

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-84-92

Новоселов А.Г., Васина Ю.А., Новоселова И.Н., Горяйнова Д.Н., Ершова Ю.И.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: novosyolovag@yandex.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ЦИРКУЛЯЦИИ ЛЕТУЧИХ СОЕДИНЕНИЙ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ СУХОГО СПОСОБА ПРОИЗВОДСТВА

Аннотация. В статье рассмотрен вариант снижения циркуляции летучих соединений – соединений серы, калия, натрия, способных накапливаться в системе обжига клинкера, циркулировать и приводить к образованию наростов в декарбонизаторе, циклонном теплообменнике и загрузочной части вращающейся печи. Уменьшить количество циркулирующих соединений в печи можно снижением их степени возгонки путем перевода в менее летучие соединения и вывода этих соединений из системы обжига совместно с клинкером. При этом необходимо обеспечить определенное молярное соотношение между щелочными соединениями и оксидом серы, которое зависит от того какое соединение будет выходить из системы обжига вместе с клинкером. Введение карбоната калия обеспечивает снижение возгонки оксида серы на 16 %, а карбоната натрия – на 45 %, за счет перевода карбонатов в менее возгоняемые сульфаты. Показано изменение свойств цемента – сроков схватывания и прочности, под влиянием соединений, выходящих вместе с клинкером. С увеличением соотношения между щелочными соединениями и оксидом серы начало схватывания цементного теста сокращается на 41 %, конец схватывания – на 26 %. Прочность цемента в начальные сроки твердения увеличивается, а в возрасте 28 суток – снижается.

Ключевые слова: обжиг клинкера, возгонка оксида серы, настыли, соотношение между щелочными соединениями и оксидом серы.

Введение. Одной из основных проблем, возникающих при производстве цемента сухим способом, является образование наростов (настылей) в декарбонизаторе, циклонном теплообменнике и загрузочной части вращающейся печи.

Настыли (рис. 1) приводят к зарастанию циклонов, забиванию течек материала и, как следствие, к нарушению технологического процесса, внеплановым остановкам и длительным простоям оборудования.



Рис. 1. Настыль в загрузочной части вращающейся печи

Основной причиной образования настылей является наличие во вращающейся печи и цик-

лонном теплообменнике соединений хлора, соединений, содержащих оксиды натрия и калия, соединений, содержащих серу в любом виде.

Хлористые соединения, а также соединения натрия, калия и серы попадают в систему обжига клинкера вместе с сырьевыми компонентами. Как правило, источником этих соединений является глинистый компонент. Сера дополнительно содержится в твердом или альтернативном топливе и может поступать в систему при их использовании [1-4]. Все эти соединения циркулируют и накапливаются в печи и нижних ступенях циклонного теплообменника, а также оказывают влияние на процесс обжига и качество клинкера [5-14].

Для снижения вероятности образования настывов необходимо знать причину их возникновения. Так, например, если настывы образуются по причине избыточного количества хлоридов Cl^- , то в качестве основного способа снижения является установка байпасного потока для отбора части отходящих газов с последующим охлаждением и очисткой их в фильтре [15]. Снижение количества Cl^- , содержащегося в материале на входе в печь, происходит более чем в два раза при интенсивности байпаса 2...4 % [16]. Однако байпас является малоэффективным средством для вывода оксида серы из системы обжига клинкера. Эффективным средством для вывода оксида серы из системы обжига клинкера является перевод его в менее возгоняемые соединения и вывод их вместе с клинкером. Количество выведенного SO_3 с клинкером можно регулировать вводом щелочесодержащих соединений. Степень возгонки щелочесодержащих соединений уменьшается в следующей последовательности: хлористые и фтористые соединения, карбонаты, сульфиды, сульфаты. Значительно труднее возгоняются соединения натрия, легче – соединения калия [17]. Для вывода оксида серы с клинкером необходимо обеспечить молярное соотношение между K_2O , Na_2O и SO_3 (A/S) с учетом содержания хлора в определенном интервале [18-19]. Соотношение A/S в клинкере должно находиться в следующих пределах $0,8 < A/S < 1,2$ и определяется по формуле:

$$\frac{A}{S} = \left(\frac{K_2O}{94} + \frac{Na_2O}{62} - \frac{Cl}{71} \right) / \left(\frac{SO_3}{80} \right), \quad (1)$$

где K_2O , Na_2O , Cl , SO_3 – массовые доли соответствующих компонентов в клинкере, %.

