

УДК 691.542

DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-4-139-152

А.А. КРУТИЛИН¹, Т.В. КРАПЧЕТОВА²,
Н.А. ИНЬКОВА¹, О.К. ПАХОМОВА¹,

¹Себряковский филиал

Волгоградского государственного технического университета,

²АО «Себряковцемент»

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА НА ЕГО ГИДРАВЛИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ

Аннотация. Исследовательские работы, устанавливающие связь активности клинкера с тонкостью его помола и минералогическим составом, показывают, что если условия обжига и охлаждения клинкера на конкретной печи завода остаются неизменными на протяжении определенного промежутка времени, то приближенно можно считать структуру клинкера неизменной.

Авторами настоящей работы была изучена зависимость активности портландцементного клинкера от некоторых характеристик его структуры, сведения о которых были получены при исследовании основных клинкерных минералов.

Исследование шести полиморфных модификаций алита и измерение параметров их кристаллических решеток позволило установить характеристические участки рентгенограммы, по которым можно идентифицировать полиморфные модификации алита.

Ключевые слова: алит, клинкер, минералогический состав, рентгеновский фазовый анализ, метод петрографического анализа, минералообразование, кристаллообразование

Для цитирования: Крутилин А.А., Крапчетьева Т.В., Инькова Н.А., Пахомова О.К. Влияние структуры портландцементного клинкера на его гидравлическую активность // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 4. С. 139–152.

DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-4-139-152

A.A. KRUTILIN¹, T.V. KRAPCHETOVA²,
N.A. INKOVA¹, O.K. PAKHOMOVA¹,

¹Sebryakovsk Branch of Volgograd State Technical University,

²AO "Sebryakovtsement"

STRUCTURE INFLUENCE OF PORTLAND CEMENT CLINKER ON ITS HYDRAULIC ACTIVITY

Abstract. Research into the dependence between the clinker activity and its fine structure and mineralogical composition shows that at the constant conditions of clinker baking and cooling in a particular furnace for a certain period of time, the clinker structure can be considered as unchanged. This paper studies the dependence of the clinker activity of Portland cement on its structure based on the data obtained during the study of the main clinker minerals. The study of six polymorphic modifications of alite and the lattices parameter measurement help to obtain X-ray diffraction patterns, which identify polymorphic modifications of alite.

Keywords: alite, clinker, mineralogical composition, X-ray diffraction analysis, petrographic analysis, mineralization, crystal formation

For citation: Krutilin A.A., Krapchetova T.V., Inkova N.A., Pakhomova O.K. Vliyanie struktury portlandtsementnogo klinkera na ego gidravlicheskuyu aktivnost' [Structure influence of portland cement clinker on its hydraulic activity]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2022. V. 24. No. 4. Pp. 139–152. DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-4-139-152

Из одной и той же сырьевой смеси оптимального химического состава в зависимости от характера процесса обжига и охлаждения клинкера можно получить продукт различного минералогического состава, различной макро- и микроструктуры [1].

Активность портландцементного клинкера зависит от многих факторов, среди которых удельная поверхность, количественный фактический минералогический состав, а также структура клинкера являются определяющими. Зависимость активности клинкера от тонкости помола и минералогического состава не является однозначной, т. к. структура клинкера различна [Там же].

Исследовательские работы, устанавливающие связь активности клинкера с тонкостью его помола и минералогическим составом, показывают, что если условия обжига и охлаждения клинкера на конкретной печи завода остаются неизменными на протяжении определенного промежутка времени, то приближенно можно считать структуру клинкера неизменной. В реальных условиях работы завода трудно добиться стабильности процесса обжига.

Но, с другой стороны, т. к. процесс обжига клинкера отражается на его структуре и минералогическом составе, контроль стабильности обжига и его автоматизация могут быть осуществлены путем контроля параметров, их стабилизации на оптимальном уровне [10, 15].

Авторами настоящей статьи была изучена зависимость активности портландцементного клинкера от некоторых характеристик его структуры, сведения о которых были получены при исследовании основных клинкерных минералов.

Для решения этих вопросов были использованы рентгеновский фазовый анализ и метод петрографического анализа [14]. Измерения выполнялись на приборах производства компании Bruker (Германия) – рентгенофлуоресцентного спектрометра S8 TIGER и рентгеновского дифрактометра D8 ENDEAVOR. Тонкая структура синтетических клинкерных минералов и их композиций достаточно изучена [5, 9]. Большинство из научных работ посвящено выяснению влияния различных нарушений стехиометрии силикатных минералов на их тонкую структуру. Лишь немногие исследователи ставят своей целью связывать стехиометрические отклонения и структурные вариации изучаемых минералов с их гидратационной активностью [2, 3, 6, 7].

Исследование шести полиморфных модификаций алита и измерение параметров их кристаллических решеток позволило установить характеристические участки рентгенограммы, по которым можно идентифицировать полиморфные модификации алита.

А. Гинье и М. Регур считают, что дифракционное отражение, наблюдаемое под углами $2\theta = 51\text{--}52^\circ$, несмотря на невысокую интенсивность, наиме-

нее подвержено наложению других отражений, и именно под этими углами предлагают идентифицировать алит и его формы.

Исследования влияния полиморфизма на реакционную способность CaSiO_3 показали, что полиморфные модификации трехкальциевого силиката имеют разную гидравлическую активность. Например, по данным работы R. Kondo «Hydratation of portland cement minerals», гидратация моноклинной формы алита происходит несколько быстрее, чем триклинной. Многие исследователи, а именно: Ю.С. Малинин, В.А. Дмитриева, О.П. Мчедлов-Петросян, Л.Д. Ершов, П.А. Староминская, Н.П. Коган, R. Kondo, А.И. Бойкова, считают, что влияние структуры алита на его гидравлическую активность незначительно, но указывают, что моноклиннотриклинная модификация может явиться причиной низкой прочности камня.

