

EFFECT OF BASALT ON THE PROCESSES OF MINERAL FORMATION DURING THE SYNTHESIS OF PORTLAND CEMENT CLINKER

Zamira MUKHAMEDBAEVA

Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan, mzamira1946@gmail.com

Erkin KURBANOV

LLC "NAMANGANTSEMENT", Namangan, Uzbekistan, erkin.kurbanov1976@gmail.com

Masuda MUHKAMEDBAEVA

Institute of General and Inorganic Chemistry, Tashkent, Uzbekistan, sciencecemtech@mail.ru

Shokhrukh NAIMOV

Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan, shoxruxnaimov820@gmail.com

Follow this and additional works at: <https://cce.researchcommons.org/journal>

Recommended Citation

MUKHAMEDBAEVA, Zamira; KURBANOV, Erkin; MUHKAMEDBAEVA, Masuda; and NAIMOV, Shokhrukh () "EFFECT OF BASALT ON THE PROCESSES OF MINERAL FORMATION DURING THE SYNTHESIS OF PORTLAND CEMENT CLINKER," *CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING*: Vol. 2022: No. 2, Article 6. DOI: 10.34920/cce202226

Available at: <https://cce.researchcommons.org/journal/vol2022/iss2/6>

This Article is brought to you for free and open access by Chemistry and Chemical Engineering. It has been accepted for inclusion in CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING by an authorized editor of Chemistry and Chemical Engineering. For more information, please contact zuchra_kadirova@yahoo.com.

EFFECT OF BASALT ON THE PROCESSES OF MINERAL FORMATION DURING THE SYNTHESIS OF PORTLAND CEMENT CLINKER

Zamira MUKHAMEDBAEVA¹ (mzamira1946@gmail.com), Erkin KURBANOV² (erkin.kurbanov1976@gmail.com), Masuda MUKHAMEDBAEVA³ (sciencecemtech@mail.ru), Shokhrux NAIMOV¹ (shoxruxnaimov820@gmail.com)

¹Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan

²LLC "NAMANGANTSEMENT", Namangan, Uzbekistan

³Institute of General and Inorganic Chemistry, Tashkent, Uzbekistan

The article explores the features of the physicochemical and technological processes of clinker synthesis under the conditions of changing the traditional raw material base using non-traditional raw materials and the development of principles for controlling the firing process and ways to improve the quality of clinker. The features of physicochemical processes of clinker burning when using basalt-containing rocks are revealed. It is shown that during the firing of basalt-containing clinker, an increased amount of alumina-ferrite composition melt is formed. Since $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, formed at 1200°C, hydrates faster than $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ of Portland cement, an increase in the content of the aluminoferrite phase in clinker obtained at lower temperatures than traditional compositions, and the enrichment of this phase with iron can favorably affect the properties Portland cement clinker. It is shown that the phase transformations occurring in basalts as a result of reactions and the emerging low-temperature melt intensify the processes of clinker formation. The ideas about the features of the process of phase and structure formation, the formation of the strength of basalt-containing Portland cement have been developed and expanded.

Keywords: portland cement clinker, low-temperature melt, mineral formation, clinker strength formation

ВЛИЯНИЕ БАЗАЛТА НА ПРОЦЕССЫ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ ПРИ СИНТЕЗЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

Замира МУХАМЕДБАЕВА¹ (mzamira1946@gmail.com), Эркин КУРБАНОВ² (erkin.kurbanov1976@gmail.com), Масъуда МУХАМЕДБАЕВА³ (sciencecemtech@mail.ru), Шохрух НАИМОВ¹ (shoxruxnaimov820@gmail.com).

¹Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан

²ООО «NAMANGANSEMENT», Наманган, Узбекистан

³Институт общей и неорганической химии, Ташкент, Узбекистан

Целью исследования являлось определение влияния базальта месторождения Каракия на процессы минералообразования при синтезе портландцементного клинкера. Исследованы особенности физико-химических и технологических процессов синтеза клинкера в условиях изменения традиционной сырьевой базы с использованием нетрадиционных сырьевых материалов и разработкой принципов управления процессом обжига и способов повышения качества клинкера. Выявлены особенности физико-химических процессов обжига клинкера при использовании базальтосодержащих пород. Показано, что при обжиге базальтосодержащего клинкера образуется повышенное количество расплава алюмоферритного состава. Поскольку $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, образующийся при 1200 °С, гидратируется быстрее, чем $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ портландцемента, то повышение содержания алюмоферритной фазы в клинкере, получаемого при более низких температурах, чем традиционные составы, и обогащение этой фазы железом благоприятно сказывается на свойствах портландцементного клинкера. Показано, что протекающие в базальтах фазовые превращения вследствие возникающего низкотемпературного расплава, интенсифицируют процессы клинкерообразования. Развита и расширена представления об особенностях процесса фазо- и структурообразования, формирования прочности базальтосодержащего портландцемента.

