

УДК 666.965

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЁЖНОСТЬ ИЗДЕЛИЙ АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ НА ИЗВЕСТКОВО-КРЕМНЕЗЁМИСТО-ШЛАКОВОМ ВЯЖУЩЕМ

*Д.Н. ШАБАНОВ, канд. техн. наук Д.И. САФОНЧИК, А.Н. ЯГУБКИН
(Полоцкий государственный университет)*

Приводятся сведения об эксплуатационной надёжности изделий автоклавного твердения на известково-кремнезёмисто-шлаковом вяжущем. Выполнен сравнительный анализ каждого из рецептурно-технологических факторов на количественное содержание новообразований в цементирующем веществе с использованием экспериментально-статистических полиномиальных моделей.

Многообразие элементов участвующих в процессах синтеза новообразований, учёт большого числа рецептурно-технологических факторов, предопределяет необходимость применения математической теории планирования эксперимента, которая позволяет получить необходимые для управления эксплуатационными свойствами материала количественные зависимости в виде полиномиальных экспериментально-статистических моделей [1]. Обобщение физико-химических и математических методов с теорией композиционных материалов позволяет на основе вероятностно-статистической концепции анализа, разработанной и научно-обоснованной в трудах учёных [2 – 6], объяснить природу изменения структурных характеристик, определить степень влияния элементов на эксплуатационные характеристики материалов и выделить наиболее сильно влияющие с учетом взаимовлияния для управления свойствами готового изделия с максимальной эффективностью. Постановка исследований основывается на реальном управлении синтезом новообразований, в соответствии с чем управление свойствами силикатного кирпича определяется возможностями технологических воздействий на эксплуатационные характеристики и может быть осуществлено при раскрытии взаимосвязей в цепи «технология – синтезированный минерал – свойства».

Для решения поставленной задачи возможно применение математической теории эксперимента, которая устанавливает объём, условия, и порядок реализации опытов. Выбор плана эксперимента определен числом варьируемых факторов (таблица). Общее число рецептурно-технологических факторов, влияющих на свойства синтезированного материала, может быть довольно значительным.

В конкретном случае для оптимизации рецептурно-технологических факторов производства силикатного кирпича был проведён эксперимент по насыщенному шестифакторному плану Рехтшафнера

Уровни и интервалы варьирования факторов

Кодированные переменные						Натуральные переменные						Тоберморит
X ₁	X ₂	X ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Расход вяжущего, %	Расход шлага, %	Водовяжущее отношение, В/В	Давление прессования, МПа	Изотермическая выдержка, ч	Давление пара в автоклаве, МПа	
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
-1	-1	-1	-	-	-	15	0	0,25	15	4	0,8	98
			1	1	1							
-1	1	1	1	1	1	15	50	0,45	25	10	1,2	69
1	-1	1	1	1	1	25	0	0,45	25	10	1,2	185
1	1	-1	1	1	1	25	50	0,25	25	10	1,2	40
1	1	1	-	1	1	25	50	0,45	15	10	1,2	79
			1									
1	1	1	1	-	1	25	50	0,45	25	4	1,2	96
				1	-							
1	1	1	1	1	-	25	50	0,45	25	10	0,8	105
					1							
1	1	-1	-	-	-	25	50	0,25	15	4	0,8	81
			1	1	1							
1	-1	1	-	-	-	25	0	0,45	15	4	0,8	205
			1	1	1							
1	-1	-1	1	-	-	25	0	0,25	25	4	0,8	194
				1	1							

1	-1	-1	-1	1	-1	25	0	0,25	15	10	0,8	165
1	-1	-1	-1	-1	1	25	0	0,25	15	4	1,2	152
-1	1	1	-1	-1	-1	15	50	0,45	15	4	0,8	52
-1	1	-1	1	-1	-1	15	50	0,25	25	4	0,8	51
-1	1	-1	-1	1	-1	15	50	0,25	15	10	0,8	40
-1	1	-1	-1	-1	-1	15	50	0,25	15	4	1,2	58