Таким образом, различные исследователи не единодушны во мнении, какая из полиморфных модификаций алита обладает более высокой гидравлической активностью. На наш взгляд, причина разногласий в том, что химические свойства алита определяются не только полиморфной модификацией минерала, но и кристаллохимическими условиями стабилизации этих форм, т. е. совокупностью факторов, определяющих энергетику и химический потенциал минерала.

К настоящему времени синтетический алит исследован достаточно подробно, а минерал производственного клинкера – значительно меньше [8].

Нами сделана попытка исследования методами рентгеновской дифракции и петрографическим анализом фазы промышленных клинкеров.

Методы исследований

Для исследований структуры алита использованы химический и рентгеновский фазовый анализ. Активность клинкера определяли по ГОСТ 30744–2001 [4, 11, 12].

Рентгенографические исследования проведены на дифрактометре D8 ENDEAVOR. Параметры работы прибора и режим съёмки приведены на рис. 1 и 2.



Рис. 1. Параметры работы прибора

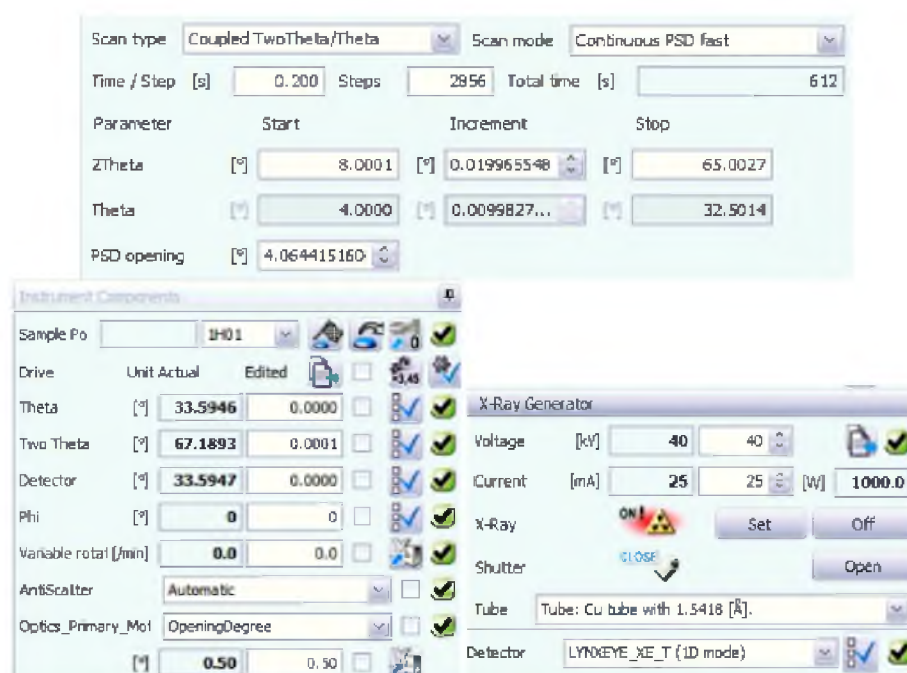


Рис. 2. Параметры режима съёмки

Экспериментальные исследования

Исследования зависимости активности портландцементного клинкера от его структуры проводились на промышленных клинкерах, полученных в условиях вращающейся печи $\varnothing 4,35 \times 54$ м. Полученные результаты сравнивались с показателями синтетических минералов.

Проводимые исследования в области искусственно получаемого Ca_3SiO_5 , модифицированного различными добавками, показывают, что в зависимости от вида и количества синтетических минералов алит стабилизируется в различных формах (рис. 3). В качестве модифицирующих примесей применялись Cr_2O_3 , NiO , Ni_2O_3 , чистый Ca_3SiO_5 .

На рис. 3 представлены дифрактограммы Ca_3SiO_5 разных модификаций (различный профиль линий).

Процессы минералообразования и кристаллообразования в промышленных печных агрегатах носят динамический характер в отличие от синтетических условий синтеза искусственного алита в лабораторных условиях. Естественно предположить, что алит в одном и том же клинкере может находиться в различных аллотропных формах. Это становится понятным, если учесть, что часть алита образуется во время твердофазовых реакций при температурах ниже эвтектики до появления расплава. С появлением жидкой фазы происходят резорбция низкотемпературных форм трехкальциевого силиката, ионный обмен (диффузия) между ними и расплавом, изменение стехиометрии алита, обогащение последнего модифицирующими примесями и образование его высокотемпературных форм.

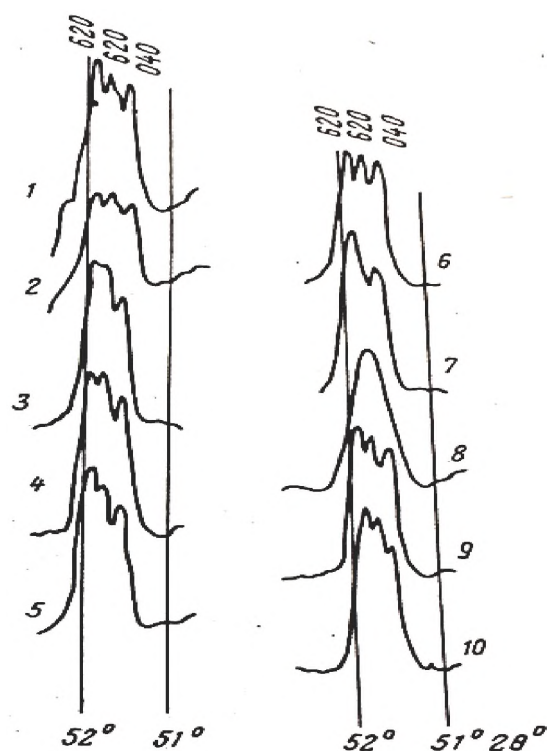


Рис. 3. Дифрактограммы синтетических алитов:

