

DOI: 10.12737/article_5c1c99666664a6.34309543

^{1,*}Ерыгина А.О., ¹Мишин Д.А., ¹Классен В.К.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: erygalyona@yandex.ru

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ Na₂O С КЛИНКЕРНЫМИ МИНЕРАЛАМИ ПРИ ИХ РАЗЛИЧНЫХ СОЧЕТАНИЯХ

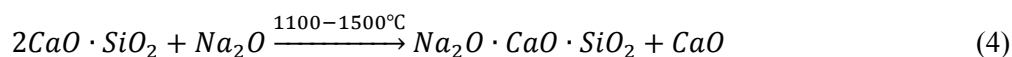
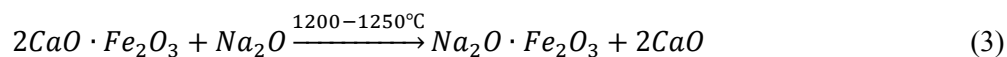
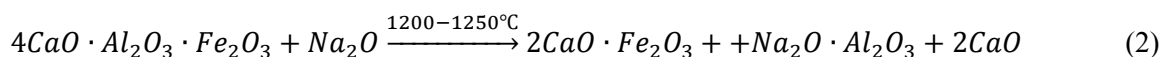
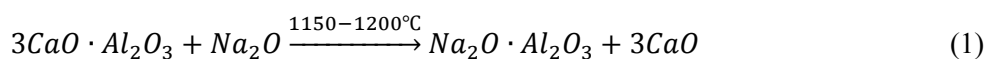
Аннотация. В сырьевой смеси цементного производства всегда присутствуют примеси щелочных соединений, такие как: хлориды, сульфаты, карбонаты натрия и калия, а также двойные соли щелочных металлов, которые, в свою очередь, могут накапливаться во вращающейся печи и негативно оказывать влияние на весь технологический процесс производства клинкера. Чтобы найти способы нейтрализации данных соединений во всем тепловом агрегате, сначала необходимо изучить возможные химические взаимодействия данных соединений с компонентами сырьевой шихты и основными клинкерными минералами во всех технологических зонах печи. Если температурные интервалы до 1100 °С и выше 1300 °С на данный момент полностью изучены, то промежуток температур от 1100 до 1300 °С – нет. Данная научно-исследовательская работа посвящена изучению последовательности химических взаимодействий между оксидом натрия и основными клинкерными минералами (трехкальциевым алюминатом, четырехкальциевым алюмоферритом и двухкальциевым силикатом) при температурах обжига от 1100 до 1300 °С. В ходе исследований установлены продукты обжига оксида натрия со смесями портландцементных клинкерных минералов (C₃A, C₄AF и C₂S) в температурном интервале, соответствующем температурам зоны экзотермических реакций во вращающейся печи цементного производства.

Ключевые слова: портландцементные клинкерные минералы, оксид щелочного металла, алюминат натрия, феррит натрия, натриево-кальциевый силикат, алюмоферрит натрия, портландцементный клинкер, циркуляция щелочных соединений.

Введение. Одной из распространенных проблем цементной промышленности является использование сырья [1–10], содержащего в химическом составе некоторого количества щелочных примесей, которые, в свою очередь, оказывают существенное влияние на весь технологический процесс производства клинкера [5–8]. Данные соединения по-разному влияют на процессы минералообразования, протекающие в различных технологических зонах вращающейся печи. Из исследования материалов работ глиноземистого производства [12] известно, что в их печах, ввиду нали-

чия в составе сырьевой смеси большого количества Na₂O, образуются химические соединения состава: Na₂O·Al₂O₃ и Na₂O·Fe₂O₃.

Сотрудниками кафедры технологии цемента и композиционных материалов БГТУ им. В.Г. Шухова было доказано протекание химических реакций в интервале температур обжига от 1100 до 1300 °С между Na₂O и C₃A, C₄AF, C₂S [13–15]. Из работ [13, 15] установлено, что портландцементные клинкерные минералы способны взаимодействовать с оксидом натрия в зоне экзотермических реакций вращающейся печи цементного производства по следующим химическим реакциям:



Таким образом, при температурах обжига от 1100 до 1250 °С во вращающейся печи цементного производства, в зоне экзотермических реакций, возможно образование таких же соединений, что и в печах глиноземистого производства: алюминатов и ферритов натрия, натриево-кальциевого силиката. Но вопрос о первоочередности протекания химических взаимодействий (1–4)

при одновременном присутствии в смеси нескольких минералов остается не изученным.