Ключевые слова: цементный клинкер, низкотемпературный расплав, минералообразование, прочность

PORTLANDCEMENT KLINKERINING MINERALLARI HOSIL BO'LIH JARAYONIGA BAZALTNI TA'SIRI

Zamira MUXAMEDBAEVA¹ (mzamira1946@gmail.com), Erkin QURBONOV² (erkin.kurbanov1976@gmail.com), Ma'suda MUXAMEDBAEVA³ (sciencecemtech@mail.ru), Shoxrux NAIMOV¹ (shoxruxnaimov820@gmail.com).

¹Toshkent kimyo-texnologiya instituti, Toshkent, O'zbekiston

²MChJ "NAMANGANSEMENT", Namangan, O'zbekiston

³Умумий ва ноорганик кимё институту, Toshkent, O'zbekiston

Maqolada noan'anaviy xomashyo materiallari qo'llanilganida klinker sintezining fizik-kimyoviy va texnologik jarayonlarini tadqiq qilish hamda kuydirish jarayonini boshqarish va klinker sifatini oshirish printsiplarini ishlab chiqarilgan. Taribida bazalbt bo'lgan jinslarni qo'llashda klinkerni kuydirishning o'ziga xos fizik-kimyoviy jarayonlari ko'rsatilgan. Bazalbt shishasining parchalanish jarayonida (Ca, Fe) tarkibli avgiting hosil bo'lishi, undagi ikki valentli temirning oksidlanishi natijasida gematit va kvartsnig ajralishi aniqlangan. Taribida bazalbt bo'lgan klinkerlarni kuydirishda katta miqdorda alyumoferrit tarkibli suyuqlanma hosil bo'ladi. Binobarin, 1200oC haroratda hosil bo'ladigan $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ portlandtse mentdagi CaO va Fe_2O_3 ga nisbatan tez gidratlanaganligi sababli, temir bilan boyigan ushbu faza an'anaviy tarkiblarga nisbatan past haroratlarda olinadi va klinkerda alyumoferrit fazaning ortishi portlandtsement klinkeri xossalari da ijobiy namoyon bo'lishi mumkin. Bazalbtlarda reaksiyalarning ta'sirida boradigan fazaviy o'zgarishlar va past haroratli suyuqlikning paydo bo'lishi, klinker hosil bo'lishi reaksiyalarini jadallashtiradi.

Kalit so'zlar: portlandtsement klinkeri, past haroratli eritma, minerallar hosil bulishi, klinker mustaxkamligi

DOI: 10.34920/cee202226

Введение
Процесс высокотемпературного спекания портландцементного клинкера исследовался как с позиций физико-химических превращений в природных смесях, без и в присутствии большого числа дифузирующих [1-14], так и с позиций

оптимизации условий протекания процесса спекания в промышленных печных агрегатах [15-18]. При всей широте и глубине проведенных исследований необходимо отметить, что на сегодняшний день существуют проблемы развития перспективного направления по разработке физико-химических и

технологических основ высокотемпературного спекания портландцементного клинкера с использованием нетрадиционного сырья [19-27]. Целью исследования являлось определение влияния базальта месторождения Каракия на процессы минералообразования при синтезе портландцементного клинкера.

Методы исследований

Химический анализ проводили по ГОСТ 5382-91. Физико-механические и технологические свойства шлама, портландцементного клинкера и портландцемента определяли по ГОСТ 31108-2003 и ГОСТ 310.4-81.

Фазовый состав сырьевых материалов, промежуточных продуктов и готовой продукции цементного производства определяли на современном дифрактометре XRD-6100 (Shimadzu, Japan), управляемом компьютером. Применяли CuK_α – излучение (β -фильтр, Ni, 1,54178. Режим тока 30 mA и напряжение трубки 30 kV), постоянная скорость вращения детектора 4 град/мин с шагом 0,02 град. ($\omega/2\theta$ -сцепление), угол сканирования изменялся 4 до 80°. Дифференциально-термический анализ осуществлен на термоаналитическом приборе Netzsch Simultaneous Analyzer STA 409 PG (Германия), с термопарой К-типа (Low RG Silver) и алюминиевыми тиглями. Все измерения были проведены в инертной азотной атмосфере со скоростью потока азота 50 мл/мин. Температурный диапазон измерений составлял 20-400 °С, скорость нагрева равнялась 5 К/мин. Инфракрасные спектры получены на приборе Nicoletl S-50 FTIR Advanced KBr Gold spectrometer+Nicolet Continuum, производитель – Thermo Scientific (USA). Электронно-микроскопический анализ проводился на сканирующем электронном микроскопе EVAV10 (Zeiss, Germany). Образцы покрывались тонким слоем углерода толщиной 15 нм.