1, 2, 6 – триклинная модификация; 3, 4, 5, 7 – моноклинная модификация; 8 – ромбическая модификация; 9 – смесь из 50 % моноклинного алита; 10 – смесь из 75 % моноклинного и 25 % триклинного алита

Большая интенсивность тепловых процессов, а также последующее охлаждение клинкера может привести к наличию в клинкере различных модификаций алита. Это хорошо заметно на смесях алитов триклинной и моноклинной форм (рис. 3). Сравнение дифрактограмм 9 и 10 показывает, что с увеличением содержания моноклинной формы интенсивность правого пика в триплете в интервале $2\theta = 51-52^\circ$ падает.

Дифрактограммы механических смесей различных модификаций алита имеют характерный профиль линий, отличный от исходных форм. Исследования синтетических алитов и их смесей показывают, что полиморфные модификации алитов имеют достаточно четко идентифицируемые характерные профили линий. Идентификация алитов, содержащих триклинную и моноклинную формы, возможна по профилю их линий. Таким образом, с помощью рентгеновской дифракции можно идентифицировать силикатную часть клинкера.

Дальнейшие исследования промышленных клинкеров показали следующее.

Были взяты клинкеры, полученные в печах мокрого и сухого способов производства (табл. 1, 2). Трёхкомпонентная сырьевая смесь состояла из карбонатной породы – мела, суглинков и огарков Новолипецкого металлургического комбината.

Таблица 1

Химико-минералогический состав промышленных клинкеров

№ проб	Химический состав, %				Рентгенофазовый состав, %				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	C3S	C2S	C3A	C4AF	CaO _{св}
1	22,18	4,69	3,80	66,74	65,1	13,1	5,4	9,2	1,0
2	21,82	4,58	3,78	66,88	67,0	10,4	5,1	9,6	0,7
3	21,68	4,61	3,98	66,90	60,8	12,0	4,9	10,8	1,0
4	22,39	4,61	3,74	66,93	58,0	19,5	4,8	10,0	0,5
5	20,70	4,74	3,91	66,98	70,1	4,5	5,5	10,0	0,7

Таблица 2

Физико-механическая характеристика промышленных клинкеров

№ проб	Сроки схватывания Начало, ч-мин	Нормальная густота теста, %	Остаток на сите 008, %	Удельная поверхность, см ² /г	Предел прочности при сжатии, МПа, через (сут)	
					2	28
1	2-45	23,4	6,1	3686	26,4	52,4
2	3-05	24,0	6,8	3680	24,6	51,1
3	2-45	23,4	4,8	3345	22,6	50,4
4	2-25	23,8	5,3	3590	21,7	48,6
5	1-55	23,4	5,7	3522	24,9	53,0

Из данных табл. 1 видно, что клинкеры различались между собой по содержанию C₃S от 58 до 70 % при колебании CaO_{св} от 0,5 до 1,0 %.

Исследования промышленных клинкеров, прочности которых почти одинаковы, показывают, что их дифрактограммы (рис. 4) не носят столь ярко выраженный характер и идентифицировать модификацию алита достаточно сложно. Это, очевидно, связано с тем, что условия образования алита в промышленных клинкерах и их химический состав резко отличаются от синтезированных минералов алита, которые фактически являются трехкальциевым силикатом, модифицированным некоторыми добавками (см. рис. 3). На рис. 4 аналитический триплет при 2θ = 51–52° чаще всего характеризуется довольно четким развитием кристаллографической плоскости под углом, близким к 51°. Вероятно, это связано с преобладанием моноклинной модификации алита в фазе трехкальциевого силиката.

Анализируя дифрактограммы, отметим, что в клинкере пробы № 2 трехкальциевый силикат представляет собой структуру, близкую к моноклинной, которая образуется при внедрении в решетку трехкальциевого силиката сравнительно большого количества примеси, ионный радиус которой меньше, чем у Ca, а доля ковалентности связи Me – O значительно выше.

В клинкере пробы № 1 алит также представлен моноклинной формой, которая характерна для трехкальциевого силиката, но с меньшим содержанием примеси (возможно, менее 2 % MgO по сравнению с предыдущим клинкером). Что касается клинкера проб № 3 и № 4, то здесь алит закристаллизован хуже, чем в двух предыдущих клинкерах, и определить тип его структуры сложно. Клинкер пробы № 5 резко отличается, его структура ближе к ромбической (рис. 3, структура номер 8).

