

нию поверхности материала и, естественно, к уменьшению a_m . Это положение подтверждается результатами экспериментов по сушке керамических дренажных труб из глин витебских месторождений (рис. 1). Из рисунка следует, что при $q_0 > 0,4 \text{ кВт/м}^2$ коэффициент диффузии влаги a_m остается неизменным. Затем он начинает уменьшаться.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедев А.П., Станецкая И.И. Влияние плотности теплового потока на интенсивность тепло- и массообменных процессов при тепловой обработке бетона в среде влажного воздуха. — В кн.: Тепло- и массоперенос при новых способах теплового воздействия на твердеющий бетон. Киев, 1973, с. 102–107.

УДК 666.75.047

А.П. ЛЕБЕДЕВ, канд.техн.наук,
Г.В. КОЗЛОВА (БПИ)

ТЕРМОРАДИАЦИОННАЯ СУШКА ТАРЕЛОК

Сушка посуды, как правило, осуществляется в конвективных сушилках различного типа. Продолжительность ее в зависимости от конфигурации изделия и толщины стенок составляет 3–12 ч и больше. Низкая скорость сушки делает практически невозможными механизацию и автоматизацию операций загрузки и выгрузки изделий в сушилке.

В процессе сушки внутри тела возникают температурный и влажностный градиенты, которые создают его напряженное состояние. Учет и тем более расчет напряжений представляет сложную задачу, которая в условиях производства не поддается решению.

Для учета совместного действия внешних и внутренних факторов тепло-массопереноса (не расчлняя их на элементарные процессы) целесообразно использовать законы термодинамики необратимых процессов.

Для открытых термодинамических систем с учетом локальной квазиравновесности массообменных процессов возможно применение феноменологического уравнения Гиббса [1]:

$$dS = \frac{1}{T} du + \frac{1}{T} pdv - \frac{1}{T} \sum \mu_i dn_i. \quad (1)$$

Из уравнения (1) следует, что энтропия открытой системы изменяется благодаря внутреннему или внешнему тепловому воздействию и влажностному взаимодействию с окружающей средой. Поэтому полное изменение энтропии системы можно представить в виде суммы

$$dS = d_i S + d_e S. \quad (2)$$

Согласно второму закону термодинамики, всегда $d_i S > 0$.

В отличие от $d_i S$, $d_e S$ может быть больше или меньше нуля. Если система отдает массу в окружающую среду, то $d_e S > 0$, а сумма (2) положительна или отрицательна в зависимости от интенсивности теплообмена.

Согласно литературным данным [2], при условии $dS = 0$ в теле за счет непрерывных деформаций равновесных исходных структур возникают сходные с начальными и по форме, и по симметрии деформации. Поэтому изделия следует сушить таким образом, чтобы производство энтропии внутри влажного тела было близким к нулю на протяжении всего цикла, т.е. когда вся теплота, подводимая к влажному телу, расходуется на испарение влаги с его поверхности $g_j m = q_0$.

Поток влаги с поверхности влажного тела вызывает равный поток внутри материала, который для одномерного тела без учета действия термовлагопроводности описывается уравнением

$$a_m \rho_0 \nabla u = q_m. \quad (3)$$

Из равенства (3) следует, что внутренний поток влаги для конкретного материала определяется двумя параметрами – коэффициентом диффузии влаги a_m и градиентом влагосодержания ∇u . В свою очередь a_m зависит не только от поровой структуры и влагосодержания материала, но и от режимных параметров сушки [2–4].

Следовательно, чтобы существенно ускорить процесс сушки, необходимо строго и в определенных пределах поддерживать интенсивность испарения q_m при максимально возможной величине коэффициента диффузии влаги a_m на протяжении всего периода сушки. Чтобы обеспечить максимальные значения a_m , нужно поддерживать возле поверхности материала относительную влажность среды $\varphi \approx 0,75$ [5].

Указанные требования относительно легко выполняются при терморрадиационном подводе теплоты к поверхности тела. В этом случае, согласно данным [3,4], q_m можно рассчитать по формуле

$$q_m = A_{\text{exp}} \left(- \frac{r}{RT_{\Pi}} \right). \quad (4)$$

Из уравнения видно, что с повышением температуры поверхности влажного тела T_{Π} интенсивность испарения возрастает. В свою очередь T_{Π} является функцией плотности теплового потока q_0 , падающего на поверхность влажного тела. При $q > q_0$ зона фазового перехода перемещается в глубь тела, что резко снижает a_m и приводит к увеличению градиента влагосодержания, значение которого может превзойти $u_{\text{доп}}$. Кроме того, при заглублении зоны фазового превращения внутри влажного тела может производиться энтропия

$$d_i S = Ar/T_{\text{exp}} \left(- \frac{r}{RT_{\Pi}} \right) dt. \quad (5)$$

При этом поток влаги из зоны испарения в окружающую среду резко снижается, так как диффузия влаги в виде пара происходит значительно медлен-

нее, чем в виде жидкости. Повышение давления пара в зоне фазового перехода усиливает напряженное состояние тела вплоть до разрушения.

Таким образом, существенно ускорить сушку влажных материалов возможно только при терморрадиационном подводе теплоты. Однако для создания благоприятных условий влагоудаления нужно строго регулировать плотность теплового потока, подаваемого на поверхность высушиваемого материала.

С целью проверки высказанных положений на Минском фарфоровом заводе нами был изучен процесс сушки тарелок диаметром 145 мм с толщиной стенки 3 мм. Сушка производилась в два этапа: 1) на гипсовых формах с односторонним подводом теплоты; 2) досушка снятых с форм изделий с двусторонним подводом теплоты.