Целью данной работы является исследование последовательности взаимодействий между оксидом щелочного металла и смесью двух различных портландцементных клинкерных минералов в интервале температур обжига от 1100 до 1300 °С.

Методология. Для достижения цели научного исследования при синтезировании клинкерных минералов (табл. 1) в работе использовались химические реактивы: CaCO_3 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 ,

а для моделирования процессов взаимодействий оксида натрия с C_3A , C_4AF и C_2S использовался Na_2CO_3 . Все химические реактивы имели категорию чистоты «хч».

Таблица 1

Состав смесей портландцементных клинкерных минералов

Соотношение клинкерных минералов, мас. %	$\text{C}_4\text{AF} + \text{C}_3\text{A}$	$\text{C}_2\text{S} + \text{C}_3\text{A}$	$\text{C}_2\text{S} + \text{C}_4\text{AF}$
		13:7	20:7

Для определения последовательности взаимодействий между Na_2O и портландцементными клинкерными минералами готовились смеси, содержащие такое количество оксида щелочного металла, сколько его требовалось из расчета полного связывания соответствующего оксида из клинкерных минералов (табл. 2).

Измельченный карбонат натрия вводили в смесь клинкерных минералов, усредняли и формовали таблетки ручным способом, достаточным для сохранения формы, диаметром 15 мм. После заформованные образцы ставились в холодную печь с карбид-кремниевыми нагревателями и об-

жигались на подложках с подсыпкой из периклазового огнеупора. Скорость набора температуры составляла 8–10 °С/мин. Охлаждение всех обожженных образцов было резким, протекающим на воздухе.

Для определения последовательности протекания химических взаимодействий между Na_2O и портландцементными клинкерными минералами в качестве методов исследования использовали рентгенофазовый анализ состава обожженных образцов, выполненный на дифрактометре ARLX'TRA и этилово-глицератный метод определения свободного оксида кальция.

Таблица 2

Характеристики исследуемых смесей портландцементных клинкерных минералов и Na_2O

№ смеси	Количество Na_2O , вводимое в смесь клинкерных минералов, из условия связывания		
	$\text{C}_4\text{AF} + \text{C}_3\text{A}$	$\text{C}_2\text{S} + \text{C}_3\text{A}$	$\text{C}_2\text{S} + \text{C}_4\text{AF}$
1	Al_2O_3 из C_4AF	$\frac{1}{2} \text{SiO}_2$ из C_2S	Al_2O_3 из C_4AF
2	Al_2O_3 из C_4AF и Al_2O_3 из C_3A	SiO_2 из C_2S	Al_2O_3 и Fe_2O_3 из C_4AF
3	Al_2O_3 из C_4AF , Al_2O_3 из C_3A и Fe_2O_3 из C_4AF	SiO_2 из C_2S и Al_2O_3 из C_3A	Al_2O_3 и Fe_2O_3 из C_4AF и $\frac{1}{2} \text{SiO}_2$ из C_2S
4	–	–	Al_2O_3 и Fe_2O_3 из C_4AF и SiO_2 из C_2S
Параметры обжига			
Температура обжига, °С	1100	1200	1300
Время изотермической выдержки, мин	10	10	10

Основная часть. По полученным результатам ряда обжигов установлено, что в смеси клинкерных минералов C_4AF и C_3A оксид натрия дает преимущество для химического взаимодействия C_3A , а не C_4AF . С Al_2O_3 , связанным в трехкальциевый алюминат, Na_2O начинает взаимодействовать в первую очередь по реакции (1). Однако следует учитывать то, что оксид щелочного металла вводился в состав смеси минералов, наоборот, из предположения первоочередного связывания Al_2O_3 из C_4AF . Продуктами химических взаимодействий Na_2O со смесью C_4AF и C_3A выступают $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (рис.1). Следует учитывать и тот факт, что образование феррита натрия по реакции (3) будет начинаться только после того, как весь Al_2O_3 , связанный и в

C_3A , и в C_4AF , прореагирует с Na_2O , до этих пор образование $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ невозможно (рис. 1).

