

АНАЛИЗ ПЛОТНЫХ ШЕРСТЯНЫХ ТКАНЕЙ КАК ОБЪЕКТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ИХ ОТДЕЛКИ

М.К. КОШЕЛЕВА, П.П. КЕРЕМЕТИН, А.А. БУЛЕКОВА, Д.А. НАУМОВ

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)

В отделке плотных шерстяных тканей особое место занимают процессы сушки и промывки и не только потому, что они весьма энерго- или водоемки, но и потому, что в значительной степени определяют качественные показатели готовой ткани. Следует отметить, что применительно к плотным шерстяным тканям эти процессы еще недостаточно изучены.

Для анализа рациональности технологических режимов сушки и промывки плотных шерстяных тканей на тонкосуконных фабриках необходимо было изучить их как объект технологической обработки и кинетику процессов.

В работах академика Б.С. Сажина, например, [1], показано, что важнейшими характеристиками материалов как объектов технологической обработки являются сорбционно-структурные характеристики – изотермы сорбции-десорбции и рассчитанные на их основе характеристики пористой структуры.

В результате анализа и математической обработки изотерм десорбции паров воды плотными шерстяными тканями получено (имеющее большое практическое значение) уравнение для расчета равновесной влажности при нормальных условиях:

$$U = [-A \ln(1 - \varphi)]^{1/n}, \quad (1)$$

где U – текущая влажность волокнистого материала; φ – относительная влажность воздуха; n и A – константы, зависящие от свойств капиллярно-пористого материала и условий процесса.

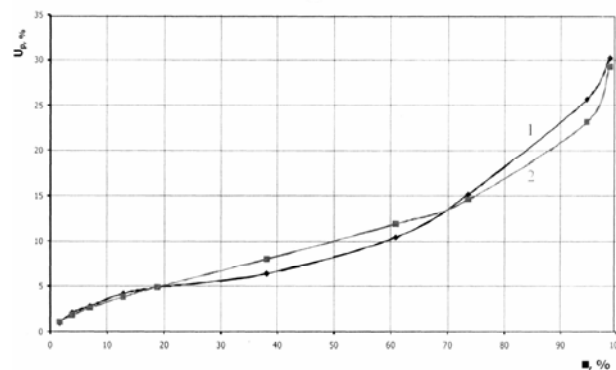


Рис. 1

На рис. 1 представлено сопоставление экспериментальной (кривая 1) и расчетной (кривая 2) кривых десорбции паров воды тонкосуконной чистошерстяной пальтовой ткани при $t = 22^\circ\text{C}$ с поверхностной плотностью $M = 400 \text{ г/м}^2$, которое свидетельствует о возможности практического использования уравнения (1). Коэффициент корреляции составил 0,99.

Поскольку сушка тканей проводится при повышенных температурах, необходимо проводить пересчет изотерм, так как получить экспериментальные изотермы при повышенных температурах сложно.

Проведен анализ методов пересчета изотерм на повышенные температуры и

установлена целесообразность использования тех или иных методов [2].

Анализ технологических режимов сушки на тонкосуконных фабриках показал, что, как правило, шерстяные ткани пересушиваются, поэтому учет данных по сорбционному равновесию имеет практическое значение.

Процесс промывки плотных тонкосуконных тканей в промышленных условиях является продолжительным и длится 3...3,5ч на машинах периодического действия. Вследствие этого задача интенсификации процесса промывки стоит особенно остро.

Для выбора способа интенсификации необходимо уточнить технологическую задачу, то есть определить лимитирующее сопротивление. В работах академика Б.С. Сажина показано, что лимитирующей скоростью процесса и определяющим тип задачи массообмена является диффузионное сопротивление, определяемое критическим размером пор [1]. Этот параметр был определен по изотермам десорбции. Совместный анализ полученных результатов и кривых кинетики промывки показывает, что в данном случае имеет место большое внутридиффузионное сопротивление.

Для интенсификации процесса промывки материалов с большим внутридиффузионным сопротивлением целесообразно использование физических полей: ультразвуковых или магнитных.