Материалы и методы. С целью исключения влияния примесей на результаты исследований в качестве сырьевых материалов для получения клинкера использовались реактивы: $CaCO_3$, SiO_2 , Al_2O_3 и Fe_2O_3 . Источником оксида серы являлся реактив $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, а щелочесодержащего соединения – реактивы K_2CO_3 и Na_2CO_3 . Все реактивы соответствовали чистоте «ч.д.а.».

Определение содержания общей серы в клинкере осуществлялось путем растворения клинкера в смеси азотной и соляной кислоты с дальнейшим осаждением материала хлористым барием [20].

Сроки схватывания цементного теста определялись на приборе Вика согласно методике, указанной в ГОСТ 310.3-76 «Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема».

Для исследования прочности лабораторных цементов изготавливались малые образцы $1,41 \times 1,41 \times 1,41$ см из теста нормальной густоты состава 1:0, которые 1 сутки твердели в ванне с гидравлическим затвором над водой и затем – в воде с температурой 20 ± 2 °С. Испытания на прочность проводились в возрасте 2, 7 и 28 суток. Предел прочности при сжатии вычислялся как среднее арифметическое из трех характерных значений при испытании четырех образцов-близнецов.

Основная часть. Из указанных сырьевых материалов была приготовлена сырьевая смесь для получения рядового клинкера. Расчетный химический состав сырьевой смеси и клинкера представлены в таблице 1. Расчетный минералогический состав и модульные характеристики клинкера представлены в таблице 2.

Таблица 1

Химический состав сырьевой смеси и клинкера, %

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	ППП	Прочие	Сумма
Сырьевая смесь	14,27	3,71	3,09	43,96	34,54	0,43	100
Клинкер	21,80	5,67	4,72	67,16	–	0,66	100

Таблица 2

Расчетный минералогический состав и модульные характеристики клинкера

Минералогический состав, %					Модульные характеристики		
C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	Сумма	КН	n	p
62,96	15,02	7,02	14,35	99,35	0,92	2,1	1,2

В указанную сырьевую смесь сверх 100 % вводились реактив $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, которым регулировалось содержание оксида серы SO_3 , и реактивы карбоната калия K_2CO_3 и карбоната натрия Na_2CO_3 для регулировки соотношения A/S между SO_3 и K_2O , SO_3 и N_2O и для перевода оксида серы из более возгоняемого соединения – CaSO_4 в менее возгоняемое – K_2SO_4 или Na_2SO_4 . Соотношение A/S составляло 0; 0,5; 1 и 1,5. Таким образом, было приготовлено семь сырьевых смесей.

Количество оксида серы SO_3 для всех приготовленных сырьевых смесей было одинаковым и составляло 2,13 % в пересчете на клинкер. Соотношения A/S регулировалось изменением вводимого карбоната калия K_2CO_3 или карбоната натрия Na_2CO_3 . Для компенсации избыточного количества оксида кальция CaO , вводимого с гипсом, в сырьевые смеси вводилось небольшое количество реактива SiO_2 в количестве необходимом для образования алита C_3S .

Обжиг клинкеров проводился в лабораторной печи при температуре 1450 °C с выдержкой 40 минут. Охлаждение клинкеров осуществлялось до 1250 °C в печи со скоростью около 20 °C/мин, моделируя охлаждение клинкера в зоне охлаждения вращающейся печи, и далее резко на воздухе до полного охлаждения.

Обожженные клинкеры характеризуются наличием основных клинкерных минералов и отсутствием свободного оксида кальция (рис. 2). Дополнительные фазы не идентифицируются. Следует отметить, что происходит небольшое смещение дифракционного отражения с максимумом 2.196 Å в области 41 градуса. Предположительно, это может быть связано с образованием твердых растворов, в первую очередь с алитом C_3S , под влиянием вводимых соединений.

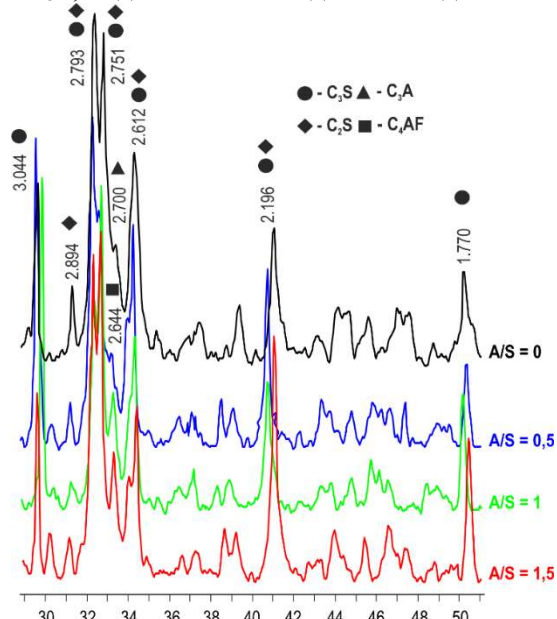


Рис. 2. Влияние соотношения A/S на фазовый состав синтезируемых клинкеров

Количество возгоняющегося оксида серы SO_3 определялось по разнице вводимого в сырьевую смесь SO_3 и оставшегося SO_3 в клинкере после обжига.