Достоверность данных химических взаимодействий подтверждается совпадением теоретических и экспериментальных значений количества свободного оксида кальция в обожженных смесях состава C_4AF , C_3A и Na_2O (табл. 3).

В смеси клинкерных минералов из C_2S и C_3A оксид натрия, как и предполагалось, начинает взаимодействовать с SiO_2 , связанным в C_2S , по реакции (4) и продуктом обжига является $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (рис. 2а). После завершения полного протекания химической реакции образования натриево-кальциевого силиката, Na_2O будет принимать участие в образовании уже другого продукта обжига: $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Последнее взаимодействие, по реакции (1), возможно с Al_2O_3 ,

связанным в C_3A , только после того, как весь SiO_2 из C_2S прореагирует с оксидом щелочного

металла (рис. 2б) при обжиге смеси, где исходными компонентами были C_2S , C_3A и Na_2O .

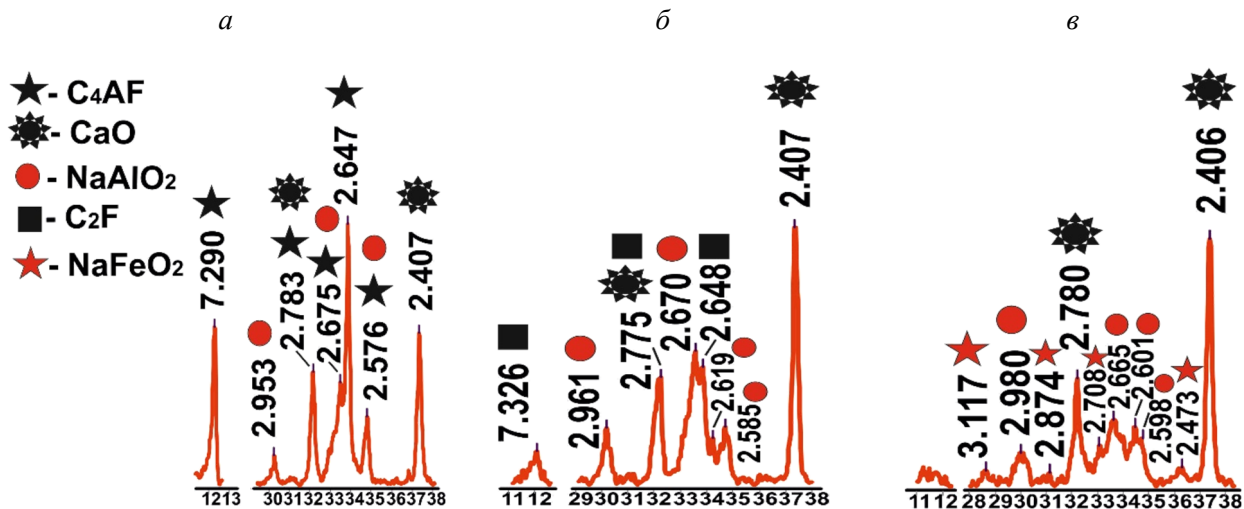


Рис. 1. Взаимодействие Na_2O с C_4AF и C_3A при $1100\text{ }^\circ\text{C}$ и изотермической выдержке 10 минут, где а – Na_2O вводился в смесь из условия полного связывания Al_2O_3 из C_4AF ($C_4AF:C_3A:Na_2O=1:1:1$); б – Na_2O вводился в смесь из условия полного связывания Al_2O_3 из C_4AF и C_3A ($C_4AF:C_3A:Na_2O=1:1:2$); в – Na_2O вводился в смесь из условия полного связывания Al_2O_3 из C_4AF и C_3A и Fe_2O_3 из C_4AF ($C_4AF:C_3A:Na_2O=1:1:3$)

Таблица 3
Количество $CaO_{св}$ в смесях, содержащих C_4AF , C_3A и Na_2O

№	Соотношение $C_4AF:C_3A:Na_2O$	Количество $CaO_{св}$, %	
		Теоретическое	Экспериментальное
1	1:1:1	20,9	21,3
2	1:1:2	32,1	29,0
3	1:1:3	42,0	37,7

Схождение результатов теоретического и экспериментального количества свободного $CaO_{св}$ также подтверждает данные химические взаимодействия (табл. 4).