Результаты и обсуждение

Результаты определения химического состава исходного алюмосиликатного сырья – базальтов месторождения Каракия, диабазов месторождения Балпантау, известняков месторождения Балыкли-Тау и лесса Хилковского месторождения приведены в таблице 1.

Анализ состава базальта месторождения Каракия показал многофазность исследуемой горной породы. По микроскопическим, рентгенографическим и электронно-микроскопическим данным в них присутствуют несколько основных фаз в виде щелочосодержащего анортита с формулой $(\text{Na,Ca})\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$; железосодержащего пироксенового твердого раствора типа диопсида $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$, авгита $\text{Ca}(\text{Mg,Fe}^{2+})[\text{Si}_2\text{O}_6\cdot\text{CaFe}[\text{AlSiO}_6]]$, эгирира $\text{Na,Fe}^{3+}[\text{Si}_2\text{O}_6]$; актинолита $\text{Ca}_2[\text{Mg,Fe}]_5[\text{OH}]_2[\text{Si}_8\text{O}_{22}]$; эпидота $\text{Ca}_4\text{Al}_6[\text{OH}]_2\text{O}_3[\text{Si}_2\text{O}_7]_3$; кварца SiO_2 .

При введении базальта соотношение компонентов для сырьевой смеси составляет (% по массе): известняк – 75,52; лесс – 18,73; базальт – 2,48; огарки – 3,24. По данным расчета 3-х и 4-х компонентной сырьевой смеси установлено, что при введении в шихту базальта в качестве 4-го компонента расход известняка остаётся почти неизменным 1183 и 1190 кг/т клинкера соответственно. Количество вводимого базальта 42 кг/т клинкера, компенсируется за счет уменьшения количества лесса в сырьевой смеси (369 и 325 кг/т клинкера соответственно) [28-29].

Поскольку $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$, образующийся при 1200 °С, гидратируется быстрее, чем CaO и Fe_2O_3 портландцемента, то повышение содержания алюмоферритной фазы в клинкере, получаемом при более низких температурах, чем традиционные составы, и обогащение этой фазы железом может благоприятно сказаться на свойствах клинкера. Поэтому, нами были

Таблица 1

Химический состав сырьевых материалов

Компоненты	Содержание оксидов, масс.%								Сумма
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	ППП	
Известняк	2,18	0,61	0,31	52,69	0,86	0,30	0	42,41	99,26
Лёсс	54,63	11,65	4,74	10,00	2,80	0,63	0	11,36	95,81
Базальт	58,46	18,20	7,0	6,18	2,66	1,72	2,35	2,39	98,96
Диабаз	59,48	15,21	6,62	3,26	5,16	1,62	0	2,49	93,84
Огарки	33,10	7,92	41,49	3,58	2,61	2,87	0	0	91,57

Таблица 2

Химический анализ шлама сырьевых смесей

Шлам	Содержание оксидов, масс.%,						Титр, %
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Сумма	
Четырех компонентная смесь	14,05	3,30	3,03	42,65	1,23	64,26	78,37
Трех компонентная смесь	13,96	3,21	3,00	41,84	1,21	63,32	78,00

расчитаны химические составы шлама сырьевых смесей (табл. 2).

Опыты по обжигу шлама из 3-х компонентной сырьевой смеси проводились на вращающейся печи размером Ø4x140 м мокрого способа производства с рекуператорным холодильником. Технологические характеристики клинкера: гидравлический модуль – 2,10; калориметрический модуль – 2,43; коэффициент спекаемости – 0,58; индекс обжигаемости – 3,09. ТЭК – 1648 кДж/кг.кл (394 ккал/кг кл).

Обжиг 4-х компонентной сырьевой смеси проводили по сухому способу производства во вращающейся печи с декарбонизатором и колосниковым холодильником [28- 33].

Результаты испытаний клинкера из 4-х компонентной сырьевой смеси приведены в таблице 3.

Из данных таблицы 3 видно, что активность клинкера при пропаривании из 4-х компонентной сырьевой смеси на 5% выше, чем показатели клинкера из 3-х компонентной сырьевой смеси. Прочностные показатели це-

ментов к 28 суткам твердения примерно одинаковы, они удовлетворяют действующим межгосударственным стандартам и их прочностные показатели соответствуют портландцементам марки «400» [30, 32].