Результаты определения остаточного количества SO_3 в клинкере при вводе карбоната калия K_2CO_3 представлены в таблице 3 и на рисунке 3.

При увеличении соотношения A/S, т.е. при повышении содержания K_2CO_3 в сырьевой смеси, наблюдается увеличение фактического содержания SO_3 в клинкере и снижение возгонки SO_3 . Фактическое содержание SO_3 в клинкере увеличивается на 81 % с 0,424 до 0,766 % при повышении соотношения A/S от 0 до 1,5.

Таблица 3

Влияние соотношения A/S на возгонку SO_3 при вводе K_2CO_3

A/S	Расчетное содержание SO_3 в клинкере, %	Фактическое содержание SO_3 в клинкере, %	Возгонка SO_3 , %
0	2,13	0,424	80,1
0,5	2,13	0,525	75,4
1,0	2,13	0,624	70,7
1,5	2,13	0,766	64,0

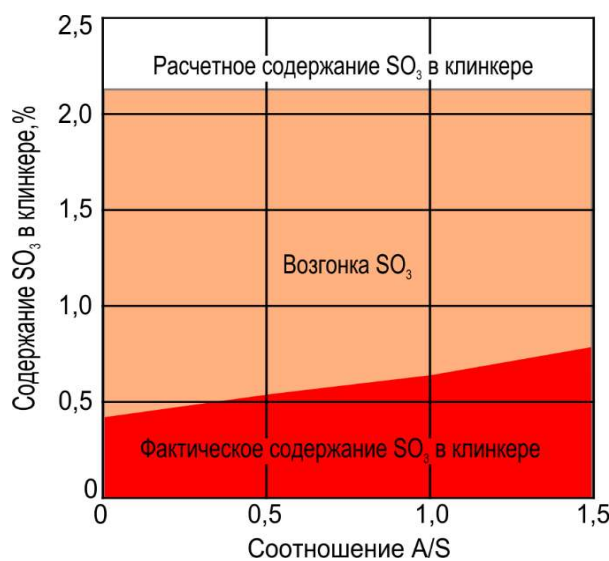


Рис. 3. Влияние соотношения A/S на возгонку SO_3 при вводе K_2CO_3

Следует отметить, что увеличение содержания оксида серы в клинкере при повышении соотношения A/S происходит неравномерно. Максимальное увеличение SO_3 в клинкере 24 % происходит при соотношении A/S, равном 0,5. Для соотношения A/S, равном 1,0, увеличение содержания SO_3 в клинкере составляет 19 %. Для соотношения A/S, равном 1,5, увеличение содержания SO_3 в клинкере составляет 23 %.

Результаты определения остаточного количества SO_3 в клинкере при вводе карбоната натрия Na_2CO_3 представлены в таблице 4 и на рисунке 4.

При увеличении соотношения A/S, т.е. при повышении содержания Na_2CO_3 в сырьевой смеси, наблюдается увеличение содержания SO_3 в клинкере или снижение возгонки SO_3 . Фактическое содержание SO_3 в клинкере увеличивается в 3,3 раза с 0,424 до 1,390 % при повышении соотношения A/S от 0 до 1,5.

Таблица 4

Влияние соотношения A/S на возгонку SO_3 при вводе Na_2CO_3

A/S	Расчетное содержание SO_3 в клинкере, %	Фактическое содержание SO_3 в клинкере, %	Возгонка SO_3 , %
0	2,13	0,424	80,1
0,5	2,13	0,956	55,1
1,0	2,13	1,240	41,8
1,5	2,13	1,390	34,7