При изучении взаимодействий Na_2O со смесью клинкерных минералов C_2S и C_4AF при $1300\text{ }^\circ\text{C}$ предполагалось, что оксид натрия в первую очередь начнет взаимодействовать с SiO_2 , связанным в C_2S . Однако рентгенофазовый анализ продуктов обжига Na_2O и C_2S с C_4AF (рис. 3а), а также экспериментально установленное количество несвязанного CaO (табл. 5) опровергли данное предположение. В действительности

Na_2O отдает предпочтение во взаимодействии C_4AF , точнее Al_2O_3 , связанным в C_4AF . Причем 2,4 % оксида натрия, введенного в исходную смесь в количестве, необходимом для протекания реакции (2), внедряется в кристаллическую решетку белита. Следовательно, теоретически свободного оксида кальция не должно превышать 4,72 % при протекании реакции между Na_2O и Al_2O_3 из C_4AF , что сходится с экспериментальным значением (табл. 5).

Следующее химическое взаимодействие Na_2O будет протекать с Fe_2O_3 , связанным в кальцево-ферритную фазу, по реакции (3) с образованием $Na_2O \cdot Fe_2O_3$ (рис. 3б), и только потом начнется взаимодействие Na_2O с SiO_2 , связанным в C_2S по реакции (4) (рис. 3в). Но в отличие от обжигов предыдущих комбинаций клинкерных минералов с оксидом щелочного металла, Na_2O в смеси с C_2S и C_4AF , где оксид натрия вводился из условия полного связывания Al_2O_3 и Fe_2O_3 из C_4AF , а также SiO_2 из C_2S , образует фазу состава $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ (рис. 3г) при температуре обжига $1300\text{ }^\circ\text{C}$.

Таблица 4
Количество $CaO_{св}$ в смесях, содержащих C_2S , C_3A и Na_2O

№	Соотношение $C_2S : C_3A : Na_2O$	Количество $CaO_{св}$, %	
		Теоретическое	Экспериментальное
1	4:1:2	10,62	10,96
2	4:1:4	25,37	22,86
3	4:1:5	30,31	25,29

