

6. Yoldas B. E. Effect of Variations in Polymerized Oxides on Sintering and Crystalline Transformations // Amer. Ceram. Soc. — 1982. — V. 65. — № 8. — P. 387–393.
7. Семченко Г. Д. Низкотемпературный синтез SiC при термообработке гелей из гидролизованного этилсиликата // Огнеупоры и техническая керамика. — 1996. — № 9. — С. 14–19.
8. Некоторые принципы выбора добавок для получения прозрачной керамики / А. В. Беляков, Е. С. Лукин, А. С. Власов, В. П. Тарасовский // Тр. ин-та / МХТИ им. Д. И. Менделеева. — 1981. — Вып. 118. — С. 78–89.
9. Беляков А. В. Химия дефектов и неравновесность при получении беспористой мелкокристаллической оксидной керамики // Стекло и керамика. — 1999. — № 2. — С. 16–17.
10. Беляков А. В. Стабилизация полиморфных фаз в оксидах. Полиморфные превращения // Стекло и керамика. — 1999. — № 2. — С. 16–17.
11. Беляков А. В. Стабилизация полиморфных фаз в оксидах. Полиморфные превращения // Стекло и керамика. — 1999. — № 3. — С. 19–22.
12. Ходаков Г. С. Физика измельчения. — М.: Наука, 1972. — 307 с.
13. Лихолобов В. А. Каталитический синтез углеродных материалов и их применение в катализе // Соросовский образовательный журнал. 1997. — № 5. — С. 35–42.
14. Синергетика и фракталы в материаловедении / В. С. Иванова, А. С. Баланкин, И. Ж. Бунин и др. — М.: Наука, 1994. — 383 с.

УДК 666.646:66.046.44.001.5

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ НЕГЛАЗУРОВАННЫХ ПЛИТОК ПОЛУСУХОГО ПРЕССОВАНИЯ ПО РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ

И. А. Левицкий, В. А. Бирюк, Э. В. Захаревич, В. Н. Бережной

Белорусский государственный технологический университет,
Белорусская государственная политехническая академия

При производстве керамических плиток полусухого прессования на конвейерных линиях одним из основных показателей качества является водопоглощение обожженных плиток. Известно [1], что этот показатель зависит от химического и гранулометрического составов керамических масс, начального влагосодержания (влажности) порошков, давления прессования, температуры и продолжительности обжига. Эти характеристики периодически контролируются в процессе изготовления плиток. Однако до сих пор нет математической зависимости, которая бы позволила оценить влияние каждого из основных факторов на процесс спекания керамической плитки.

Цель настоящей работы — попытаться получить регрессионную математическую модель, которая дала бы возможность прогнозировать водопоглощение путем использования данных по линейным размерам отпрессованных плиток и основных технологических параметров их изготовления. При этом ставилась задача прогнозировать водопоглощение за 40–50 мин до выхода плиток из печи обжига, что позволило бы при необходимости корректировать режим обжига и основные исходные технологические характеристики. В результате возможны повышение качества плиток, а в ряде случаев и экономия природного газа за счет снижения температуры обжига, если водопоглощение плиток существенно ниже значения, предусмотренного стандартом.

С этой целью на ОАО “Керамин” (г. Минск) была проведена серия экспериментов, которые осуществлялись на поточно-конвейерных линиях СМК-158 с номинальной годовой производительностью 400 тыс. м²

плиток для полов, работающих в комплексе с прессами, оснащенными одногнездной пресс-формой.

Неглазурованные плитки для полов изготавливали из пресс-порошков влажностью 5–8% на основе цветных масс.

Составы масс включали (%), здесь и далее массовое содержание): 70–72 глинистой составляющей, 24–28 флюсующей добавки, 4–6 шамота (измельченного боя и бракованных плиток). В качестве глинистой составляющей массы желтого цвета содержали строго дозированное количество привозных глин Веселовского, Дружковского и (или) Николаевского месторождений, а красножгушие массы — глины Никифоровского и Дружковского месторождений. Флюсующей добавкой служил комплексный пламень, содержащий стеклобой и нефелин-сиенит, реже — перлит.