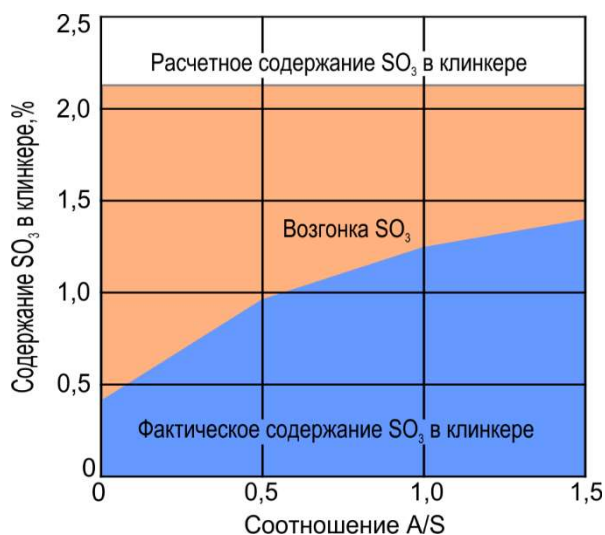
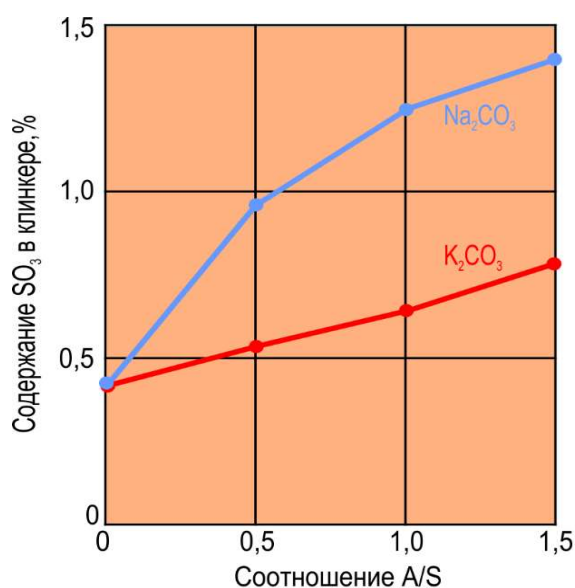


Рис. 4. Влияние соотношения A/S на возгонку SO_3 при вводе K_2CO_3



Так же, как и при корректировке соотношения A/S карбонатом калия K_2CO_3 , при вводе карбоната натрия Na_2CO_3 максимальное увеличение содержания оксида серы SO_3 в клинкере наблюдается при минимальном соотношении A/S, равном 0,5. Повышение содержания SO_3 , в этом случае, составляет более, чем в 2 раза – 125 %. При повышении соотношения A/S до 1,0 количество SO_3 в клинкере увеличивается на 30 %, а при A/S, равном 1,5 – на 12 %.

Следует отметить, что при вводе карбоната натрия Na_2CO_3 фактическое содержание оксида серы SO_3 в клинкере существенно увеличивается, почти в 2 раза, по сравнению с вводом карбоната калия K_2CO_3 . Это как раз подтверждает то, что соли натрия менее возгоняемые, чем соли калия.

Сравнение содержания SO_3 в клинкере и количества возгоняемого оксида серы при вводе карбонатов калия и натрия в зависимости от соотношения A/S представлено на рисунке 5.

Анализируя представленные зависимости (рис. 5), можно сделать вывод, что дальнейшее увеличение соотношения A/S, выше 1,5, скорее всего, будет иметь эффект только при вводе карбоната калия, поскольку наблюдается тенденция к увеличению выходящего с клинкером оксида серы SO_3 и снижению его возгонки. Увеличение же соотношения A/S выше 1,5 при вводе карбоната натрия, скорее всего, не приведет к существенному эффекту и количество оксида серы выходящего с клинкером и возгоняемого в процессе обжига примерно останется на том же уровне. Поэтому увеличение соотношения A/S для снижения возгонки и увеличении содержания оксида серы в клинкере возможно только при его корректировке карбонатом калия.

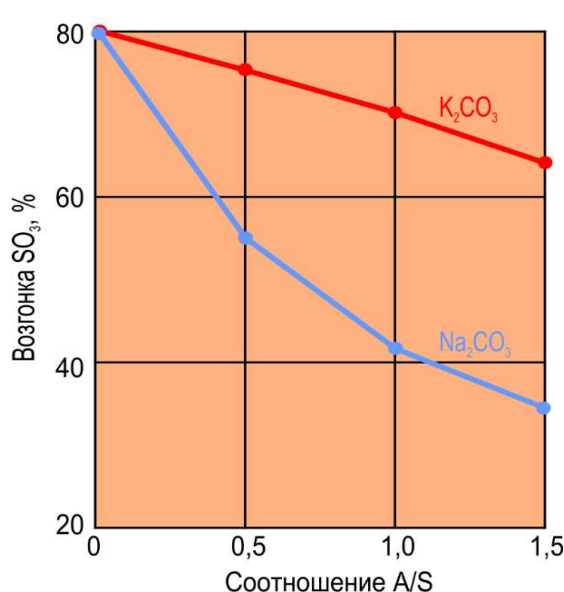


Рис. 5. Влияние вида щелочного карбоната на возгонку и содержание в клинкере SO_3 в зависимости от соотношения A/S

Однако чрезмерное присутствие щелочных сульфатов в клинкере может отрицательно сказаться на свойствах цемента. В первую очередь это относится к срокам схватывания и прочности изделий на основе такого цемента.