Портландцементные сырьевые смеси при температуре 1200-1300 °С состоят из минералов, образовавшихся в твердых фазах, и не прореагировавшего свободного оксида кальция. Дальнейшее повышение температуры вызывает появление расплава, процесс спекания идет с участием жидкой фазы. Происходит растворение плотных частиц оксида кальция с образованием двухкальциевого силиката. При достаточном насыщении жидкой фазы необходимыми компонентами начинается процесс кристаллизации с выделением новой фазы – трехкальциевого силиката.

Процессы, протекающие при обжиге традиционных сырьевых смесей, включающих глинистый компонент, изучены достаточно хорошо. Последовательность образования минералов при обжиге сырьевой смеси с глинистым

Таблица 3

Показатели прочности портландцементного клинкера и цемента

Цементы	Ввод добавок, %	Активность при пропаривании, МПа				Предел прочности цемента в возрасте 28 суток, МПа	
		Клинкер ПЦ		Цемент ПЦ 400-Д20			
		изгиб	сжатие	изгиб	сжатие	изгиб	сжатие
4-х компонентная сырьевая смесь	18,0-19,0	3,9	27,7	3,9	24,5	5,8	40,5
3-х компонентная сырьевая смесь	15,0-16,0	3,7	26,4	3,8	24,3	6,0	40,6

компонентом была выведена В.В.Тимашевым и др. [15-18]. Нами при исследовании фазового состава 4-х компонентной сырьевой смеси базальтсодержащего портландцементного клинкера, параллельно изучались смеси традиционного 3-х компонентного состава, была выявлена не идентичность очередности образования минералов при обжиге шихты с базальтом и глиной. При содержании глиносодержащих компонентов в виде первичных новообразований фиксируется геленит -700 °С, алюминаты кальция - 900 °С и двухкальциевый силикат - 1000 °С. Геленит присутствует до температуры 1250 °С, кварц до 1200 °С. Формирование алита начинается при 1250 °С, т.е. при температуре на 100 °С более высокой чем при смесях с базальтом.

Состав новообразований, возникающих при обжиге шихты с базальтом и контрольных смесей традиционного состава, существенно отличается. Различны и температурные границы появления основных клинкерных минералов. Различия связаны с особенностями поведения базальта при нагревании. В исследуемом образце базальта по рентгенофазовому анализу фиксируется авгит $d = 0,162; 0,252; 0,298$ нм или диопсид $d = 0,294; 0,298; 0,323$ нм, входящих в группу пироксенов. В образце фиксируются, наличие минералов группы плагиоклазов, к ней относятся и анортит $d = 0,286; 0,292; 0,322;$

$0,404$ нм. Присутствуют также железосодержащие минералы гематит $d = 0,269; 0,259$ нм, магнетит $d = 0,254; 0,210$ нм и вюстит $d = 0,214$ нм. Порода начинает плавиться при нагревании до температуры 1150 °С. Окончание процесса плавления должно наблюдаться при температурах, близких к 1300 °С. Нагревание базальта до 900 °С не вызывает существенных изменений в его фазовом составе незначительно смещается положение рефлексов с $d = 0,252-0,254$ и $0,292-0,298$ нм, что может быть связано наложением линий различных минералов авгит –магнетит-гематит и изменения состава плагиоклазов в сторону содержания анортита. (рис.1.а). После нагревания до 1000 °С начинается изменение кристаллов, предшествующее плавлению. Плавление минералов пироксеновой группы интенсивно протекает с температуры 1250 °С. При 1200-1250 °С присутствуют рефлексы только двух соединений: плагиоклаза и гематита. При 1300 °С рентгенограмма приобретает вид, характерный для стекловидных веществ, что свидетельствует о полном плавлении базальта. Таким образом, можно считать процесс плавления базальта порядка 1250 °С т.к. остаточное количество плагиоклаза и гематита невелико. т.к. остаточное количество плагиоклаза и гематита невелико.