На рис. 1, а показаны кривые сушки тарелок на форме при различной температуре на верхнем нагревателе. Начальная влажность тарелок составляла 20,5–21 %. Анализ графиков показывает, что с повышением температуры угол наклона кривых к оси абсцисс увеличивается. Это свидетельствует о возрастании интенсивности испарения с повышением плотности теплового потока. Однако при повышении $q_{\text{пад}}$ увеличивается температура гипсовых форм и начи-

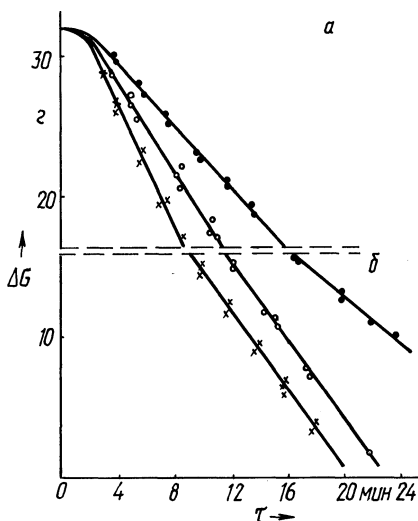


Рис. 1. Скорости сушки тарелок при различных тепловых потоках:

$q_0 = 1,8 \text{ кВт/м}^2$ (1); $2,0$ (2); $2,2 \text{ кВт/м}^2$ (3).

нается их дегидратация. Поэтому наиболее оптимальной явилась плотность теплового потока, подводимого к изделию, в пределах $1,7\text{--}1,8 \text{ кВт/м}^2$. Увеличение q выше $2,0 \text{ кВт/м}^2$ приводит к появлению трещин на самих изделиях. Это говорит о том, что при таком потоке теплоты зона испарения заглибляется внутрь изделия. Одновременно уменьшается коэффициент диффузии влаги a_m ; сток энтропии замедляется, и она накапливается внутри высушиваемого материала, создавая напряженное состояние. При $q > 2,2 \text{ кВт/м}^2$ скорость производства энтропии настолько велика, что приводит к разрушению изделия.

На рис. 1, б показаны кривые сушки тарелок, снятых с форм. Характер кривых аналогичен характеру кривых, изображенных на рис. 1, а. Однако допустимая плотность теплового потока в этом случае ниже. Это, во-первых, объясняется тем, что влагосодержание материала на данной стадии сушки меньше максимально сорбционного. В данной связи влага по сечению перемещается как в жидкой, так и в парообразной фазе, т.е. значительно медленнее, чем только в жидкой. Накопление энтропии при одной и той же интенсивности

теплового потока происходит быстрее. Во-вторых, в нижней части тарелка очень быстро обезвоживается, и в ней создается наиболее напряженное состояние; при $q > 1,7 \text{ кВт/м}^2$ наблюдается ее скалывание.

Таким образом, подтвердилось предположение о том, что при благоприятных условиях сушки возможно сокращение ее продолжительности в 8–10 раз при высоком качестве продукции.

Условные обозначения

T — температура; s — энтропия; p, v — давление и объем парогазовой смеси в системе, соответственно; μ_i — химический потенциал i -й реакции; n_i — количество i -го компонента; a_T — коэффициент диффузии влаги в теле; ρ_0 — плотность тела; u — влагосодержание; g — теплота парообразования; q — количество теплоты, участвующей в процессе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г у р о в К.П. Феноменологическая термодинамика необратимых процессов. — М., 1978. — 128 с. 2. Э б е л и н г В.З. Образование структур при необратимых процессах. — М., 1979. — 279 с. 3. Л е б е д е в А.П., С т а н е ц к а я И.И. Влияние плотности теплового потока на интенсивность тепло- и массообменных процессов при тепловой обработке бетона в среде влажного воздуха. — В кн.: Тепло- и массоперенос при новых способах теплового воздействия на твердеющий бетон. Киев, 1973, с. 102–107. 4. О р л о в и ч А.И. Исследование влияния условий твердения на основные физико-механические свойства цементного камня и бетона: Автореф. дис. ... канд. дис. техн. наук. — Минск, 1979. — 22 с. 5. Л е б е д е в П.Д. Сушка инфракрасными лучами. — М., 1955. — 253 с.

УДК 697.95

А.Т. СЫЧЕВ,

В.А. ШИРОКИЙ, канд. ты техн. наук (БПИ)

СИСТЕМА ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ С ПЕРЕМЕННЫМ РАСХОДОМ ВОЗДУХА

Основным показателем изменения коэффициента воздухообмена k_L [1] на участке "воздухораспределитель — рабочая зона" является $\bar{L}_{\text{ВХ}} (\bar{L}_{\text{ВХ}} = L_{\text{ВХ}} / L_0$ — расход воздуха в месте входа струи в рабочую зону и на истечении). Низкий $\bar{L}_{\text{ВХ}}$ обеспечивается при использовании воздухораспределителя регулируемой производительности (ВРП), конструкция и принцип работы которого описаны В.А. Широкиным [2]. Воздухораспределитель позволяет подавать в помещения крупные струи (заполняющие объем рабочей зоны и вытесняющие вторичные и циркуляционные течения в верхнюю зону) и обслуживать большие модули помещений (48х48 м и более) [3].

Физическая модель течения представлена в работе. Струя подается сверху, перпендикулярно к плоскости пола (рис. 1). При соприкосновении с полом струя трансформируется в полуограниченную веерную и распространяется вдоль него до встречи с ограждающими конструкциями или аналогичными те-