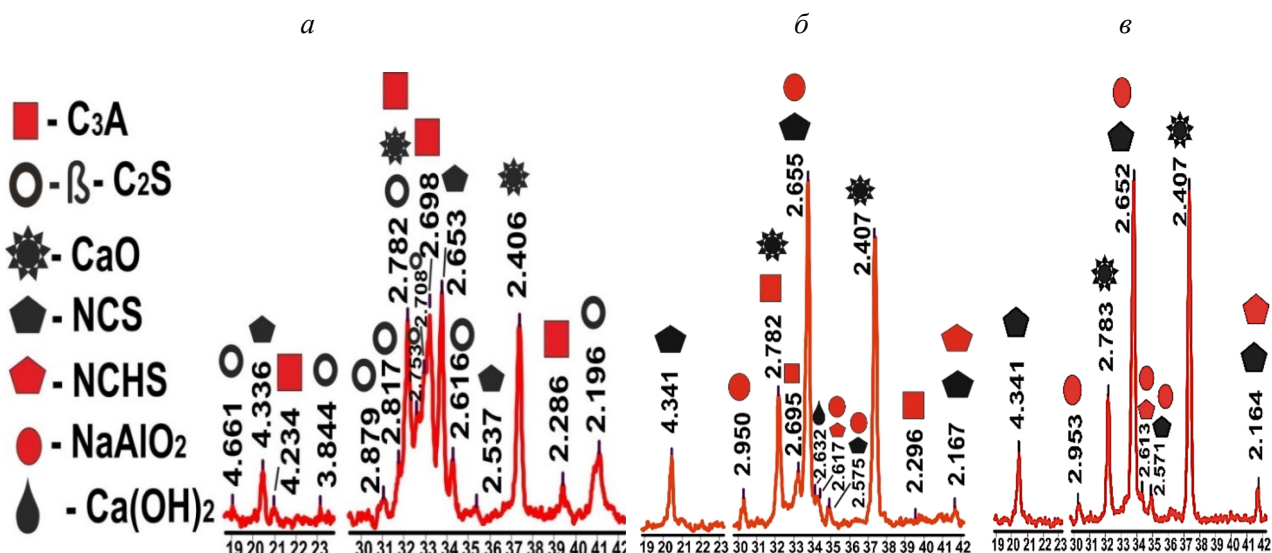


Рис. 2. Взаимодействие Na_2O с C_2S и C_3A при $1200\text{ }^\circ\text{C}$ и изотермической выдержке 10 минут, где *а* – Na_2O вводился в смесь из условия полного связывания $\frac{1}{2}\text{SiO}_2$ из C_2S ($\text{C}_2\text{S}:\text{C}_3\text{A}:\text{Na}_2\text{O}=4:1:2$); *б* – Na_2O вводился в смесь из условия полного связывания SiO_2 из C_2S ($\text{C}_2\text{S}:\text{C}_3\text{A}:\text{Na}_2\text{O}=4:1:4$); *в* – Na_2O вводился в смесь из условия полного связывания SiO_2 из C_2S и Al_2O_3 из C_3A ($\text{C}_2\text{S}:\text{C}_3\text{A}:\text{Na}_2\text{O}=4:1:5$)

Таблица 5

Количество $\text{CaO}_{\text{св}}$ в смесях, содержащих C_2S , C_4AF и Na_2O

№	Соотношение $\text{C}_2\text{S} : \text{C}_4\text{AF} : \text{Na}_2\text{O}$	Количество $\text{CaO}_{\text{св}}$, %	
		Теоретическое	Экспериментальное
1	4:1:1	4,72	9,4*
2	4:1:2	12,37	17,94**
3	4:1:4	19,41	23,82***
4	4:1:6	28,72	27,14****

* – предположение: Na_2O связывает $\frac{1}{2}\text{SiO}_2$ из C_2S ;
 ** – предположение: Na_2O связывает SiO_2 из C_2S ;
 *** – предположение: Na_2O связывает SiO_2 из C_2S и Al_2O_3 из C_4AF ;
 **** – предположение: Na_2O связывает SiO_2 из C_2S , Al_2O_3 и Fe_2O_3 из C_4AF

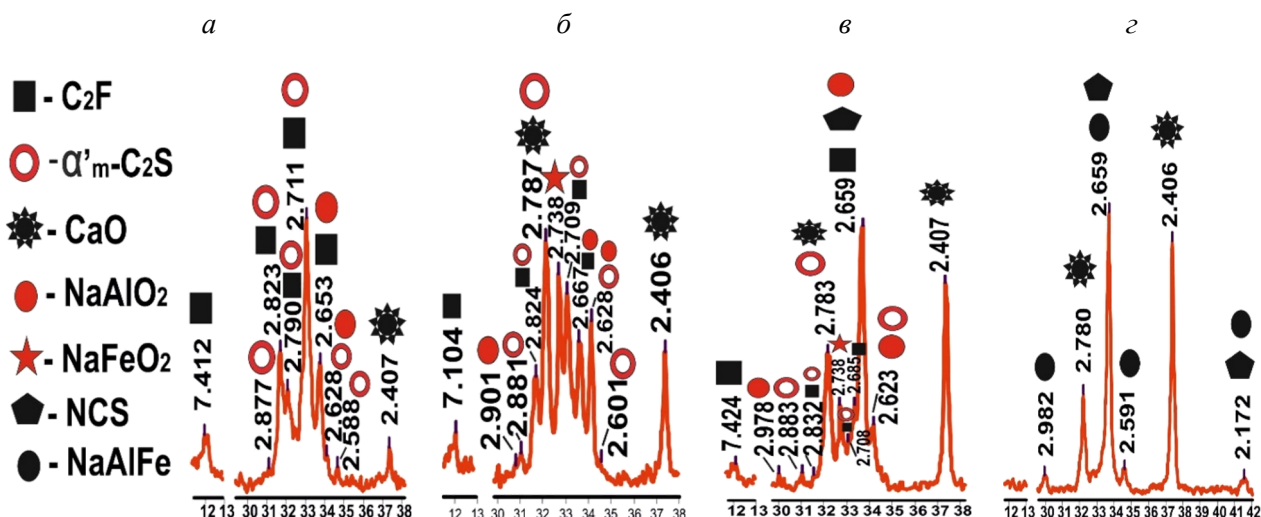
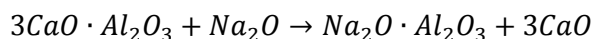