Для исследования влияния щелочных сульфатов на сроки схватывания и прочность цемента

было приготовлено три цемента с различным содержанием сульфата калия K_2SO_4 (соединения, в составе которого может выходить оксид серы) и двухводного гипса $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (регулятора сроков схватывания). Соотношения между K_2SO_4 и двухводным гипсом представлено в таблице 5.

Таблица 5

Соотношение между сульфатом калия K_2SO_4 и двухводным гипсом $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ в цементе

№ цемента	Содержание в пересчете на SO_3 , %		Всего SO_3 , %
	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	K_2SO_4	
№1	3	0	3
№2	2	1	3
№3	0	3	3

С учетом того, что для приготовления цементов использовался заводской клинкер, в котором возможно незначительное содержание оксида серы, то общее количество SO_3 добавляемого для всех приготовленных цементов состав-

ляло 3 %, так как, согласно ГОСТ 31108-2016, количество SO_3 для рядового цемента не должно превышать 3,5 %.

Результат определения сроков схватывания цементного теста представлен в табл. 6.

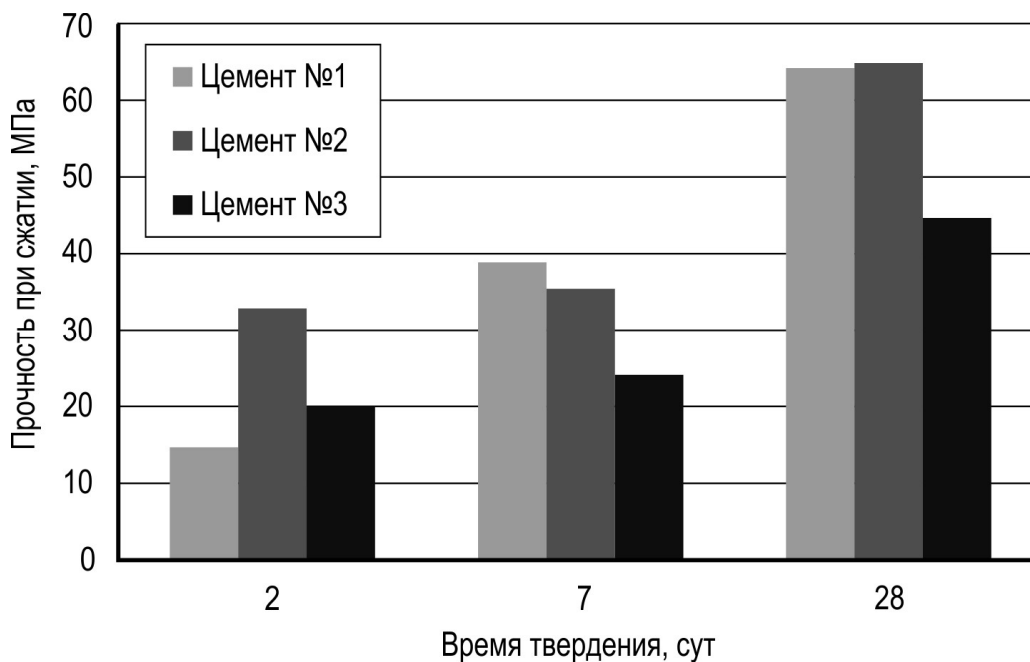
Таблица 6

Сроки схватывания цементного теста, мин

Временной период	№ цемента		
	№1	№2	№3
Начало схватывания	75	57	44
Конец схватывания	117	111	86

Как и следовало ожидать с увеличением количества введенного сульфата калия K_2SO_4 происходит сокращение начала и конца схватывания цемента. При введении 1 % SO_3 , содержащегося в K_2SO_4 , начало схватывания цемента №2 сокра-

щается на 24 %, а при введении 3 % SO_3 , содержащегося в K_2SO_4 (цемент №3) – на 41 % по сравнению с цементом №1 без ввода сульфата калия. Конец схватывания для цемента №2 сокращается незначительно, на 5 % по сравнению с цементом №1, а для цемента №3 – на 26 %.

Рис. 6. Влияние соотношения $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ и K_2SO_4 на гидравлическую активность цементов

Сокращение сроков схватывания для цементов №2 и №3 обусловлено нехваткой двуводного гипса и недостаточным (цемент №2) и отсутствующим (цемент №3) влиянием сульфата кальция на скорость гидратации трехкальциевого алюмината C_3A .