На термограммах чистого базальта и 4-х компонентной сырьевой смеси никаких эффек-

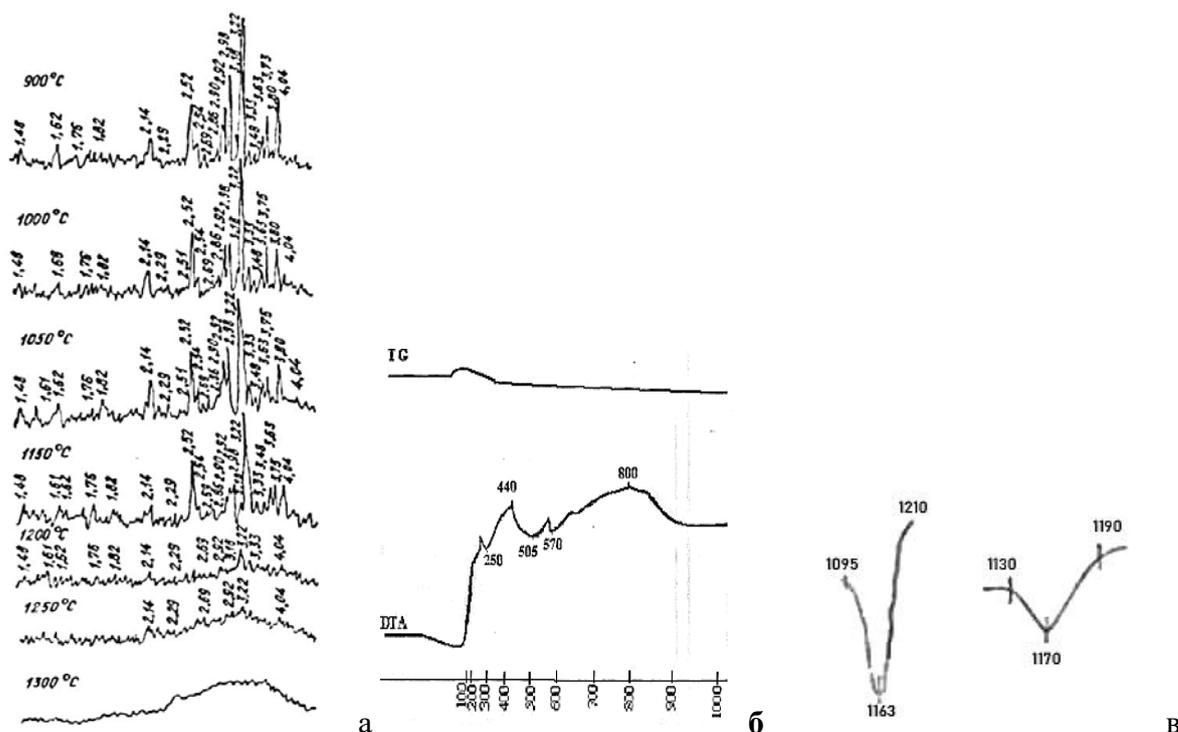


Рисунок 1. Рентгенограммы (а), термограммы (б) изменения состава твердых растворов при нагревании чистого базальта и смеси с базальтом (в).