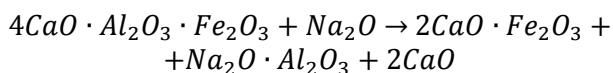
Рис. 3. Взаимодействие Na_2O с C_2S и C_4AF при $1300\text{ }^\circ\text{C}$ и изотермической выдержке 10 минут, где *а* – Na_2O вводился в смесь из условия полного связывания Al_2O_3 из C_4AF ($\text{C}_2\text{S}:\text{C}_4\text{AF}:\text{Na}_2\text{O}=4:1:1$); *б* – Na_2O вводился в смесь из условия полного связывания Al_2O_3 и Fe_2O_3 из C_4AF ($\text{C}_2\text{S}:\text{C}_4\text{AF}:\text{Na}_2\text{O}=4:1:2$); *в* – Na_2O вводился в смесь из условия полного связывания Al_2O_3 и Fe_2O_3 из C_4AF и $\frac{1}{2}\text{SiO}_2$ из C_2S ($\text{C}_2\text{S}:\text{C}_4\text{AF}:\text{Na}_2\text{O}=4:1:4$); *г* – Na_2O вводился в смесь из условия полного связывания Al_2O_3 и Fe_2O_3 из C_4AF и SiO_2 из C_2S ($\text{C}_2\text{S}:\text{C}_4\text{AF}:\text{Na}_2\text{O}=4:1:6$)

Выводы. Обобщая полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

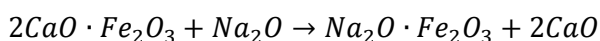
1. В смеси клинкерных минералов C_4AF и C_3A при температуре $1100\text{ }^\circ\text{C}$ Na_2O сначала взаимодействует с Al_2O_3 , связанным в C_3A :



После того, как весь трехкальциевый алюминат вступит в химическую реакцию, Na_2O начнет взаимодействовать с Al_2O_3 , связанным в C_4AF по следующей химической реакции:

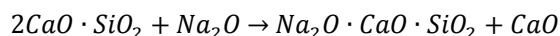


Далее оставшаяся часть Na_2O будет взаимодействовать с Fe_2O_3 , связанным в C_2F :

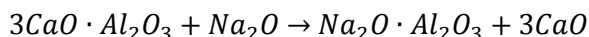


Таким образом, оксид натрия в смеси клинкерных минералов C_4AF и C_3A при температуре обжига от $1100\text{ }^\circ\text{C}$ первоочередное взаимодействие отдает трехкальциевому алюминату.

2. В смеси клинкерных минералов C_2S и C_3A при $1200\text{ }^\circ\text{C}$ Na_2O сначала взаимодействует с SiO_2 , связанным в C_2S по реакции:

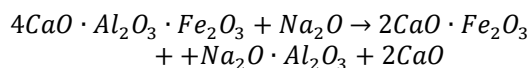


После того, как весь двухкальциевый силикат вступит в химическую реакцию, Na_2O начнет взаимодействовать с Al_2O_3 , связанным в C_3A :

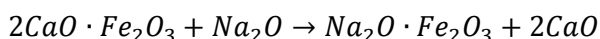


Таким образом, оксид натрия в смеси клинкерных минералов C_2S и C_3A при температурах обжига от $1200\text{ }^\circ\text{C}$ первоочередное взаимодействие отдает двухкальциевому силикату.

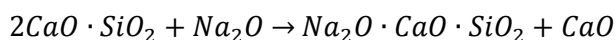
3. В смеси клинкерных минералов C_2S и C_4AF при температуре обжига $1300\text{ }^\circ\text{C}$ Na_2O сначала взаимодействует с Al_2O_3 , связанным в C_4AF по реакции:



Далее будет происходить взаимодействие Na_2O с Fe_2O_3 по следующей химической реакции:

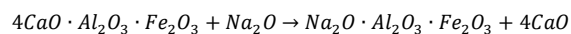


После образования алюмината и феррита натрия Na_2O будет взаимодействовать с SiO_2 , связанным в C_2S , с образованием фазы $Na_2O \cdot CaO \cdot SiO_2$:



Таким образом, оксид натрия в смеси клинкерных минералов C_2S и C_4AF при температуре обжига $1300\text{ }^\circ\text{C}$ первоочередное взаимодействие отдает четырехкальциевому алюмоферриту.