Исследования показывают, что воздействие ультразвука весьма эффективно, однако реальное внедрение ультразвуковых устройств на действующее промышленное оборудование достаточно сложно и дорого. Использование магнитных полей проще и дешевле.

Лабораторные исследования кинетики промывки плотной шерстяной ткани показали, что время промывки при использовании омагничивания промывного раствора сокращается почти на 20%. Качество промывки контролировалось в соответствии с ГОСТом по массовой доле жировых веществ и устойчивости окраски к сухому трению.

На одной из стадий промывная вода многократно пропускалась через омагничивающее устройство. Были проведены экспериментальные исследования для тканей различной поверхностной плотности [3].

Анализ экспериментальных данных по кинетике промывки шерстяных тканей различной плотности в разных технологических режимах показывает наличие двух характерных периодов процесса: периода постоянной скорости процесса и периода падающей скорости.

Математическая модель кинетики промывки шерстяных тканей представляет собой одномерную задачу, описываемую уравнением молекулярной диффузии в тонкой неограниченной пластине (уравнение диффузии Фика) с соответствующими начальным и граничным условиями:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}, \quad (2)$$

где C – концентрация загрязнения в момент времени τ и на расстоянии x от середины объекта промывки (предполагая, что объект промывки плоский); D – коэффициент внутренней диффузии.

Для периода постоянной скорости краевая задача имеет вид:
начальное условие

$$C(x, 0) = C_0, \quad (3)$$

то есть концентрация загрязнения в начальный момент времени распределена по толщине ткани равномерно;
граничное условие,

$$D \left. \frac{\partial C}{\partial x} \right|_{x=\pm\delta} = \beta (C_n - C_p) = \text{const} = N, \quad (4)$$

где β – коэффициент массоотдачи; C_n – концентрация загрязнения на поверхности ткани; C_p – концентрация загрязнения в промывном растворе; 2δ – толщина промываемой ткани; N – постоянная скорости процесса в первом периоде.

Сформулированная краевая задача решена методом Фурье.

Решение краевой задачи для первого периода промывки:

$$C = C_0 - \frac{\beta(C_n - C_p)}{\delta} \left(\tau - \frac{\delta^2 - 3x^2}{6D} + \frac{2\delta^2}{D} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{1}{n^2 \pi^2} e^{-n^2 \pi^2 F_0} \cos \frac{\pi n x}{\delta} \right). \quad (5)$$

Уравнение для расчета кинетики промывки ткани в первом периоде:

$$\bar{C} = C_0 - \frac{N}{\delta} \tau. \quad (6)$$

Краевая задача для второго периода процесса промывки:
начальное условие:

$$C(x, 0) = C(0, 0) - \frac{x}{\delta^2} (C(0, 0) - C(\delta, 0)), \quad (7)$$

$$\frac{\overline{C(x, \tau)} - C_p}{C_1 - C_p} = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \left(\lambda_n \frac{D}{\beta} \cos \lambda_n x - \frac{\cos \lambda_n \delta}{\lambda_n} + \frac{1}{\lambda_n} \right) e^{-\lambda_n^2 \frac{D\tau}{\delta^2}}. \quad (9)$$

Полученное решение свидетельствует о том, что второй период описывается экспоненциальной зависимостью:

$$\overline{C(\tau)} = Ae^{-B\tau} + E. \quad (10)$$

Адекватность разработанной модели проверялась экспериментально на лабораторной модели жгутовой промывной машины. Для получения оценок параметров разработанной модели использовались результаты исследований кинетики промывки шерстяных тканей плотностью 519...780 г/м², полученные в производственных условиях.