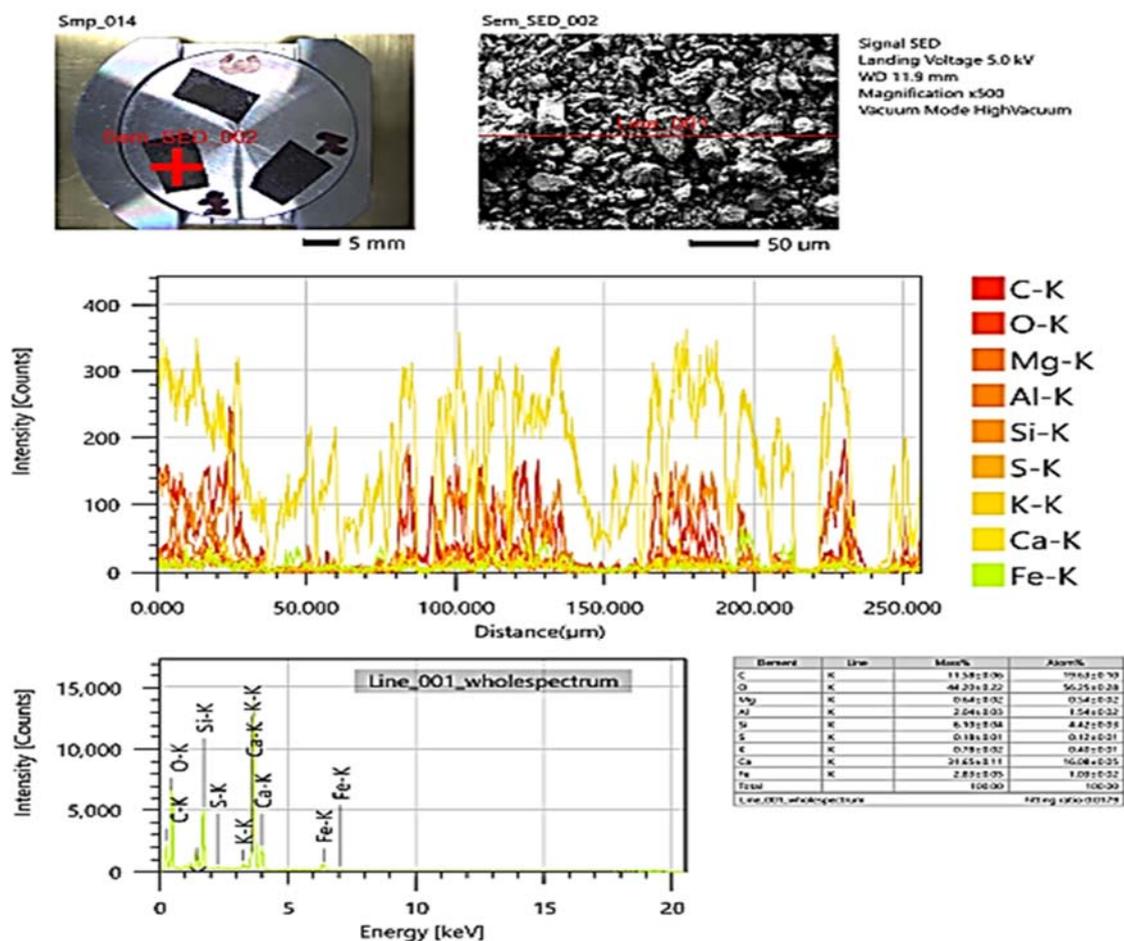


Рисунок 2. Электронно-рентгеновские изображения образцов клинкера 4-х компонентной сырьевой смеси сухого способа.

тов, свидетельствующих о формировании новообразований, не было обнаружено. Отличие состояло лишь в некотором уменьшении глубины эндотермического эффекта, соответствующего процессу плавления базальта, и изменению его температурных границ: начало плавления наступает при температуре на 40° более высокой, чем при нагревании чистого базальта, что свидетельствует об изменении состава базальта в присутствии оксида кальция в период, предшествующий плавлению (рис. 1б, 1в).

Причинами раннего появления двухкальцевого силиката является то, что кремнезем, необходимый для образования C_2S , входит в состав базальта в виде кристаллических соединений - силикатов и алюмосиликатов, стекловидного и примесного кварца.

Когда количество ионов кальция, выделившееся при декарбонизации, становится избыточным по отношению к поглощаемому твердыми растворами, происходит обычный для системы оксид кальция – кремнезем процесс разрыва силоксановых связей в поверхностных слоях кристаллов, частиц стекловидного вещества и примесного кремнезема. Высказанное предположение подтверждено электронно-рентгеновским анализом. Электронное изображение поверхно-

сти портландцементного клинкера 4-х компонентной сырьевой смеси свидетельствует о зернистом строении материала, размер зерен составляет примерно 15-30 мкм округлой формы, ограненные слоями алюминия и железа. При обжиге базальтовых шихт таких затравок больше, чем в контрольных составах, что и объясняет опережающий рост количества алита в смесях с базальтом на завершающих стадиях обжига. Кроме пор в базальтовом клинкере бывают участки с повышенным содержанием кремния и отсутствием в этих местах кальция. Цементный клинкер состоит из отдельных зерен блоков-агрегатов, отличающихся друг от друга составом, границы этих блоков выражены четко. По рентгеновскому изображению этой же поверхности в лучах К для Ca, Si, Al, Fe представленное на (рис. 2.) видно, что кальций распределен по площади образца более равномерно, чем кремний, алюминий и железо [24-27, 33-34]. Кремний распределен в основном в зернах. Отдельные зерна имеют большую светлоту, эти участки представляют белит. Алюминий и железо распределены по площади клинкера менее равномерно и в основной массе находятся между зернами алита и белита [34].

Клинкер отчетливый, равномерно зерни-

стой структуры. Алит (C3S) хорошо выкристаллизован в виде призматических фигур цветом синего и красноватого оттенка. Белит (C2S) также хорошо выкристаллизован в виде округлых зерен коричнево-серого оттенка. Промежуточное вещество серовато-зеленоватого оттенка.

Заключение

Анализ строения поверхностных слоев

клинкера, дает основание утверждать что введение базальтовой породы обеспечивает снижение пористости и что присутствие базальта в сырьевой шихте ускоряет процесс диссоциации кальция с выделением свободного оксида кальция и взаимодействием его с силикатными, алюминатными и железистыми соединениями шихты с образованием клинкерных минералов на низкотемпературной стадии - при 1250-1300 °С.