Прочность цементов в возрасте 3, 7 и 28 суток представлена на рисунке 6.

С увеличением количества вводимого в цемент сульфата калия K_2SO_4 повышается прочность образцов в двухсуточном возрасте. Это характерно и для цемента №2 и для цемента №3. Причем прочность цемента №2 увеличивается более, чем в 2 раза по сравнению с цементом №1. Прочность цемента №3 увеличивается на 33 % по сравнению с цементом №1. Это, в первую очередь, связано, так же, как и для изменения сроков схватывания указанных цементов, с нехваткой или отсутствием двуводного гипса и, соответственно, с недостаточной блокировкой гидратации цементов на начальном этапе твердения. К семи суткам твердения прочности цементов №1 и №2 становятся практически одинаковыми. Причем прочность цемента №1 увеличивается в 2,6 раза, а прочность цемента №2 всего на 12,5 %. Прочность цемента №3 является минимальной – 24 МПа. Однако, следует отметить, что, несмотря на минимальное абсолютное значение прочности цемента №3, увеличение его прочности составило 20 % по сравнению с двухсуточным возрастом, то есть больше, чем прирост прочности цемента №2.

В возрасте 28 суток прочность цементов №1 и №2 выравниваются и составляют около 64 МПа, а прочность цемента №3 – 45 МПа. Это как раз свидетельствует о негативном влиянии сульфата калия на прочность цемента №3 и отсутствии влияния на прочность цемента №2 в 28-суточном возрасте.

Выводы.

1. Для снижения циркуляции летучих соединений в печи сухого способа производства и снижения вероятности образования настывлей необходимо обеспечить соотношение между щелочными соединениями в пересчете на K_2O и Na_2O и оксидом серы SO_3 A/S примерно равным 1. При этом, в зависимости от того, какие соединения преобладают, натрия или калия, соотношение A/S можно регулировать в большую или меньшую сторону. При большем содержании соединений натрия соотношение A/S может быть уменьшено. При большем содержании соединений калия – наоборот увеличено.

2. Увеличение соотношения A/S от 0 до 1,5 способствует выводу оксида серы SO_3 в виде щелочных сульфатов с клинкером и снижению его возгонке. Общее количество оксида серы SO_3 ,

выходящее с клинкером увеличивается на 81 % при вводе карбоната калия K_2CO_3 и в 3,3 раза при вводе карбоната натрия Na_2CO_3 по сравнению с A/S равном 0.

3. Наличие в клинкере щелочных сульфатов изменяет сроки схватывания цементного теста. Время начала схватывания сокращается на 24 и 41 %, а время конца схватывания – на 5 и 26 % при введении 1 и 3 % SO_3 , содержащегося в K_2SO_4 , соответственно.

4. Наличие в клинкере щелочных сульфатов способствует увеличению прочности образцов на начальном этапе твердения. В двухсуточном возрасте при вводе 1 % SO_3 , содержащегося в K_2SO_4 , прочность цемента увеличивается более, чем в 2 раза, а при вводе 3 % SO_3 , содержащегося в K_2SO_4 – на 33 %. В возрасте 28 суток прочность цементов без K_2SO_4 и с 1 % SO_3 , содержащегося в K_2SO_4 , составляют одинаковые значения – 64 МПа. Прочность цемента с 3 % SO_3 , содержащегося в K_2SO_4 составляет минимальное значение – 45 МПа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Cortada Mut M. D. M., Dam-Johansen K., Glarborg P., Nørskov, L. K. Sulfur Release during Alternative fuels Combustion in Cement Rotary Kilns. Copenhagen: DTU Library. 2014. 248 p.
2. Cortada Mut M. D. M., Nørskov, L. K., Glarborg P., Dam-Johansen K., Sulphur release from alternative fuel firing // Global Cement Magazine. 2014. September. URL: <https://www.globalcement.com/magazine/articles/878-sulphur-release-from-alternative-fuel-firing>
3. Борисов И.Н., Мандрикова О.С. Применение топливосодержащих отходов в производстве цемента // Цемент Информ. 2014. №1. С. 9–11.
4. Борисов И.Н., Мандрикова О.С., Мишин Д.А. Нефтяной кокс – альтернативное топливо для цементной вращающейся печи // Современные проблемы науки и образования. 2014. №6. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=16660>
5. Chatterjee A.K., Cement Production Technology. Principles and Practice. Boca Raton: Taylor & Francis Group. 2018. 419 p.
6. Klassen V.K., Ermolenko E.P., Novosyolov A.G., Mishin D.A. Problem of impurity of salts of alkali metals in cement raw materials // Middle-East Journal of Scientific Research. 2013. №17 (8). Pp. 1130–1137. URL: [http://idosi.org/mejsr/mejsr17\(8\)13/18.pdf](http://idosi.org/mejsr/mejsr17(8)13/18.pdf)
7. Классен В. К. Технология и оптимизация производства цемента: учебное пособие. Белгород: Изд-во БГТУ. 2012. 308 с.

