

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ СУШКИ СЛОЯ ГЛАЗУРИ НА КЕРАМИЧЕСКИХ ПЛИТКАХ РАДИАЦИОННЫМ ПОТОКОМ ТЕПЛА

Глазурь для керамических плиток представляет собой водяную тонкодисперсную суспензию стекла, каолина и глины. Влажность суспензии 34–40% по массе. Глазурь на плитку наносится поливом. Толщина образующего слоя 1,5–2,0 мм, а масса его 14–16 г.

На предприятиях промышленности строительных материалов сушка глазури производится радиационно-конвективным и конвективным теплопроводом. Продолжительность ее при этом изменяется от 60 до 90 с в первом случае и до 3 мин во втором [1].

Исследования по сушке лакокрасочных покрытий некоторых радиотехнических деталей показали, что для тонких слоев влажных материалов наиболее эффективными способами подвода тепла являются радиационно-конвективный и радиационный, причем последний особенно желателен при повышенных температурах [2–4].

Отмечается также, что параметры среды сушильной камеры мало влияют на величину скорости сушки и она полностью определяется температурным уровнем процесса.

Математическое решение задачи переноса тепла и массы при сушке влажных строительных материалов при одностороннем радиационном подводе тепла постоянной мощности сводится к интегрированию системы дифференциальных уравнений

$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{\partial T}{\partial \tau} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \varepsilon r \rho \frac{\partial u}{\partial \tau}; \\ \frac{\partial u}{\partial \tau} &= \frac{\partial}{\partial x} \left[a_m \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \delta \frac{\partial T}{\partial x} \right) \right], \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где c – теплоемкость; ρ – плотность; T – текущая температура; τ – время; x – координата; λ – коэффициент теплопроводности; ε – коэффициент фазового превращения; r – теплота парообразования; u – текущее влагосодержание; a_m – коэффициент диффузии влаги; δ – термодиффузный коэффициент.

При граничных условиях

$$-\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=0} + r(1-\varepsilon) j_m(\tau) = q - r q_m(\tau); \quad (2)$$

$$a_m \rho \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_{x=0} + \delta \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=0} \right] = q_m(\tau), \quad (3)$$

где j_m – плотность потока массы внутри тела; q – плотность теплового потока; q_m – плотность потока массы с поверхности тела.

В начале процесса сушки температура и влагосодержание по сечению слоя одинаковы и постоянны, т.е. $T=T_0=\text{const}$ и $u=u_0=\text{const}$.

Корни системы уравнений (1) с учетом граничных условий (2) и (3) представляют собой функции теплофизических и массообменных свойств влажного тела Ω , массообменного потенциала окружающей среды Ψ и интенсивности теплового воздействия q , т.е.

$$T(x, \tau) = \Phi(\Omega, \Psi, q); \quad (4)$$

$$u(x, \tau) = f(\Omega, \Psi, q_m(\tau)). \quad (5)$$

Или, следуя [5], для поверхности влажного тела можно записать

$$q = \Phi_1(\Omega, \Psi); \quad (6)$$

$$q_m(\tau) = f_1(\Omega, \Psi). \quad (7)$$

Отсюда, с учетом (2) и (3) следует

$$q_m(\tau) = Z(\Omega, \Psi, q). \quad (8)$$

При радиационном тепловоде плотность теплового потока в большинстве случаев рассчитывается по формуле

$$q = \epsilon_{\text{пр}} C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (9)$$

где $\epsilon_{\text{пр}}$ – приведенная степень черноты системы излучатель – поверхность влажностного тела; C_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела; T_1, T_2 – соответственно текущая температура генератора теплоты и теплоприемника.

Следовательно, при заданных свойствах влажного тела интенсивность сушки можно легко рассчитать при известном массообменном потенциале среды в сушильной камере.