При проведении эксперимента химический состав масс имел незначительные колебания и находился в следующих пределах: масс желтого цвета (%): 58,9–60,8 SiO₂, 23,1–27,0 Al₂O₃, 0,7–2,2 TiO₂, 2,7–3,0 Fe₂O₃, 1,3–2,5 CaO, 1,0–1,9 MgO, 2,3–2,9 K₂O, 4,6–5,1 Na₂O; масс красно-коричневого цвета (%): 63,0–65,2 SiO₂, 20,0–21,4 Al₂O₃, 1,0–1,2 TiO₂, 4,9–5,2 Fe₂O₃, 1,9–2,1 CaO, 1,8–2,0 MgO, 0,9–1,1 K₂O, 4,0–4,3 Na₂O. Таким образом, количество флюсующих оксидов типа (R₂O + RO + Fe₂O₃) в составах масс желтого цвета составляло 12,0–15,4%, красно-коричневого — 13,5–14,7%. Соотношение RO : R₂O находилось в пределах 0,33–0,55 и 0,74–0,76 соответственно.

Гранулометрический состав пресс-порошков характеризовался следующим соотношением фракций: 2,0–1,0 мм — 8,0%, 1,0–0,5 мм — 13,0%, 0,5–

0,25 мм — 57,0%, менее 0,25 мм — 22,0%. Отклонение содержания указанных фракций составляло $\pm 1\%$.

Рентгенофазовый анализ показал, что основными кристаллическими фазами в массах желтого цвета для всех серий эксперимента являются кварц, плагиоклазы и небольшие количества соединения типа $\text{CaO} \cdot 3\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$. У масс красно-коричневого цвета кристаллическая фаза представлена кварцем, анортитом, гематитом и небольшим количеством авгита. Исследованиями условной концентрации основных кристаллических фаз установлено, что колебания содержания кварца составляют 63–66%, плагиоклазов — 10–13%, соединений железа — 3–5%, что свидетельствует о близости фазовых составов синтезированных материалов.

Сбор исходных данных для получения регрессионной математической модели заключался в отборе полуфабриката плиток от прессов, который проводили с интервалом 4–5 мин, после чего плитки взвешивали на электронных весах и определяли среднее значение их размеров путем многократных замеров размеров L и толщины h . Давление прессования фиксировали по усредненным показаниям манометра пресса. Влажосодержание плиток определяли путем сушки в сушильном шкафу при температуре $105 \pm 5^\circ\text{C}$ и последующего взвешивания. После отбора плиток от пресса рассчитывали время, в течение которого плитки находились на линии в секциях печи обжига при максимальной температуре, а также продолжительность от момента прессования до выхода плитки из зоны максимальных температур на сортировку. Показания термопар в печи обжига фиксировались самопишущими потенциометрами КСП-4.

У обожженных образцов определяли водопоглощение как методом кипячения в воде в течение 1 ч V_k , так и ускоренным методом путем насыщения плиток под вакуумом на приборе ЭКВ $V_{\text{экв}}$ (экспресс-контроль водопоглощения) по стандартным методикам (ГОСТ 27180–86, ГОСТ 6787–90).

В таблице приведены результаты обработки экспериментальных данных: среднее значение давления прессования по манометру P , начальная влажность W , длина стороны квадратных плиток L , продолжительность обжига $\tau_{\text{об}}$, средняя температура $t_{\text{ср}}$ для трех секций роликовой печи, где наблюдались самые высокие температуры обжига. Приведены также отношение текущего объема V плитки к среднему значению объема $V_{\text{ср}}$ в выборке. Для серии выполненных экспериментов средние значения объемов плиток для двух выборок равны соответственно $3,2498 \cdot 10^{-4}$ и $2,7266 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$. Разбивка всего массива данных на две выборки объясняется тем, что предприятие выпускало плитки толщиной 12 и 10 мм.

Объем плиток рассчитывали по формуле

$$V = L^2 h. \quad (1)$$

Плотность плиток ρ (см. таблицу) определяли по выражению

$$\rho = m_b / V, \quad (2)$$

где m_b — масса влажной плитки, кг.

Отметим, что в таблице указан также номер первой из двух секций N_c с самой высокой температурой обжига.