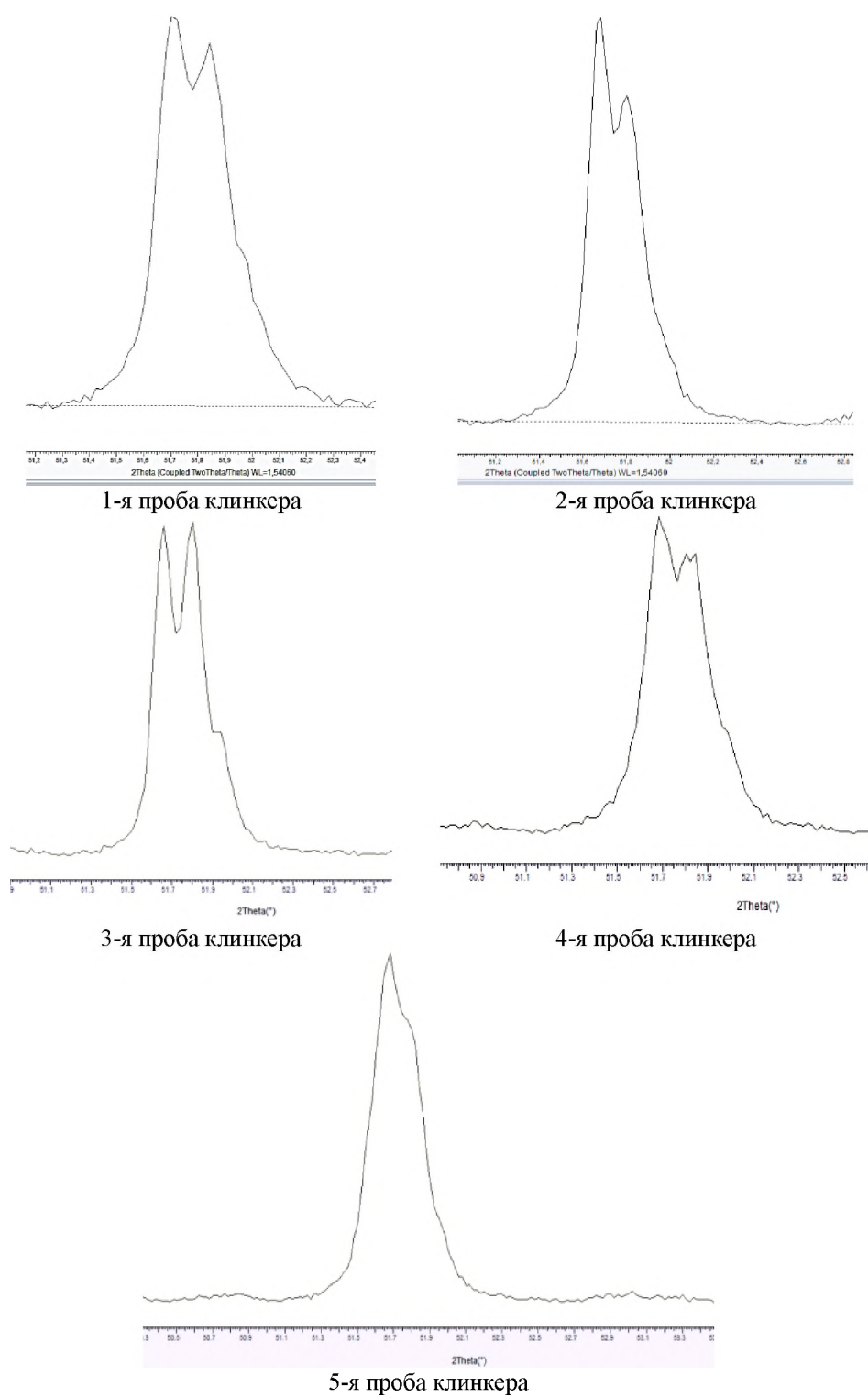


Рис. 4. Дифрактограммы промышленных клинкеров

Различие структур этих клинкеров показывает разную их активность – от 48,6 до 53 МПа (ГОСТ 30744–2001).

На рис. 5 приведены участки дифрактограмм клинкеров, характеризующихся различным содержанием $\text{CaO}_{\text{св}}$ в их составе.