8. Классен В.К. Технология портландцемента: избранные труды. Белгород: Изд-во БГТУ. 2017. 530 с.

9. Locher G., Klein H. Modeling circulating sulfur, chlorine and alkali systems in the clinker burning process; part 1: comparison of measurement and calculation // Cement International. 2009. №3. Pp. 74–87.

10. Locher G., Klein H. Modeling circulating sulfur, chlorine and alkali systems in the clinker burning process; part 2: theory and discussion // Cement International. 2009. №4. Pp. 64–75.

11. Enders M., Haeseli U. Reactions of alkalis, chlorine and sulfur during clinker production // Cement International. 2011. №3. Pp. 38–53.

12. Tokheim L.-A., Kiln system modification for increased utilization of alternative fuels at Norcem Brevik // Cement International. 2006. №4. Pp. 52–59.

13. Klein H., Hoenig V. Model calculations of the fuel energy requirement for the clinker burning process // Cement International. 2006. №3. Pp. 44–63.

14. Штарк Й., Вихт Б. Цемент и известь. Пер. с нем. А. Тулаганова. Под ред. П. Кривенко. Киев. 2008. 470 с.

15. Schneider C., Schulz M., Hamman B. Production of glass products – a possible new way of utilizing dusts from the cement industry // Cement International. 2007. №1. Pp. 64–73.

16. Nobis R. General report WZ Congress 2009: Burning Technology // Cement International. 2009. №5. Pp. 52–71.

17. Лугинина И.Г. Избранные труды. Белгород: Изд-во БелГТАСМ. 2002. 302 с.

18. Капан М. Циркуляционные явления при обжиге клинкера. Часть I // Цемент и его применение. 2017. №5. С. 44–49.

19. Капан М. Циркуляционные явления при обжиге клинкера. Часть II // Цемент и его применение. 2017. №6. С. 34–41.

20. Ботвинкин О.К., Клюковский Г.И., Мануйлов Л.А. Лабораторный практикум по общей технологии силикатов и техническому анализу строительных материалов. Под ред. Косякина З. К. М.: Стройиздат. 1966. 400 с.

Информация об авторах

Новоселов Алексей Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: novosyolovag@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

Васина Юлия Андреевна, магистрант. E-mail: vasinajulia1511@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

Новоселова Инна Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: grebenik_inna@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

Горайнова Диана Николаевна, магистрант. E-mail: dianka19996@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

Ершова Юлия Ивановна, магистрант. E-mail: ershova.yulya10@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

Поступила 27.05.2020

© Новоселов А.Г., Васина Ю.А., Новоселова И.Н., Горайнова Д.Н., Ершова Ю.И., 2020

***Novosyolov A.G., Vasina Y.A., Novoselova I.N., Goriaynova D.N., Ershova Yu.I.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

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

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF REDUCING THE CIRCULATION OF VOLATILE COMPOUNDS IN A ROTARY KILN OF A DRY PRODUCTION METHOD

Abstract. The article considers a method of reducing the circulation of volatile compounds – sulfur, potassium, sodium compounds that can accumulate in the clinker burning system, circulate and lead to the formation of growths and deposits in the calciner, preheater and the loading part of the rotary kiln. The number of circulating compounds in the rotary kiln can be reduced by decreasing their degree of sublimation by converting them to less volatile compounds and removing these compounds from the firing system together with

the clinker. In this case, it is necessary to provide a certain molar ratio between alkaline compounds and sulfur oxide, which depends on which compound will leave the burning system together with clinker. The introduction of potassium carbonate reduces the sublimation of sulfur oxide by 16 %, and sodium carbonate-by 45 %, due to the transfer of carbonates to less sublimable sulfates. The change of cement properties – setting time and strength, under the influence of compounds coming out with the clinker is shown. The start of setting of the cement paste is reduced by 41 %, the end of setting by 26 % with an increase in the ratio between alkaline compounds and sulfur oxide. The strength of cement in the initial period of hardening increases, and at the age of 28 days – decreases.

Keywords: clinker burning, volatility of sulfur oxide, crust, the ratio between alkaline compounds and sulfur oxide.

