

УДК 66.047

РАСЧЕТ КИНЕТИКИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СУШКИ
ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. А. РЕУТСКИЙ, М. К. КОШЕЛЕВА, В. М. ТРОФИМОВА

(Московская государственная текстильная академия им. А. Н. Косыгина)

Процесс сушки многих полимерных материалов, в частности, полиэтилентерефталата (ПЭТФ), производится обычно в сушилках непрерывного действия полочного типа при температурах, намного превышающих температуру кипения воды (180—200°C) при атмосферном давлении. Полимерные материалы при этом, как правило, используются в гранулированном виде, что затрудняет удаление влаги и равномерный прогрев материала, необходимый для последующей переработки полимеров в волокно.

Принято считать, что кинетика процесса сушки полимеров определяется скоростью удаления влаги из гранул [1], то есть массопроводностью. Однако проведенный нами расчет необходимой продолжительности процесса сушки для гранулированного ПЭТФ с учетом приводимых в литературе значений коэффициента массопроводности показал, что расчетное время сушки по данным производственных испытаний превышает действительное в несколько десятков раз.

Предположим, что лимитирующей стадией процесса сушки ПЭТФ является не скорость удаления влаги, а скорость прогрева гранул до требуемой высокой температуры. Для этого нами был проведен поворочный расчет необходимой продолжительности сушки гранул ПЭТФ в пятиполочной сушилке непрерывного действия, снабженной многоярусной мешалкой, действительное время сушки ПЭТФ для которой было известно (Могилевский комбинат).

Принимали, что на каждой полке устанавливается режим идеального перемешивания как по твердой фазе (гранулы ПЭТФ), так и по газовой (теплоноситель). Гранулы ПЭТФ для сушки имели размеры 4×4×3 мм и приближенно рассматривались как пластины толщиной 3 мм. При расчете использовали решение дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности для пластин [2]:

$$\Theta = \frac{t(x, \tau) - t_0}{t_c - t_0} = 1 - \sum A_n \cos(\mu_n(x/R)) \operatorname{erfc}(-\mu_n^2 Fo); \quad (1)$$

$$\text{где } A_n = \frac{2 \sin(\mu_n)}{\mu_n + \sin(\mu_n) \cos(\mu_n)} = (-1)^{n+1} \frac{2 Bi (Bi^2 + \mu_n^2)}{\mu_n (Bi^2 + Bi + \mu_n^2)}; \quad (2)$$

Θ — относительная температура;

$t(x, \tau)$ — температура на расстоянии x от поверхности пластины в момент времени τ ;

t_0 — начальная температура пластины;

t_c — температура сушильного агента, предполагаемая постоянной

в течение времени нагрева (на каждой полке соответствующая температура);

μ_n — корни характеристического уравнения:

$$\operatorname{ctg} \mu = \mu / \text{Bi}, \quad (3)$$

где Bi — критерий Био;

$$\text{Bi} = \alpha R / \lambda;$$

α — коэффициент теплоотдачи от сушильного агента к поверхности пластины;

R — половина толщины пластины;

λ — коэффициент теплопроводности;

Fo — критерий Фурье;

$$\text{Fo} = \alpha \tau / R^2;$$

a — коэффициент температуропроводности;

$$a = \lambda / (C\rho);$$

C — теплоемкость при постоянном давлении;

ρ — плотность материала гранул.

Необходимое число членов ряда в уравнении (1) для расчета относительной температуры зависит от величины критерия Фурье. С возрастанием критерия требуемое число членов ряда уменьшается и в пределе при $\text{Fo} > 1$ достаточно использовать только первый член ряда (регулярный режим).

Для расчета критерия Био использовались следующие значения физико-химических величин: $C = 1,07 + 0,00345 t$ кДж/(кг·К) (от 20 до 200 °С); $\lambda = 0,14$ Вт/(м·К); плотность материала гранул $\rho = 1060$ кг/м³; ρ_n — плотность насыпного слоя гранул.

Начальная и конечная температуры: материала $t_n = 20$ °С и $t_k = 178 \dots 180$ °С; теплоносителя — $t_{\text{TH}} = 180$ и $t_{\text{TK}} = 100$ °С; начальная и конечная влажность материала $w_n = 0,2$ % и $w_k = 0,005$ %.

С помощью этих данных найдено $\text{Bi} = 0,239$ (значения физико-химических величин определялись для средней температуры теплоносителя 140 °С). Для расчета критерия Фурье время пребывания гранул ПЭТФ на полках сушилки задавалось от 1 до 10 мин с таким условием, чтобы при расчете относительной температуры по уравнению (1) различные температур на поверхности и в центральной плоскости гранул на нижних трех полках не превышало 0,5 °С, что обеспечивало бы равномерный прогрев гранул, требуемый по технологии для последующей переработки полимера в волокно.

В результате обработки данных, проведенной на ПЭВМ, было установлено, что требуемое условие равномерности прогрева гранул обеспечивается при продолжительности пребывания материала на каждой полке 5 мин, что соответствует критерию Фурье, равному 11,3.

Таблица 1

Температура, °С*	Порядок полок				
	1	2	3	4	5
t_T	100	120	140	160	180
t_n	94,0	118,1	138,4	158,4	178,4
t_c	93,2	117,7	138,1	158,1	178,1

Примечание. t_T — теплоносителя, t_n — по поверхности гранул, t_c — в центре гранул.

Таким образом, в соответствии с вышесказанным, высокотемпературная сушка ПЭТФ протекает в регулярном режиме и, следовательно, при использовании уравнения (1) для расчета температур гранул можно ограничиться первым членом ряда.

Учитывая, что истинное распределение температур теплоносителя было неизвестно, для упрощения вычислений принимали линейное изменение температуры горячего воздуха (теплоносителя) по полкам, что не могло существенно повлиять на изменение температуры гранул ПЭТФ на полках сушилки, поскольку диапазон изменения температур был сравнительно невелик. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Общая продолжительность пребывания гранул ПЭТФ в сушилке составила 26 мин, что приблизительно соответствовало реальному времени пребывания гранул в промышленной сушилке τ_p , рассчитанному на основе производительности сушилки и высоты слоя материала на полках ($\tau_p = 35$ мин).

ВЫВОДЫ

1. Показано, что лимитирующей стадией высокотемпературной сушки гранулированного ПЭТФ является не продолжительность удаления влаги из гранул, как считалось ранее, а продолжительность равномерного прогрева гранул.

2. Для расчета кинетики сушки ПЭТФ можно использовать решение дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности.

3. Проведен повсрочный расчет кинетики процесса высокотемпературной сушки гранулированного ПЭТФ на основе решения уравнения теплопроводности, адекватность которого подтверждена результатами промышленного эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рудобашта С. П. Массоперенос в системах с твердой фазой. — М.: Химия, 1978.
2. Лыков А. В. Теория теплопроводности. — М.: Гостехтеоретиздат, 1952.

Рекомендована кафедрой процессов и аппаратов химической технологии и безопасности жизнедеятельности. Поступила 06.12.96.