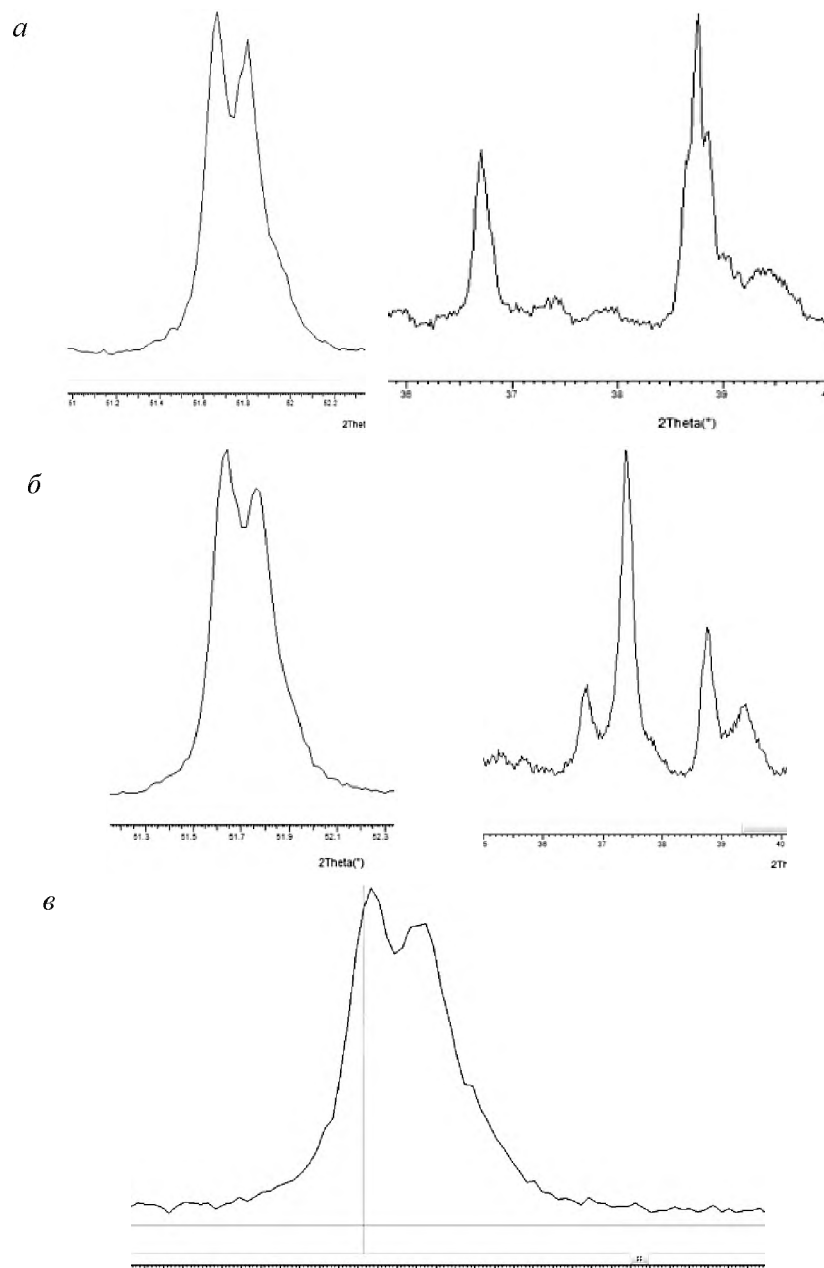


Рис. 5. Дифрактограммы промышленных клинкеров с различным содержанием свободной извести:

а – содержание свободного оксида кальция 0,38 %; б – содержание свободного оксида кальция 3,5 %; в – содержание свободного оксида кальция 5,5 %

Аналитические участки дифрактограмм алита этих образцов клинкера согласуются с количеством $\text{CaO}_{\text{св}}$. Широкая малоинтенсивная линия алита характерна для плохо оформленных кристаллов алита клинкера с 5,5 % $\text{CaO}_{\text{св}}$. Можно предположить, что алит в этом клинкере имеет дефектную структуру.

Как следует из дифрактограммы, алит в клинкере с 3,5 % $\text{CaO}_{\text{св}}$ лучше оформлен, представлен смешанной моноклинной формой, но незавершенность процесса рекристаллизации этого минерала приводит к некоторому уширению профиля линии по сравнению с хорошо оформленным моноклинным алитом в образце клинкера с 0,38 % CaO . Отличительной особенностью этих образцов является стабилизация моноклинной формы алита при значительном содержании $\text{CaO}_{\text{св}}$ 3,5 %. Это объясняется достаточным количеством MgO в сырье завода.

Петрографические исследования промышленных клинкеров показали, что независимо от количественного минералогического состава все клинкеры характеризовались неоднородной, неравномернoзернистой структурой с малоотчётливой и относительно отчетливой кристаллизацией минералов (рис. 6).



Рис. 6. Микроструктура клинкеров

Алит представлен сростками и зернами неправильной формы (рис. 7), белит – сростками и зернами округлой и неправильной формы (рис. 8). Свободная известь образует мелкие гнёзда (рис. 9).

Типы структуры клинкеров, представленные в микрофотографиях, изготовлены из полированных шлифов при увеличении $500\times$ с использованием в качестве травителя 0,1Н HCl . Микрофотографии представлены образцами клинкеров, полученных сухим способом производства.

Анализ исследованных проб клинкера свидетельствует о том, что стабилизация отдельных полиморфных модификаций алита в клинкере может происходить из-за малых составляющих, но и за счет диффузии ионов Al^{3+} и Fe^{3+} из жидкой фазы при благоприятных для этого условиях (температура и вязкость).

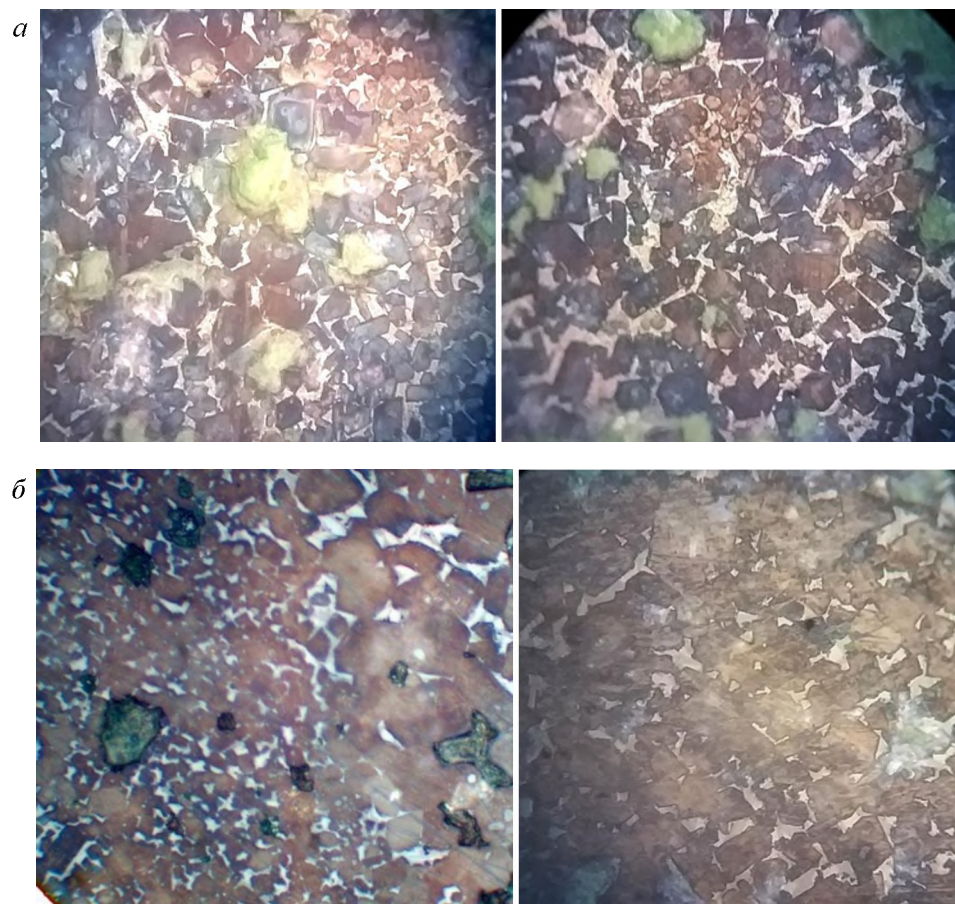


Рис. 7. Микроструктура алита:

а – алит представлен призмами и многогранниками неправильной формы; *б* – алит представлен мелкими и крупными сrostками, структура неоднородна

Известно [9], что гидравлическая активность алита связана с его кристаллической структурой. Следовательно, гидравлическая активность клинкера зависит от модификации алита, а последняя, как показано выше, связана с составом жидкой фазы. Анализируя гидравлическую активность исследуемых клинкеров, отметим следующее – для структуры клинкеров, проявляющих наилучшие гидравлические свойства, характерна хорошо оформленная моноклинная модификация алита с наименьшим значением полуширины линий, а алюмоферритная фаза представлена высокоалюминатными кристаллическими образованиями, особенностью структуры которых является замена части ионов Fe^{3+} ионами Al^{3+} в соответствующих слоях кислородных комплексов (пробы клинкеров № 6).

Для этих клинкеров (рис. 10) профиль линий алита отличается тем, что в характеристическом дублете более интенсивной является линия, соответствующая плоскости (620). Остальные исследуемые клинкеры обладают комплексом указанных выше признаков, и гидравлическая активность их ниже.

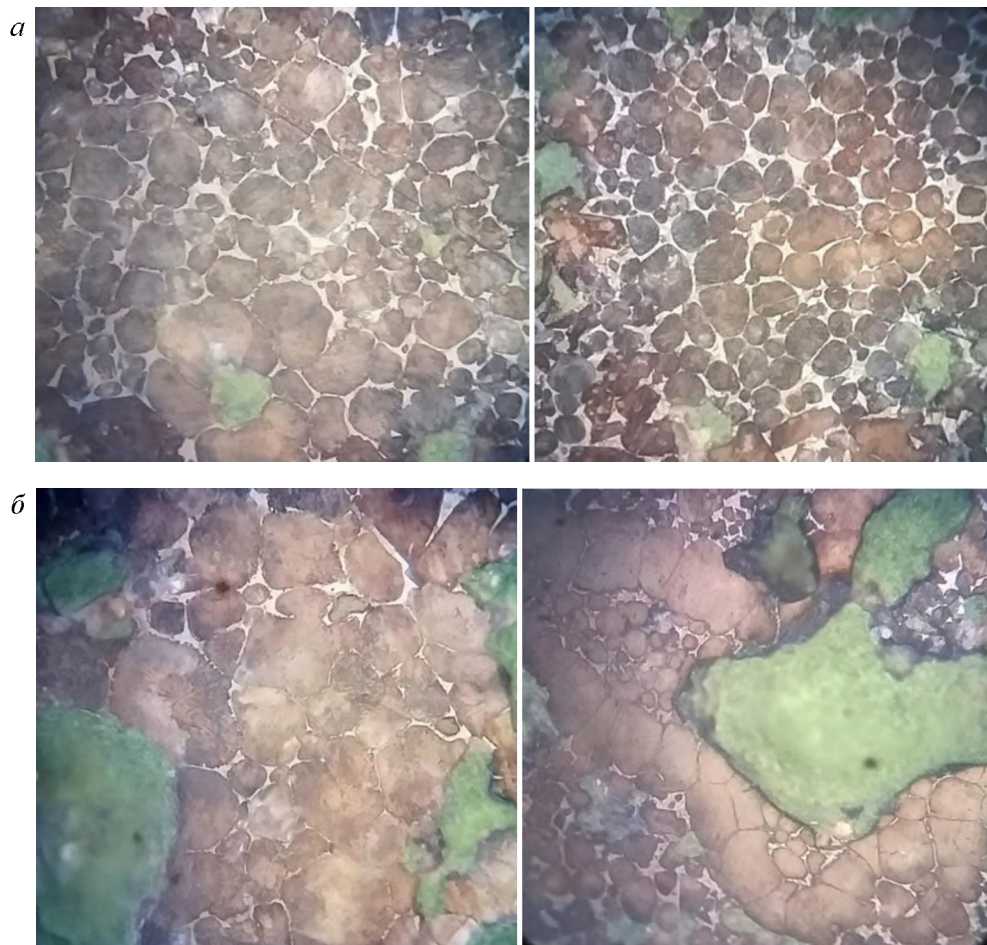


Рис. 8. Микроструктура белита:

а – белит представлен неоднородной структурой, зёрнами округлой неправильной формы, отдельные кристаллы зазубрены; *б* – сrostки зёрен белита