В качестве потенциала массопереноса между влажным телом и средой выгодно использовать разность химических потенциалов паров воды над поверхностью влажного тела и в среде, т.е.

$$\Delta\mu = RT_c \ln \varphi, \quad (10)$$

так как при этом учитывается в качестве движущей силы массопереноса не только влажность среды φ , но и ее температура T_c .

Исследованиями И.В. Кречетова показано, что относительную влажность среды при температуре выше 373 К и атмосферном давлении можно определить по формуле

$$\varphi = \frac{d}{0,622+d} \left(\frac{100}{t_c} \right)^4,$$

где d – влагосодержание среды; t_c – температура среды.

Если принять, что сушка производится в среде чистого водяного пара, то величина относительной влажности при температуре выше 600 К становится менее 1% и существенного влияния на интенсивность сушки оказывать не будет.

С учетом сказанного уравнение (8) может быть переписано в виде

$$q_m(\tau) = Z(q, \mathcal{R}). \quad (11)$$

С целью проверки выдвинутых положений были проведены исследования по выбору оптимальных параметров сушки глазурованных поверхностей облицовочных и метлахских плиток.

На рис. 1 представлены опытные данные по изменению массы слоя глазури в процессе сушки при различной температуре излучающей поверхности нагревателя, которая изменялась от 500 до 780^oC при расстоянии плитки от нагревателя 100 мм.

Анализ полученных данных показывает, что характер процесса сушки независимо от интенсивности теплового воздействия остается одинаковым и только изменяется угол наклона прямых к оси абсцисс. Это говорит о том, что по истечении 15–20 с после начала сушки скорость процесса остается постоянной вплоть до полного высыхания.

Экспериментальные результаты могут быть представлены в виде зависимости изменения относительного влагосодержания как функции температуры и времени. т.е.

$$n = \frac{u - u_p}{u_o - u_p} = f(T, \tau), \quad (12)$$

где u_o , u_p – начальное и равновесное влагосодержание, соответствующее влажности среды в конце процесса сушки.

Ввиду того что температура слоя глазури в конце сушки достигает 600 К, а среда – 700 К, то при таком состоянии системы можно с достаточной для инженерных расчетов точностью считать $u_p = 0$. В этом случае выражение (12) запишется в виде

$$n = \frac{u}{u_o} = f(T, \tau). \quad (13)$$

Математическая обработка экспериментальных данных позволила получить расчетную формулу для определения продолжительности сушки слоя

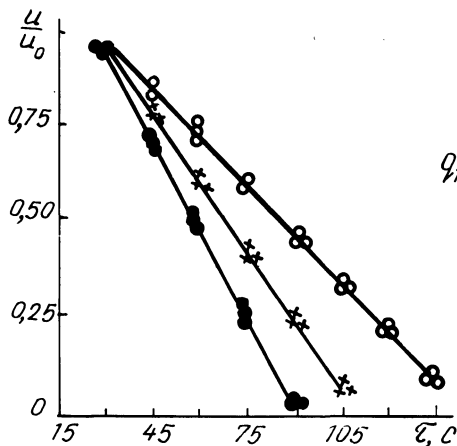


Рис. 1. Относительная скорость сушки глазури при различной температуре излучателя:

• – 1050К; х – 900 К; о – 800 К.

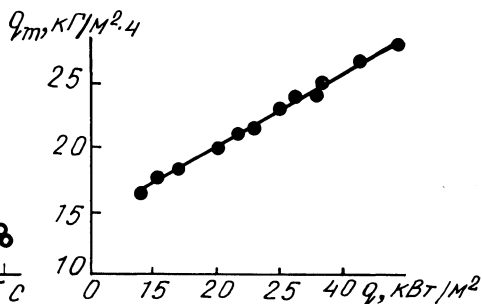


Рис. 2. Зависимость интенсивности сушки q_m от плотности подводимого теплового потока q .