С помощью пакета прикладных программ методом шаговой регрессии [2, 3] получена регрессионная модель зависимости водопоглощения (кипячение) $V_{\text{кр}}$ от ряда основных технологических характеристик при изготовлении плиток

$$\begin{aligned} V_{\text{кр}} = & -309,316 + 7259,94L^2 + 270,272(V/V_{\text{ср}}) - \\ & - 136,127(V/V_{\text{ср}})^2 + 7,38527P - 0,644427P^2 - \\ & - 1,05005 \cdot 10^{-2} \rho - 2,27758 \cdot 10^{-3} \tau_{\text{об}} + \\ & + 0,036166N_c^2 - 1,35004 \cdot 10^{-5} (t_{\text{ср}})^2. \end{aligned} \quad (3)$$

В таблице приведено также водопоглощение $V_{\text{кр}}$, рассчитанное по формуле (3). Среднеквадратическое

Серия эксперимента	Номер линии	P , МПа	W , %	L , м	$V/V_{\text{ср}}$	ρ , кг/м ³	$\tau_{\text{об}}$, с	N_c	$t_{\text{ср}}$, °C	V_k , %	$V_{\text{кр}}$, %	$V_{\text{экв}}$, %
1	2	6,82	4,33	0,16420	1,0230	1845	3732	11	1016	3,28	3,41	3,34
2	7	5,89	5,30	0,16394	0,9932	1891	2940	9,5	1018	3,99	3,82	3,82
3	3	6,06	4,72	0,16349	0,9985	1948	3720	11	1006	1,78	1,76	2,10
4	9	6,18	4,82	0,16467	1,0296	1801	3012	9,5	1035	5,55	5,57	5,34
5	1	6,80	4,36	0,16410	1,0466	1802	3546	9,5	1034	2,45	2,20	2,43
6	4	4,61	7,59	0,16399	0,9583	1881	3870	11	978	3,16	3,16	3,55
7	3	5,63	9,13	0,16365	0,9683	1991	3720	11	995	2,06	1,97	2,45
8	7	4,51	5,86	0,16412	1,0046	1832	3060	9,5	1030	3,30	3,31	3,12
9	2	6,82	7,24	0,16375	0,9756	1971	3732	12	1031	1,67	1,52	1,71
10	3	6,87	5,92	0,16380	0,9978	1930	3720	11	1001	1,90	2,06	2,78
11	7	6,77	6,06	0,16439	1,0219	1898	3240	9,5	976	4,60	4,47	4,48
12	1	5,27	5,98	0,16377	1,0033	1835	3528	10	978	3,95	3,96	3,91
13	9	5,40	6,67	0,16408	0,9440	1915	2940	10,5	1017	4,22	4,28	4,63
14	1	6,77	5,67	0,16390	0,9714	1892	3528	10	987	2,70	2,83	2,96
15	2	6,47	5,22	0,16388	1,0490	1857	3780	11	1001	2,93	2,92	3,29
16	7	6,28	5,75	0,16394	1,0370	1897	3240	9,5	1035	1,86	2,16	2,15

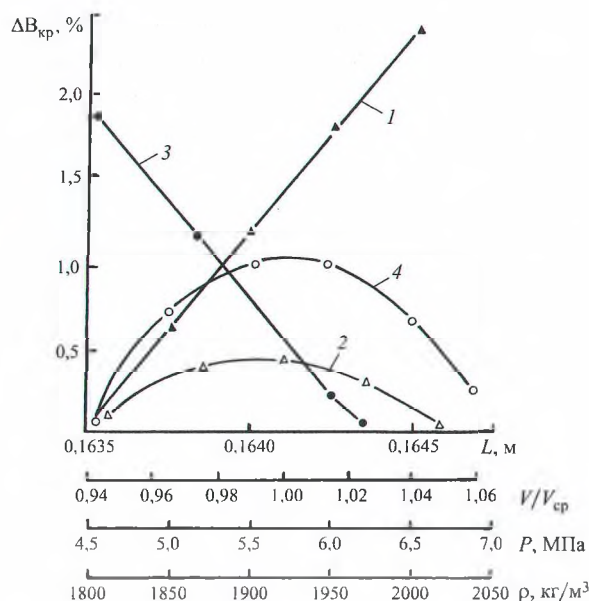


Рис. 1. Изменение водопоглощения в зависимости от ширины плитки L (1), ее относительного объема $V/V_{кр}$ (2), плотности отпрессованной плитки ρ (3) и давления прессования P (4)

отклонение $B_{кр}$, определенное по формуле (3), составляет 0,22%, а коэффициент корреляции равен 0,963.