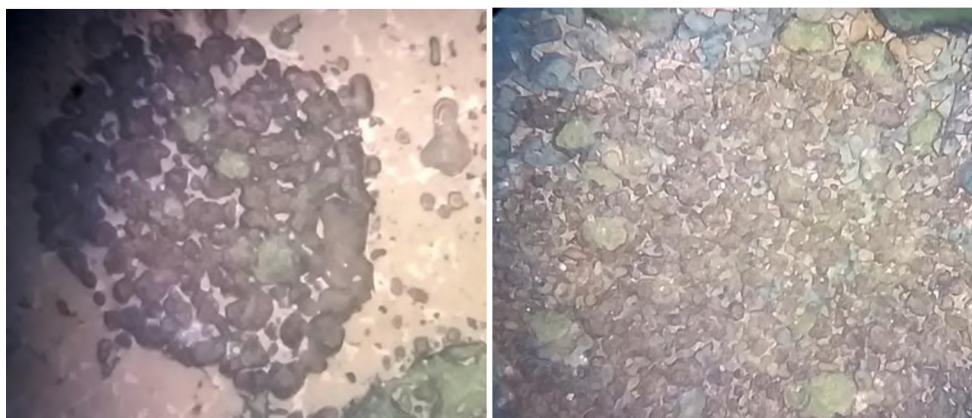


Рис. 9. Свободный оксид кальция на поверхности кристаллов

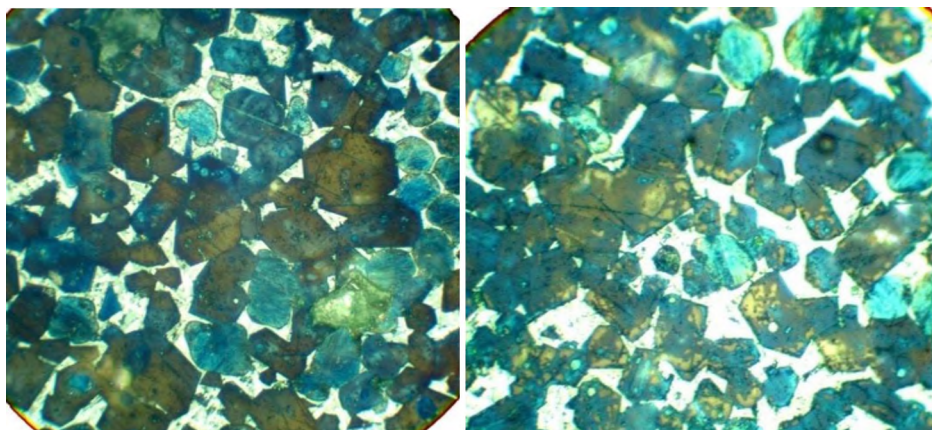


Рис. 10. Отчётливая кристаллизация алита в виде призм и многогранников

Таким образом, комплексное использование метода рентгенографической дифракции и петрографии позволяет выявить особенности тонкой структуры алита, оказывающие влияние на гидравлическую активность клинкеров. Высокоактивные клинкеры характеризуются наличием моноклинной модификации алита и хорошо оформленными кристаллическими образованиями.

Для структуры клинкеров, имеющих высокую гидравлическую активность, характерна хорошо оформленная модификация алита, которая, в частности, может стабилизироваться в клинкерах со значительным содержанием свободной извести при наличии достаточного количества MgO в сырьевой смеси.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андреева Н.А. Химия цемента и вяжущих веществ. Санкт-Петербург, 2011. 67 с.
2. Белов Н.В. и др. Кристаллическая структура трехкальциевого силиката $3CaO \cdot SiO_2$ // Кристаллография. 1975. Т. 20. Вып. 4. С. 721–729.
3. Бойкова А.И., Есаян А.К., Соколова Р.А., Доманский А.И., Пирютко М.М. Физико-химическое исследование алиитовых клинкеров // Цемент. 1981. № 6. С. 13–15.
4. Бойкова А.И. Микрорентгеноспектральный анализ в химии цемента. Строительные материалы. 2007. № 3. С. 79–84.
5. Бойкова А.И. Особенности минералогии клинкерных композиций и их практическое значение // XX Всероссийское (IV Международное) совещание начальников лабораторий цементных заводов. Москва, 2002. С. 165–172.
6. Бойкова А.И. Химия, структура и свойства клинкеров // Наука и технология силикатных материалов – настоящее и будущее : труды Международной научно-практической конференции. Москва, 2003. Т. I. С. 107–126.
7. Классен В.К., Михин А.С. Анализ изменения активности клинкера на ОАО «Себряков-цемент» // Фундаментальные исследования. 2006. № 2. С. 63.
8. Козлова В.К., Григорьев В.Г., Малова Е.Ю., Божок Е.В., Мануйлов Е.В. Сравнительные результаты определения фазового состава и микроструктуры клинкеров методами физико-химического анализа // Цемент и его применение. 2013. № 3. С. 34–38.
9. Кузнецова Т.В., Кудряшов И.В., Тимашев В.В. Физическая химия вяжущих материалов. Москва : Высшая школа, 1989. 384 с.
10. Лугинина И.Г. Химия и химическая технология неорганических вяжущих материалов. Белгород, 2004.

11. Малова Е.Ю., Мануйлов Е.В., Козлова В.К., Манокха А.М., Вольф А.В. Определение минералогического состава клинкеров комбинированным методом анализа // Ползуновский вестник. 2011. № 1. С. 79–83.
12. Тейлор Х. Химия цемента. Москва : Мир, 1996. 560 с.
13. Усов Б.А. Химия и технология цемента. Москва, 2015. 158 с.
14. Чижов П.С. Прецизионный рентгенофазовый и рентгеноструктурный анализ клинкеров российских цементных заводов // Цемент и его применение. 2012. № 3. С. 66–69.
15. Шмитко Е.И., Крылова А.В., Шаталова В.В. Химия цемента и вяжущих веществ. Санкт-Петербург : Проспект науки, 2006. 205 с.