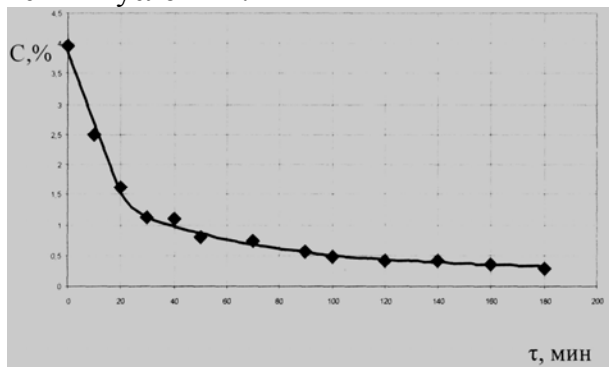


Рис. 2

граничное условие:

$$D \frac{\partial C}{\partial x} \Big|_{x=\pm\delta} = \beta(C_n - C_p). \quad (8)$$

Граничное условие определяет взаимодействие ткани с раствором при изменяющейся концентрации загрязнения на поверхности. Вид этой зависимости неизвестен.

Предполагая коэффициенты переноса D и β постоянными, решение указанной краевой задачи можно представить в виде:

Экспериментальная кривая кинетики промывки (1-) типовой тонкосуконной ткани (поверхностная плотность 780 г/м²) и расчетная кривая кинетики (2+), построенная по уравнениям для первого и второго периодов с использованием найденных коэффициентов, представлена на рис. 2.

Оценки коэффициентов кинетики промывки типовой тонкосуконной ткани (поверхностная плотность 780 г/м²):

первого периода

$$\overline{C_1(\tau)} = A_1 - B_1 \tau, \quad (11)$$

где A₁, B₁ – постоянные первого периода промывки,

$$A_1 = 3,86; B_1 = 0,117;$$

второго периода

$$\overline{C_2(\tau)} = A_2 + B_2 e^{-E_2 \tau}, \quad (12)$$

где A₂, B₂, E₂ – постоянные второго периода промывки,

$$A_2 = 0,2597; B_2 = 1,466; E_2 = 0,01803.$$

В результате обработки получены оценки параметров математической модели и их доверительные интервалы.

Оценки коэффициентов кинетики промывки плотных шерстяных тканей получены с помощью уравнения

$$\overline{C(t)} = Ae^{-Bt}, \quad (13)$$

где A и B – коэффициенты.

Для шерстяной ткани плотностью 519 г/м²:

$$A=4,0759; B=0,0097.$$

Величина, характеризующая доверительный интервал, 0,25 %.

Для шерстяной ткани плотностью 550 г/м²:

$$A=4,4226; B=0,009.$$

Величина, характеризующая доверительный интервал, 0,22 %.

Для шерстяной ткани плотностью 750 г/м²:

$$A=5,1645; B=0,0098.$$

Величина, характеризующая доверительный интервал, 0,3 %.

Полученные уравнения и оценки их параметров имеют большое практическое значение, так как позволяют рассчитать основной нормативный показатель качества промывки – массовую долю жировых веществ в ткани. Экспериментальное оп-

ределение этого показателя является очень трудоемким и продолжительным.

ВЫВОДЫ

1. Проведены анализ плотных шерстяных тканей как объекта технологической обработки в отделочном производстве тонкосуконных фабрик, экспериментальное исследование кинетики процесса промывки и обоснованный выбор способа интенсификации процесса промывки.

2. В результате математической обработки экспериментальных данных по сорбционному равновесию и кинетике процесса промывки получены уравнения, которые могут использоваться при инженерных расчетах процесса промывки в промышленных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сажин Б.С. Основы техники сушки. – М.: Химия, 1984.

2. Кошелева М.К., Кереметин П.П., Кереметина А.П. Определение равновесных влагосодержаний шерстяных тканей при повышенных температурах // В сб.: Успехи в химии и химической технологии. – М., 2005.

3. Кошелева М.К., Щеголев А.А., Кереметин П.П., Елданди А.Э. Заявление о выдаче патента Российской Федерации на изобретение: Способ обработки водного раствора для промывки тканей. Приоритет от 4.04.2006.

Рекомендована кафедрой процессов и аппаратов химической технологии и безопасности жизнедеятельности. Поступила 18.01.07.