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
17	-1	-1	1	1	-1	-1	15	0	0,45	25	4	0,8	106	7
18	-1	-1	1	-1	1	-1	15	0	0,45	15	10	0,8	105	8
19	-1	-1	1	-1	-1	1	15	0	0,45	15	4	1,2	75	10
20	-1	-1	-1	1	1	-1	15	0	0,25	25	10	0,8	106	11
21	-1	-1	-1	1	-1	1	15	0	0,25	25	4	1,2	117	7
22	-1	-1	-1	-1	1	1	15	0	0,25	15	10	1,2	105	15
23	1	0	0	0	0	0	25	25	0,35	20	7	1	140	13
24	0	1	0	0	0	0	20	50	0,35	20	7	1	72	9
25	0	0	1	0	0	0	20	25	0,45	20	7	1	105	9
26	0	0	0	1	0	0	20	25	0,35	25	7	1	91	41
27	0	0	0	0	1	0	20	25	0,35	20	10	1	75	9
28	0	0	0	0	0	1	20	25	0,35	20	7	1,2	81	15
29	0	0	0	0	0	0	20	25	0,35	20	7	1	101	11

При реализации эксперимента использовались сырьевые материалы следующих характеристик:

- известь комовая, не гашеная активностью 70 % и скоростью гашения 6 мин;
- отработанная формовочная смесь с $M_{кр} = 1,4$, содержанием $SiO_2 - 87\%$;
- шлак ваграночный с размером зерен до 5 мм и модулем основности $K_{осн} = 0,44$.

Выбор рецептурно-технологических параметров получения силикатного кирпича из отходов литейного производства следует рассматривать как развитие идеи о направленном синтезе продуктов гидратации цементирующего вещества твёрдой фазы, отражённых в работах [7 – 9].

Повышению долговечности силикатных изделий способствует присутствие на начальном этапе автоклавной обработки кристаллогидратов высокоосновной формы, например, $C_2SH(a)$, который в дальнейшем переходит в менее основной гидросиликат типа $CSH(b)$, тоберморит и ксонотлит, отличающийся высоким пределом прочности при сжатии, что положительно сказывается на готовых изделиях [10, 11].

Сравнительный анализ каждого из рецептурно-технологических факторов на количественное содержание новообразований в цементирующем веществе проводился по экспериментально-статистическим полиномиальным моделям. В качестве выходов приняты результаты количественного определения новообразований методом рентгенофазового анализа, которые моделируются в зависимости от $X_1, X_2, X_3, Z_4, Z_5, Z_6$.

Количественное содержание синтезированных гидросиликатов кальция в силикатном кирпиче с различным расходом извести в вяжущем отображено на рисунках 1, 2.

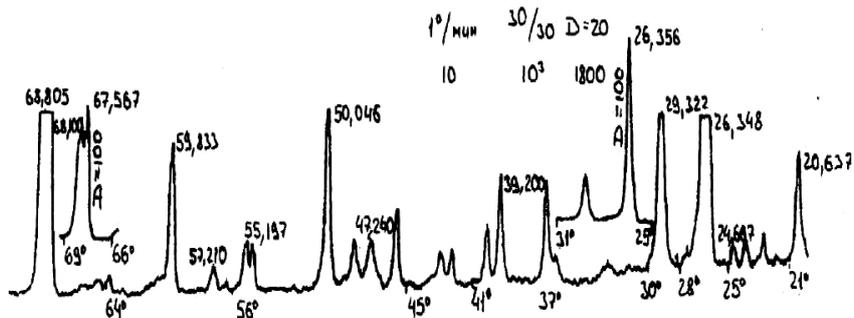


Рис. 1. Рентгенограмма силикатного кирпича на известково-кремнезёмистом вяжущем

Для оценки роли рецептурно-технологических факторов на синтез новообразований были рассчитаны модели и построены квазиоднофакторные зависимости (рис. 3). Анализ графиков позволил установить влияние каждого из выбранных факторов на количество новообразований.

Увеличение количества вяжущего от -1 до $+1$ способствует росту содержания тоберморита в 1,7 раза и низкоосновного гидросиликата в 1,4 раза, причём максимумы будут достигнуты при минимальных значениях остальных факторов.