На рис. 1 и 2 отражено изменение водопоглощения в зависимости от давления прессования, параметров плитки и режима обжига. За $\Delta B_{кр} = 0$ принят рассчитанный по формуле (3) самый минимальный вклад водопоглощения в минимальное или максимальное значение диапазона изменения каждого из факторов, характеризующих плитку.

Анализ данных рис. 1 показал, что кривая 1, хотя и является квадратной функцией L , однако из-за узкого диапазона превратилась практически в прямую. По сравнению с другими факторами L оказывает наибольшее влияние на водопоглощение. Так, изменение значений L от 0,16349 до 0,16467 м дает изменения водопоглощения $\Delta B_{кр} = 2,81\%$. Это объясняется тем, что L зависит от давления прессования и влажности плитки: меньшим размерам плитки соответствуют более низкие значения водопоглощения.

При анализе кривых 2 и 4 установлено, что водопоглощение зависит также от относительного объема плитки и давления прессования, однако определить их полный вклад по регрессионной модели затруднительно, хотя ход кривых показывает, что такая зависимость имеет право на существование. Поэтому для оценки вклада каждого из факторов необходимо рассматривать совокупность кривых изменения $\Delta B_{кр}$ от ряда других факторов. Следует отметить, что с увеличением плотности водопоглощение падает.

Из рис. 2 видно, что водопоглощение уменьшается с ростом средней температуры обжига в трех секциях

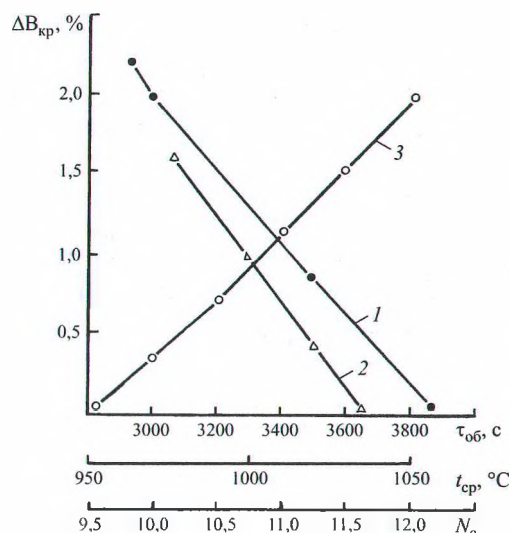


Рис. 2. Изменение водопоглощения плиток в зависимости от продолжительности обжига $\tau_{об}$ (1), средней температуры обжига $t_{ср}$ (2) и номера секции N_c (3)

с самой высокой температурой и его продолжительности и увеличивается, если зона высоких температур в печи перемещается ближе к последней секции зоны обжига.

Отметим, что колебания химического и гранулометрического составов незначительны и учитываются в формуле (3) косвенно через такие факторы, как относительный объем, ширина плитки, плотность и давление прессования.

Проведенные исследования показывают, что полученная регрессионная модель позволяет прогнозировать водопоглощение отпрессованных плиток до выхода их из печи обжига с достаточно высокой степенью достоверности.

Таким образом, предложенная формула (3) дает возможность количественно оценить влияние размеров плитки, давления прессования и параметров обжига на изменение водопоглощения. Дальнейшая обработка массива экспериментальных данных, приведенных в таблице, позволит получить системы регрессионных моделей, а также составить прикладные программы, позволяющие с помощью ЭВМ прогнозировать водопоглощение плиток за 40–50 мин до их выхода из печи обжига.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новая технология керамических плиток. — М.: Стройиздат, 1977. — 228 с.
2. Дрейнер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ: В 2-х кн. Кн. 1. — М.: Финансы и статистика, 1986. — 366 с.
3. Дрейнер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ: В 2-х кн. Кн. 2. — М.: Финансы и статистика, 1987. — 351 с.