REFERENCES

1. Cement Industry Energy and CO₂ Performance: Getting the Numbers Right (GNR). Report of World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), Dec 2016. 20 p. Available at: <https://www.wbcd.org/Sector-Projects/Cement-Sustainability-Initiative/Resources/Cement-Industry-Energy-and-CO2-Performance>.
2. Matveev, A.F., Cherkasov A.V. Efficiency of using coal waste as a raw material component. *Bulleten' BSTU*, 2003, no. 5, pp. 173-175.
3. Zubekhin A.P., Golovanova S.P., Kirsanov P.V. Formirovaniye zhelezosoderzhashchikh faz pri obzhige portlandsementnogo klinkera [Formation of iron-containing phases during the roasting of Portland cement clinker]. *Tsement i yego primeneniye*, 2000, no. 1, pp. 8-10.
4. Zubekhin A.P., Strakhov V.I., Chekhovskiy V.G. Primneniye rentgenofluoresstentnogo i rentgenostruktornogo analizov v tsementnoy promyshlennosti [Application of X-ray fluorescence and X-ray diffraction analyzes in the cement industry]. *Cement*, 2003, no. 3, pp. 25-27.
5. Zubekhin A.P., Golovanova S.P., Kirsanov P.V., Nikiforov Yu.V., Kougia M.V. Ispol'zovaniye netraditsionnykh materialov v proizvodstve tsementa [The use of non-traditional materials in the production of cement]. *Cement*, 1992, no. 5, pp. 44-63.
6. Babushkin V.I. va boshqalar [Thermodynamics of reactions of formation of primary clinker minerals during utilization of coal dressing wastes in the process of clinker roasting]. *Mezhdunar. soveshchaniye po khimii i tekhnologii tsementa* [Int. meeting on chemistry and technology of cement]. Moscow, 2000, vol. 3, p. 20.
7. Khudyakova T.M., Werner V.F. Vyazhushchiye materialy iz shchelochno-magniyevogo nekachestvennogo syr'ya i promyshlennykh otkhodov Yuzhnogo Kazakhstana [Binding materials from alkali-containing and magnesium substandard raw materials and industrial wastes of the South of Kazakhstan]. Shymkent, SKSU Publ., 2002. 162 p.
8. Hong H., Fu Z., Min X. Effect of cooling performance on the mineralogical character of Portland cement clinker. *Cem. and Concr. Res.*, 2002, no. 2, pp. 41-46
9. Luginina I.G. Izbrannyye raboty. [Selected works]. Belgorod, 2002. 300 p.
10. Kravchenko I.V., Kovaleva I.E., Dolbilova I.B. Povysheniye effektivnosti proizvodstva tsementa pri ispol'zovanii tekhnogennykh materialov [Increasing the efficiency of cement production when using man-made materials]. *Trudy Nil tsementa*, 1990, vol. 99, pp. 33-87.
11. Osokin A.P., Sudakas L.G. [Physical chemistry and technology of clinker formation]. *II Mezhdunarodnaya konferentsiya po khimii i tekhnologii tsementa* [II International Conference on Chemistry and Technology of Cement]. Moscow, 2000, vol. 1, pp. 56-63.
12. Besedin P.V., Trubaev P.A. Research and optimization of processes in cement clinker technology. Belgorod: BelGTASM Publishing House, 2004.p.140.
13. Duda W.H. *Cement-Data-Book*. Berlin, Bauverlag GmbH, 1977. 432 p. (Russ. ed.: Duda V. Cement. Moscow, Stroyizdat Publ., 1981. 464 p.)
14. Davydov S.Ya., P'yachev V.A., Kashcheyev I.D. *Vrashchayushchiyesa pechi predpriyatiy stroitel'nykh materialov* [Rotary Kilns of Building Materials Enterprises]. Yekaterinburg, USTU-UPI. Publ., 2006. 352 p.
15. Makashev S.D. [Influence of physical and chemical properties of raw materials on the reactivity of the raw mixture and the processes of clinker mineral formation.] *Trudy 6 Mezhdunarodnogo kongressa po khimii tsementa* [Proceedings of the 6th International Congress on Cement Chemistry]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1976, vol. 1, pp. 156-162.
16. Taylor F.W. Richardson H. *Cement Chemistry*. ICE Publishing, 2015. 552 p.
17. Klassen V., Shurawlev P., Klassen A. Synthese des niedrigbasischen Klinkers durch Verwendung der Schlacklabfalle und Herstellung des hochwertigen Mischzements. *14 Int. Baustofftagung* (ibaasil), 2000, vol. 1, pp. 189-196.