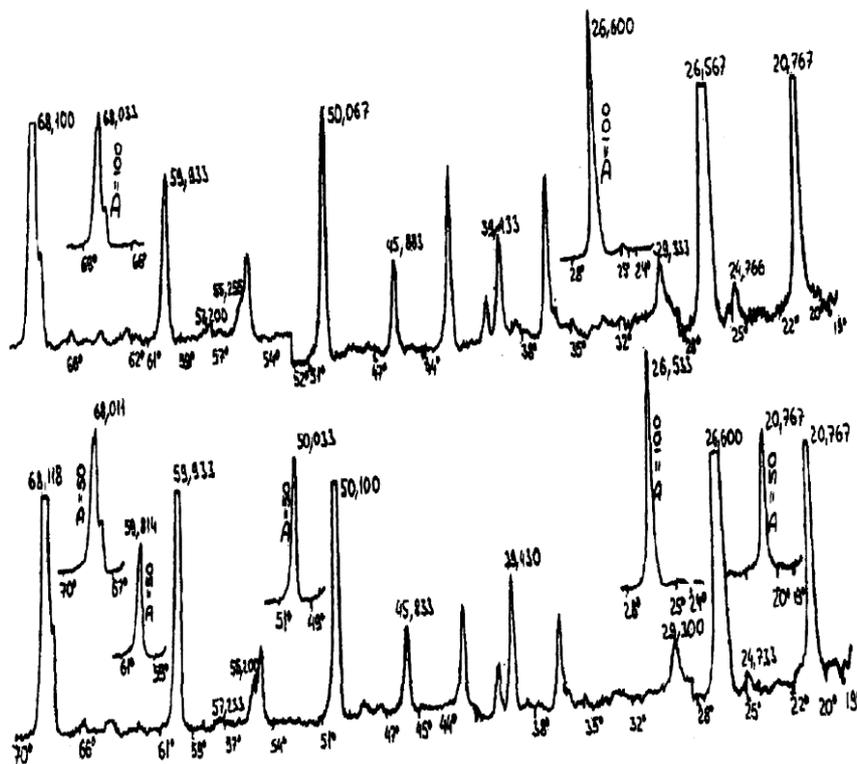


Рис. 2. Рентгенограмма образцов, содержащих максимальное количество шлака и минимальное количество извести



Рис. 3. Изменения содержания CSH(A) и тоберморита в зависимости от расхода вяжущего (а), времени изотермической обработки (б)

С увеличением количества шлака в вяжущем содержание тоберморита снижается в 2 раза, причём минимальное значение будет при минимальных значениях оставшихся факторов.

Значение низкоосновного гидросиликата кальция с ростом количества шлака в вяжущем также снижается в 2...3 раза, причём минимум будет при максимальных уровнях варьирования оставшихся факторов.

Анализируя влияние времени гидротермальной обработки на содержание тоберморита и низкоосновного гидросиликата кальция, можно сказать, что оптимум будет соответствовать 7 часам изотермического прогрева.

ЛИТЕРАТУРА

1. Современные методы оптимизации композиционных материалов / В.А. Вознесенский, В.Н. Выровой, В.Я. Керш и др.; Под ред. В.А. Вознесенского. – Киев: Будівельник, 1983. – 147 с.
2. Соломатов В.И. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов // Новые композиционные материалы в строительстве. – Саратов, 1981. – С. 5 – 9.
3. Композиционные материалы. Т. 2: Механика композиционных материалов: Пер. с англ. / Под ред. Дио Сендеики. – М.: Мир, 1978. – 564 с.
4. Боженков П.И. Технология автоклавных материалов. – Л.: Стройиздат, 1978. – 363 с.
5. Автоклавная обработка силикатных изделий / Под ред. С.А. Кржеминского. – М.: Стройиздат, 1974. – 160 с.
6. Бутт Ю.М., Куатбаев К.А. Долговечность силикатных бетонов. – М.: Стройиздат, 1966. – 216 с.
7. Рыбьев И.А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ (искусственные строительные конгломераты): Учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1978. – 309 с.
8. Калоузек Дж.Л. Тоберморит и сходные с ним фазы в системе $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ // J.Am. Concrete Inst. – 1995. – V. 26, № 10. – P. 510 – 602.
9. Kalousek G.L. «C – S – H» – Binder of potentially superior strength // Com. Coner. Res. – 1976. – Vol 6. – P. 1417 – 1418.
10. Развитие структуры силикатных автоклавных материалов в процессе гидротермального синтеза их цементирующих веществ / Е.М. Чернышов, Л.Н. Адоньева, Н.И. Старковская и др.: Тез. докл. и сообщ. IV Всесоюз. вестн. – Львов, 1981. – С. 280.
11. Меркин А.П., Фокин Г.А., Суровенкова Т.Н. Оптимизация режимов автоклавной обработки // Долговечность конструкций из автоклавных бетонов: Тез. докл. IV Республ. конф. – Талин, 1981. Ч. 1. – С. 44 – 48.