4. В смеси, состоящей из C_4AF и Na_2O , при наличии достаточно большого количества оксида щелочного металла в результате обжига при $1300\text{ }^\circ\text{C}$ возможно образование алюмоферрита натрия вместо $Na_2O \cdot Al_2O_3$ и $Na_2O \cdot Fe_2O_3$ по следующей химической реакции:



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Классен В.К. Обжиг цементного клинкера. Красноярск.: Стройиздат, 1994. 323 с.
2. Классен В.К. Технология и оптимизация производства цемента: краткий курс лекций: учеб. пособие. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 308 с.
3. Классен В.К., Долгова Е.П. Хлориды щелочных металлов в производстве цемента: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. 182 с.
4. Лугинина И.Г. Химия и химическая технология неорганических вяжущих материалов: В 2 ч. Белгород: Изд-во БГТУ, 2004. Ч. I. 240 с.
5. Таймасов Б.Т., Классен В.К. Химическая технология вяжущих материалов: учебник. 2-е изд., доп. Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. 448 с.
6. Классен В.К. Технология портландцемента: избранные труды. Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. 530 с.
7. Лугинина И.Г. Механизм действия минерализаторов и клинкерообразование в цементной сырьевой смеси: курс лекций. Белгород: Ротапринт БТИСМ, 1978. 74 с.
8. Тейлор Х. Химия цемента; пер. с англ. М.: Мир, 1996. 560 с.
9. Викторенков В.И., Волконский Б.В. Циркуляция щелочей в печах с циклонными теплообменниками // Цемент. 1965. №6. С. 12–14.
10. Ходоров Е.И., Корольков А.В. Циркуляция летучих соединений во вращающихся печах с теплообменниками и декарбонизатором // Цемент, 1984. №1. С. 13–15.
11. Klassen V.K., Ermolenko E.P., Michin D.A., Novosyolov A.G. Problem of impurity of salts of alkali metals in cement raw materials. // Middle East Journal of Scientific Research. 2013. Vol. 17. No. 8. Pp. 1130–1137.
12. Лисиенко В.Г., Щеглов Я.М., Ладыгичев М.Г. Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология: Справочное издание: В 2-х книгах. Книга 1. Под ред. В.Г. Лисиенко. М.: Теплотехник, 2004. 688 с.
13. Ерыгина А.О., Мишин Д.А. Взаимодействие алюмоферрита кальция с Na_2CO_3 и Na_2SO_4 . [Электронный ресурс] // Научно-технологические и инновационные технологии: Междунар. науч.-практ. конф. Белгород, 2016. Ч. 1. С. 125–130.

14. Ерыгина А.О., Мишин Д.А. Особенности взаимодействия оксида натрия с трехкальциевым алюминатом и четырехкальциевым алюмоферритом [Электронный ресурс] // Международная научно-техническая конференция молодых ученых. Белгород, 2017.

Информация об авторах

Ерыгина Алена Олеговна, аспирант кафедры технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: erygalyona@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Мишин Дмитрий Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: mishin.da@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Классен Виктор Корнеевич, доктор технических наук, профессор кафедры технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: klassen.vk@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в октябре 2018 г.