18. Klassen V., Shubin I. [Reports II Intern. meeting on chemistry and technology of cement]. Moscow, 2000, vol. 1, pp. 133-145.
19. Makarov V.N., Gurevich B.I., Tyukavkina V.V. Carbonate overburden of the Kovdorsky deposit - raw material for the production of Portland cement. *Technology and properties of silicate materials of raw materials of the Kola Peninsula*. Apatity, 2000, pp. 74-78.
20. Pashchenko A.A. *Energosberegayushchiye i bezotkhodnyye tekhnologii polucheniya vyazhushchikh veshchestv* [Energy-saving and waste-free technologies for producing binders]. Kiev, Vyssh. shkola Publ., 1990. 223 p.
21. Taymasov B.T. *Tekhnologiya proizvodstva portlandsementa* [Technology of production of Portland cement]. Shymkent, UKGU Publ., 2003. 297 p.
22. Khayrudinov I.R., Zhirnov B.S., Arpishkin I.M. Aspekty primeneniya sernistogo neflyanogo koksa v proizvodstve tsementa [Aspects of sulfur petroleum coke application in the cement production]. *Bashkirskiy khimicheskij zhurnal*, 2012, vol. 19, no. 4, pp. 215-217.
23. Pelleng R.J., Kushima A., Shahsavari R., van Vliet K.L., Buehler M.J., Yip S., Ulm F.-J. A realistic model of cement hydrates. *National Academy of Science. Proceedings*, 2009, vol. 106, no. 38, pp. 16102-16107.
24. Belousov Yu.L., Barbanyagre V.D., Reznichenko S.V., Zubekhin A.P., Golovanova S.P., Kirsanov P.V. Klinkerning suyuq fazasining yopishqoqligi alyuminiy oksidi tarkibiga bog'liqligi. [The dependence of the viscosity of the liquid phase of the clinker on the content of aluminum oxide]. *R-N-D: SKNTs*, 2000, no. 4, pp. 90-93.
25. Klassen V.K., Borisov I.N., Klassen A.N. Osobennosti protsessa mineraloobrazovaniya v syr'yevykh smesyakh so shlakami raznoy osnovy [Features of the process of mineral formation in slag-containing raw mixtures of various basicity]. *Izvestiya vuzov, Stroitel'stvo*, 2003, no. 7, pp. 55-61.
26. Qi Zhang, Qiang Zeng, Da Chuang Zheng, Jiyang Wang, Shi Lang Xu Oven drying kinetics and status of cement-based porous materials for in-lab microstructure investigation. *Advances in Cement Research*, 2018, vol. 30, no. 5, pp. 204–215. DOI: 10.1680/jadcr.17.00075
27. Makridin N.I., Vernigorova V.N., Maksimova I.N.. GSK qo'shimchalari bilan tsement toshining mikro tuzilishi va mustahkamligi sintezi to'g'risida [On the microstructure and strength synthesis of cement stone with GSK additives]. *Izvestiya Universitetov. Stroitel'stvo*, 2003, no. 8, pp. 37-42.
28. Mukhamedbaeva Z.A., Mukhamedbaev A.A., Kurbanov E.I., Adinaev Kh.A. Synthesis of Portland cement clinker using basalts from the Karakiya deposit. *Khimicheskaya promyshlennost'*, 2020, pp. 225-230.
29. Mukhamedbaeva ZA, Adinaev Kh.A., Kurbanov El. [Study of Basalts of the Karakiya Deposit – as Alumina Silicate Raw Materials for the Production of Portland Cement]. *Euro Asia 8th international congress on applied en sciences congress abstract book*. Tashkent, 2021, p. 323.
30. Xun Xu, Lan Wang Influence of temperature of raw material into rotary kiln on temperature field distribution of kiln inlet system. *Advances in Cement Research*, 2018, vol. 30, no. 5, pp. 185–194. DOI: 10.1680/jadcr.17.00081
31. Jingliang Xia, Qingfeng Guan, Yongxiang Zhou, Jing Wang, Chao Gao, Yang He, Zuqi Wang, Putao Song. Use of natural pozzolans in high-performance concrete for the Mombasa–Nairobi railway. *Advances in Cement Research*, 2021, vol. 33, no. 7, pp. 318–330. DOI: 10.1680/jadcr.20.00045
32. Coolb K. *Technology and optimization of cement production*. Belgorod, BSTU Publ., 2012. p.308
33. Shpynova L.G. *Physical and chemical bases of the formation of the structure of cement stone*. Lviv, 1981. 157 p.