глазури на плитках до заданного значения относительного влагосодержания при различных температурах на поверхности генератора теплоты в виде

$$(1-n) = (\exp 2,2T \cdot 10^{-3} + 0,15) \cdot 10^{-3} (\tau - 15). \quad (14)$$

На рис. 2 представлен график зависимости интенсивности сушки глазури $q_m(\tau)$ от величины падающей на слой плотности теплового потока q , которая хорошо аппроксимируется уравнением прямой

$$q_m(\tau) = 0,32q + 12. \quad (15)$$

Таким образом, проведенные эксперименты полностью подтвердили теоретическое положение, что при температуре среды выше 373 К параметры ее в сушильной камере не влияют на интенсивность сушки и она полностью определяется количеством подведенного тепла.

В ы в о д ы. 1. Теоретически показано и экспериментально подтверждено, что при высокотемпературной сушке интенсивность ее практически не зависит от влажностных параметров среды.

2. Радиационная сушка позволяет существенно снизить продолжительность сушки и улучшить качество глазурированного слоя при меньшей затрате энергии.

Л и т е р а т у р а

1. Беренштейн П.И., Красноусова А.С., Рохваргер Е.Л. Скоростной обжиг облицовочных плиток в роликовых печах. – Труды НИИСтройкерамики, 1976, вып. 27, с. 172–181. 2. Рабинович Г.Я., Слободкин Л.С. Терморadiационная и конвективная сушка лакокрасочных покрытий. – Минск, 1965, с. 273. 3.

И в а н о в В.И., П р о х о р о в Ю.И. К вопросу термической обработки пленок при лучистом нагреве. – В сб.: Электронная техника; 1973, сер. 7, вып. 3 (55), с. 73–74. 4.
В а с и л ь е в Г.К. Сушка фоторезистивных покрытий излучением в осциллирующем режиме. – В сб.: Электронная техника, 1973, сер. 3, вып. 8 (48), с. 37–39. 5. Т е м к и н А.Г. Обратные методы теплопроводности. – М., 1973, с. 464.

УДК 666.97.035.04.

В.В. Артихович, Л.В. Нестеров, А.М. Протасевич,
канд -ты техн.наук

(БПИ)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА РЕЖИМОВ ТЕПЛОЙ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ БЕТОНА В "СУХОЙ" СРЕДЕ

Предлагаемый метод расчета режима тепловой обработки основывается на комплексном решении задач теплопроводности и теории упругости для изделий из твердеющего бетона. Такое сопряжение внешних тепло- и массообменных процессов и внутренних структурообразующих и деформативных процессов при изменении упругости тела является, на наш взгляд, наиболее оправданным.

Прогрев изделий интенсифицирует изменение перепадов температур, влагосодержаний и избыточных давлений по сечению изделий, что может вызвать нарушения структуры бетона вследствие: 1) температурных деформаций и соответственно напряжений как в местах контакта составляющих бетона, так и изделий в целом; 2) местных деформаций и напряжений, связанных с избыточным давлением паровоздушной смеси и воды в порах бетона и их перемещением под действием разности давлений и 3) деформаций и напряжений, связанных с возникновением градиента влагосодержания и с влажностной усадкой.

В твердеющем бетоне разрушение структуры материала (деструкцию) следует рассматривать как функцию всех трех факторов с анализом их влияния и времени возникновения в процессе обработки бетона. Поэтому решение задачи прогнозирования режима тепловой обработки требует создания модели процесса, способной с достаточной достоверностью его описать. Одна из гипотез такой модели может быть сформулирована следующим образом:

$$\sigma_T(\tau, x, y, z) + \sigma_W(\tau, x, y, z) + \sigma_p(\tau, x, y, z) \leq R_p(\tau, x, y, z), \quad (1)$$

где σ_T – величина температурных напряжений, Па; σ_p – величина напряжений, вызываемых избыточным давлением в порах бетона, Па; σ_W – величина влажностных напряжений, Па; R_p – прочность бетона на растяжение при изгибе, Па; τ – время; x, y, z – координаты.