© Ерыгина А.О., Мишин Д.А., Классен В.К., 2018

^{1,*}*Erygina A.O., ¹Mishin D.A., ¹Klassen V.K.*

¹*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*

Russia, 308012, Belgorod, str. Kostyukova, 46

**E-mail: erygalyona@yandex.ru.*

THE SEQUENCE OF Na₂O INTERACTIONS WITH CLINKER MINERALS IN THEIR VARIOUS COMBINATIONS

Abstract. *The following impurities of alkaline compounds are always present in the raw mix of cement production: chlorides, sulfates, sodium and potassium carbonates, double salts of alkali metals. They are able to accumulate in the rotary kiln and have a negative impact on the entire technological process of clinker production. It is necessary to study the possible chemical interactions of these compounds with the components of the raw material mixture and the main clinker minerals in all technological zones of the kiln in order to find ways of neutralization compounds in the thermal unit. The temperature ranges up to 1100 and above 1300 °C are fully studied, but the interval of temperatures from 1100 to 1300 °C is not. This research paper is devoted to the study of the sequence of chemical interactions between Na₂O and the main clinker minerals (tricalcium aluminate, four-calcium aluminoferrite and two-calcium silicate) at roasting temperatures from 1100 to 1300 °C. In the course of the research, products of burning sodium oxide with mixtures of portland cement clinker minerals (C₃A, C₄AF and C₂S) in the temperature range corresponding to the temperatures of the exothermic reaction zone in a rotary kiln of cement production are established.*

Keywords: *clinker minerals, alkali metal oxide, sodium aluminate, sodium ferrite, sodium calcium silicate, sodium aluminoferrite, portland cement clinker, alkaline circulation.*

REFERENCES

1. Klassen V.K. Roasting cement clinker. Krasnoyarsk: Stroyizdat, 1994, 323 p.

2. Klassen V.K. Technology and optimization of cement production: a short course of lectures: studies. allowance. Belgorod: BGTU, 2012, 308 p.

3. Klassen V.K., Dolgova E.P. Alkali metal chlorides in cement production: monograph. Belgorod: BGTU, 2015, 182 p.

4. Luginina I.G. Chemistry and chemical technology of inorganic binders: vol. 2, Belgorod: BSTU, 2004, vol. I, 240 p.

5. Taymasov B.T., Klassen V.K. Chemical technology of binding materials: a textbook. Belgorod: BGTU, 2017, 448 p.

6. Klassen V.K. Portland cement technology: selected works. Belgorod: BGTU, 2017, 530 p.

7. Luginina I.G. The mechanism of action of mineralizers and clinker formation in cement raw mix: a course of lectures. Belgorod: BTISM, 1978, 74 p.

8. Taylor H. Cement Chemistry; translation from English M.: Mir. 1996, 560 p.

9. Victorenkov V.I., Volkonsky B.V. Circulation of alkalis in furnaces with cyclone heat exchangers. Bulletin of Cement, 1965, no. 6, pp. 12–14.

10. Khodorov E.I., Korolkov A.V. Circulation of volatile compounds in rotary kilns with heat exchangers and calciner. Bulletin of Cement, 1984, no. 1, pp. 13–15.

11. Klassen V.K., Ermolenko E.P., Michin D.A., Novosyolov A.G. Problem of impurity of salts of alkali metals in cement raw materials. Middle East Journal of Scientific Research, 2013, vol. 17, no. 8, pp. 1130–1137.

12. Lisienko V.G., Scheglov Ya.M., Ladygichev M.G. Rotary kilns: heat engineering, control and ecology: Reference edition: In 2 books. М.: Heat engineer, 2004, 688 p.

13. Erygina A.O., Mishin D.A. Interaction of calcium aluminoferrite with Na_2CO_3 and Na_2SO_4 . High technologies and innovations: Intern. scientific-practical conf. Belgorod, 2016. vol I, pp. 125–130.

14. Erygina A.O., Mishin D.A. Features of the interaction of sodium oxide with tricalcium aluminate and tetracalcium aluminoferrite. International Scientific and Technical Conference of Young Scientists. Belgorod, 2017.

15. Erygina A.O. The influence of Na_2O on the processes of mineral formation of portland cement raw mix: dissertation. ... bachelor. Belgorod: BSTU, 2012, 242 p.

Information about the author

Erygina, Alena O. Postgraduate student. E-mail: erygalyona@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Mishin, Dmitriy A. PhD, Assistant professor. E-mail: mishin.da@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Klassen, Victor K. DSc, Professor. E-mail: klassen.vk@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in October 2018

Для цитирования:

Ерыгина А.О., Мишин Д.А., Классен В.К. Последовательность взаимодействий Na_2O с клинкерными минералами при их различных сочетаниях // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 98–104. DOI: 10.12737/article_5c1c99666664a6.34309543

For citation:

Erygina A.O., Mishin D.A., Klassen V.K. The sequence of Na_2O interactions with clinker minerals in their various combinations. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 12, pp. 98–104. DOI: 10.12737/article_5c1c99666664a6.34309543