay has a relatively low temperature range of application. High emissivity refractory materials – chromo-magnesite refractories are very expensive. This article presents the results of the development of new refractory formulations, which are compiled on a technological basis using the properties of the phases of mullite and cristobalite.

It has been revealed that at certain ratios of the phases of mullite, cristobalite and the addition of a carbon-containing substance to the formulation of aluminosilicate acidic and semi-acid refractories, enhanced emissivity and temperature resistance are provided.

Conclusions. The significance of the results for the construction industry is that at certain ratios of the phases of mullite and cristobalite, and the addition of a carbonaceous substance to the formulation of aluminosilicate acidic and semi-acid refractories, provides increased emissivity and temperature resistance. Shungite of Zazhoginsk Deposit of the Republic of Karelia was used as an additional carbon-containing substance to obtain a refractory with a guaranteed value of high emissivity. To increase the emissivity mullitecorundum basic refractory most effective use of chromite mined pit method in Burakovsk-Aganozersk (Republic of Karelia), Imandro-Varguzsky (Murmansk region), Ray-Izsc, Syumkeusk and Voykar-Synyinsky (Yamalo-Nenetsk Autonomous area) fields.

Keywords: refractory, aluminosilicate, fireclay, cristobalite, mullite, corundum, carbon, phase, temperature resistance, emissivity, silicon carbide, chromite.

References

1. Tyulkin D. S., Pletnev P. M. Characteristics of domestic raw materials for the production of heat-resistant high-temperature corundum-refractory refractories : Resources and resource-saving technologies in materials science – Proceedings of the International Conference «STROYSIB-2016» / NGAU. Novosibirsk, 2016. P. 204–209.
2. Tyulkin D. S., Pletnev P. M. Physical and chemical principles for the production of refractory materials for the production of technical ceramics // Vestnik SGUPS. 2016. № 1. P. 21–27.
3. Pletnev P. M., Pogrebenkov V. M., Vereshchagin V. I., Tyulkin D. S. Mullite corundum materials based on mullite ligaments resistant to high-temperature deformations // Novyye ogneupory. 2017. № 11. P. 36–44.
4. Gavrik G. G. XVI International conference of refractories and metallurgists (April 19-20, 2018) // Novye ogneupory. 2018. № 6. P. 61–70.
5. Taimarov M. A. Investigation of the emissivity of chemical compositions of refractory formulations belonging to the Al_2O_3-SiO_2 and MgO-Cr_2O_3 systems // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki. 2008. № 11-12. P. 149–154.
6. Fotoyi N. Z., Eric R. H. Interaction of MgO – MgR_2O_4 (R: Al, Cr, Fe) with SO_2-containing gasess : Southern African Pyrometallurgy 2011 International Conference / SAIMM. Johannesburg, 2011. P. 373–388.
7. Lange M., Garbers-Craig A. M., Cromarty R. Wear of magnesia-chrome refractory bricks as a function of matte temperature // The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2014. V. 114. № 4. P. 341–346.
8. Gregurek D., Spanring A., Breyner S., Ressler A. High Performance Refractory Brands for the Nonferrous Metal Industry // RHI Bulletin. 2012. № 2. P. 50–54.
9. Digonsky S. V. Gas phase processes of synthesis and sintering of refractory substances. M. : GEOS, 2013. 462 p.
10. Sadykov R. A., Chaykovskii V. G. The measurement of temperatures and falling flow in the boiler furnace TG-104 Surgutskaya GRES-1 // Vestnik mashinostroyeniya. 2016. № 2. P. 36–38.