REFERENCES

1. Andreeva N.A. Khimiya tsementa i vyazhushchikh veshchestv [Chemistry of cement and binders]. Saint-Petersburg, 2011. (rus)
2. Belov N.V., et al. Kristallicheskaya struktura trekhkal'tsievogo silikata $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ [Crystal structure of tricalcium silicate $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$]. *Kristallografiya*. 1975. V. 20. No. 4. Pp. 721–729. (rus)
3. Boikova A.I., Esayan A.K., Sokolova R.A., Domanskii A.I., Piryutko M.M. Fiziko-khimicheskoe issledovanie alinitovykh klinkerov [Physicochemical investigation of alinite clinkers]. *Tsement*. 1981. No. 6. Pp. 13–15. (rus)
4. Boikova A.I. Mikrorentgenospektral'nyi analiz v khimii tsementa [Microradiography in chemistry of cement]. *Stroitel'nye materialy*. 2007. No. 3. Pp. 79–84. (rus)
5. Boikova A.I. Osobennosti mineralologii klinkernykh kompozitsii i ikh prakticheskoe znachenie [Mineralogy of clinker compositions and their practical significance]. In: XX Vserossiiskoe (IV Mezhdunarodnoe) soveshchanie nachal'nikov laboratorii tsementnykh zavodov (*The 20th All-Russian (IV International) Meeting of Laboratory Heads of Cement Plants*). Moscow, 2002. Pp. 165–172. (rus)
6. Boikova A.I. Khimiya, struktura i svoystva klinkerov [Chemistry, structure and properties of clinkers]. In: Nauka i tekhnologiya silikatnykh materialov: nastoyashchee i budushchee: trudy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (*Proc. Int. Sci. Conf. 'Science and Technology of Silicate Materials: Present and Future'*). Moscow, 2003. V. 1. Pp. 107–126. (rus)
7. Klassen V.K., Mikhlin A.S. Analiz izmeneniya aktivnosti klinkera na OAO "Sebryakovtsement" [Analysis of changes in clinker activity at AO "Sebryakovcement"]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2006. No. 2. P. 63. (rus)
8. Kozlova V.K., Grigor'ev V.G., Malova E.Yu., Bozhok E.V., Manuilov E.V. Sravnitel'nye rezul'taty opredeleniya fazovogo sostava i mikrostruktury klinkerov metodami fiziko-khimicheskogo analiza [Physicochemical analysis of clinker phase composition and microstructure]. *Tsement i ego primeneniye*. 2013. No. 3. Pp. 34–38. (rus)
9. Kuznetsova T.V., Kudryashov I.V., Timashev V.V. Fizicheskaya khimiya vyazhushchikh materialov [Physical chemistry of binding materials]. Moscow: Vysshaya shkola, 1989. 384 p. (rus)
10. Luginina I.G. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya neorganicheskikh vyazhushchikh materialov [Chemistry and chemical technology of inorganic binding materials]. Belgorod, 2004. (rus)
11. Malova E.Yu., Manuilov E.V., Kozlova V.K., Manokha A.M., Vol'f A.V. Opredelenie mineralogicheskogo sostava klinkerov kombinirovannym metodom analiza [Mixed analysis of clinker mineralogical composition]. *Polzunovskii vestnik*. 2011. No. 1. Pp. 79–83. (rus)
12. Teilor Kh. Khimiya tsementa [Chemistry of cement]. Moscow: Mir, 1996. (rus)
13. Usov B.A. Khimiya i tekhnologiya tsementa [Chemistry and technology of cement]. Moscow, 2015. (rus)
14. Chizhov P.S. Pretsizionnyi rentgenofazovyi i rentgenostrukturnyi analiz klinkerov rossiiskikh tsementnykh zavodov [Precision X-ray phase and structural analysis of clinkers from Russian cement plants]. *Tsement i ego primeneniye*. 2012. No. 3. Pp. 66–69. (rus)
15. Shmit'ko E.I., Krylova A.V., Shatalova V.V. Khimiya tsementa i vyazhushchikh veshchestv [Chemistry of cement and binders]. Saint-Petersburg: Prospekt nauki, 2006. 205 p. (rus)

Сведения об авторах

Крутилин Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент, Себряковский филиал Волгоградский государственный технический университет, 403343, Волгоградская обл., г. Михайловка, ул. Мичурина, 21, kotyra84@bk.ru

Крпчцова Татьяна Владимировна, инженер-аналитик, АО «Себряковцемент», 403342, Волгоградская обл., г. Михайловка, ул. Индустриальная, 2, iwankra@mail.ru

Пахомова Олеся Константиновна, ст. преподаватель, Себряковский филиал Волгоградский государственный технический университет, 403343, Волгоградская обл., г. Михайловка, ул. Мичурина, 21, coyote@bk.ru

Инькова Надежда Александровна, ст. преподаватель, Себряковский филиал Волгоградский государственный технический университет, 403343, Волгоградская обл., г. Михайловка, ул. Мичурина, 21, pahomovaolesia@yandex.ru

Authors Details

Aleksandr A. Krutilin, PhD, A/Professor, Sebyakovsk Branch of Volgograd State Technical University, 21, Michurin Str., 403343, Volgograd region, Mikhailovka, Russia, kotyra84@bk.ru

Tatyana V. Krapchetova, Analytical Engineer, AO "Sebyakovcement", 2, Industrialnaya Str., 403342, Volgograd region, Mikhailovka, Russia, iwankra@mail.ru

Olesya K. Pakhomova, Senior Lecturer, Sebyakovsk Branch of Volgograd State Technical University, 21, Michurin Str., 403343, Volgograd region, Mikhailovka, Russia, coyote@bk.ru

Nadezhda A. Inkova, Senior Lecturer, Sebyakovsk Branch of Volgograd State Technical University, 21, Michurin Str., 403343, Volgograd region, Mikhailovka, Russia, pahomovaolesia@yandex.ru