REFERENCES

1. Cortada Mut M.D.M., Dam-Johansen K., Glarborg P., Nørskov, L.K. Sulfur Release during Alternative fuels Combustion in Cement Rotary Kilns. Copenhagen: DTU Library. 2014. 248 p.
2. Cortada Mut M.D.M., Nørskov L.K., Glarborg P., Dam-Johansen K., Sulphur release from alternative fuel firing. Global Cement Magazine. 2014. September. URL: <https://www.globalcement.com/magazine/articles/878-sulphur-release-from-alternative-fuel-firing>
3. Borisov I.N., Mandrikova O.S. The use of fuel-containing waste in cement production. Cement Inform. 2014. No. 1. Pp. 9–11.
4. Borisov I.N., Mandrikova O.S., Mishin D.A. Petroleum coke - an alternative fuel for a cement rotary kiln. Modern problems of science and education. 2014. No. 6. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=16660>
5. Chatterjee A.K., Cement Production Technology. Principles and Practice. Boca Raton: Taylor & Francis Group. 2018. 419 p.
6. Klassen V.K., Ermolenko E.P., Novosyolov A.G., Mishin D.A. Problem of impurity of salts of alkali metals in cement raw materials. Middle-East Journal of Scientific Research. 2013. No. 17 (8). Pp. 1130–1137. URL: [http://idosi.org/mejsr/mejsr17\(8\)13/18.pdf](http://idosi.org/mejsr/mejsr17(8)13/18.pdf).
7. Klassen V.K. Technology and optimization of cement production: a training manual. Belgorod: publishing house of BSTU named after V.G. Shukhov. 2012. 308 p.
8. Klassen V.K. Portland Cement Technology: Selected Works. Belgorod: publishing house of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. 530 p.
9. Locher G., Klein H. Modeling circulating sulfur, chlorine and alkali systems in the clinker burning process; part 1: comparison of measurement and calculation. Cement International. 2009. No. 3. Pp. 74–87.
10. Locher G., Klein H. Modeling circulating sulfur, chlorine and alkali systems in the clinker burning process; part 2: theory and discussion. Cement International. 2009. No. 4. Pp. 64–75.
11. Enders M., Haeseli U. Reactions of alkalis, chlorine and sulfur during clinker production. Cement International. 2011. No. 3. Pp. 38–53.
12. Tokheim L.-A., Kiln system modification for increased utilization of alternative fuels at Norcem Brevik. Cement International. 2006. No. 4. Pp. 52–59.
13. Klein H., Hoenig V. Model calculations of the fuel energy requirement for the clinker burning process Cement International. 2006. No. 3. Pp. 44–63.
14. Stark J., Vikht B. Cement and lime. German translation A. Tulaganova. Edited by P. Krivenko. Kiev. 2008. 470 p.
15. Schneider C., Schulz M., Hamman B. Production of glass products – a possible new way of utilizing dusts from the cement industry. Cement International. 2007. No. 1. Pp. 64–73.
16. Nobis R. General report WZ Congress 2009: Burning Technology. Cement International. 2009. No. 5. Pp. 52–71.
17. Luginina I.G. Selected Works. Belgorod: publishing house of BSTU named after V.G. Shukhov. 2002. 302 p.
18. Kapan M. Circulation phenomena during clinker burning. Part I. Cement and its application. 2017. No. 5. Pp. 44–49.
19. Kapan M. Circulation phenomena during clinker burning. Part II. Cement and its application. 2017. No. 6. Pp. 34–41.
20. Botvinkin O.K., Klyukovsky G.I., Manuylov L.A. Laboratory workshop on general technology of silicates and technical analysis of building materials. Edited by Kosyakina Z.K. M.: Stroyizdat. 1966. 400 p.

Information about the authors

Novosyolov, Alexey G. PhD. E-mail: novosyolovag@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Vasina, Yulia A. undergraduate. E-mail: vasinajulia1511@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Novoselova, Inna N. PhD. E-mail: grebenik_inna@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Goriaynova, Diana N. undergraduate. E-mail: dianka19996@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Ershova, Yulya I. Undergraduate. E-mail: ershova.yulya10@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 27.05.2020

Для цитирования:

Новоселов А.Г., Васина Ю.А., Новоселова И.Н., Горяйнова Д.Н., Ершова Ю.И. Исследование возможности снижения циркуляции летучих соединений во вращающейся печи сухого способа производства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 7. С. 84–92. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-84-92

For citation:

Novosyolov A.G., Vasina Y.A., Novoselova I.N., Goriaynova D.N., Ershova Yu.I. Investigation of the possibility of reducing the circulation of volatile compounds in a rotary kiln of a dry production method. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 7. Pp. 84–92. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-84-92