

УДК 677.8-68

КИНЕТИКА ПЛЕНОЧНОЙ ПРОПИТКИ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Б. С. САЖИН, Е. Г. АВДЮНИН, Е. В. КУТУМОВА

(Московская государственная текстильная академия им. А. Н. Косыгина,
Ивановский государственный энергетический университет)

Анализ существующих методов пропитки текстильных материалов позволил выявить из них наиболее перспективный [1]. Метод поверхностного нанесения растворов с помощью гладких валов, с нашей точки зрения, имеет преимущества и становится наиболее конкурентоспособным при дополнении его оригинальным аэродинамическим устройством для регулирования толщины наносимой пленки жидкости.

Физическая сущность процесса обработки заключается в том, что воздушная струя формирует на гладкой поверхности вала пленку, равномерную по толщине и ширине. При прохождении ткани через жало валов жидкость из пленки переходит на материал и проникает в глубь ее структуры, при этом перенос осуществляется путем фильтрации согласно уравнению Навье — Стокса [2]:

$$\rho dU/d\tau = -\nabla P + \mu \nabla^2 U + \rho g + s, \quad (1)$$

где P — давление на поверхности материала;

U — скорость движения жидкости в материале;

ρ, μ — плотность и динамическая вязкость жидкости;

g — вектор силы гравитации;

s — параметр, учитывающий капиллярные силы, энергию диссипации и т. д.

Длительность процесса при реальных скоростях обработки исчисляется долями секунды. В результате прожима жидкость распределяется относительно равномерно, заполняя в основном межволоконное и межнитиевое пространство. При достаточном количестве раствор насыщает всю волокнистую структуру с образованием поверхности раздела фаз (волокно — жидкость) во всем объеме материала. Стадия объемной сорбции на этом этапе пленочной пропитки практически отсутствует вследствие кратковременности процесса прожима, а скорость пропитки описывается уравнением Дарси:

$$dh/d\tau = kf\sigma \cos\Theta / (\delta h), \quad (2)$$

где h — толщина слоя ткани;

k — коэффициент фильтрации;

σ — коэффициент поверхностного натяжения,

Θ — краевой угол смачивания;

δ — отношение объема пор к объему тела;

f — удельная поверхность пор.

Для проверки влияния стадии прожима на глубину и равномерность распределения обрабатываемого раствора по ширине и сечению материала проведены специальные опыты (рис. 1) на хлопчатобумаж-

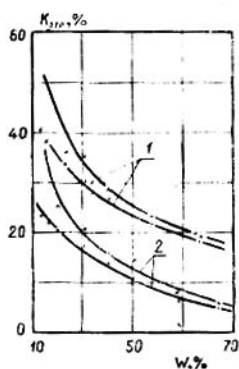


Рис. 1.

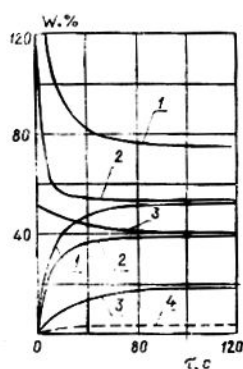


Рис. 2.

ной (арт. 276, кривая 1) и полиэфирной (арт. 5201, кривая 2) тканях. Количество проникающего раствора в волокнистый материал определялось методом фотометрирования по коэффициенту отражения света от лицевой и изнаночной поверхностей образца. Для улучшения воспроизводимости опытных данных в раствор добавлялся активный краситель 5СХ красный в количестве 1 г/л.

Анализ экспериментальных данных пленочного одностороннего нанесения раствора на текстильные материалы с прожимом последнего показал, что жидкость равномерно распределялась как по сечению, так и по ширине материала. Разница коэффициентов отражения света от лицевой и изнаночной сторон не превышала 10% в рабочем диапазоне остаточных влажностей ткани после мокрой обработки (рис. 1).

Одновременно со стадией прожима начинается процесс молекулярной диффузии молекул раствора в глубь волокна. Данный процесс описывается вторым законом Фика:

$$dC/d\tau = d(DdC/dr)/dr + (D/r)dC/dr, \quad (3)$$

где C — концентрация;

r — радиус волокна;

D — эффективный коэффициент диффузии раствора в волокнистом материале.

Применение (3) для определения кинетики процесса пленочной пропитки затруднено из-за отсутствия надежных данных по величине коэффициента диффузии, обуславливающего интенсивность процесса переноса. Нами выбран другой подход к решению поставленной задачи, в котором для описания этой стадии использовалось обобщенное уравнение массопередачи [3]:

$$-MdC/d\tau = \beta(A - C)(C - B), \quad (4)$$

где M — поверхностная плотность ткани;

β — коэффициент массопередачи;

A, B — начальная и конечная равновесные концентрации исследуемого компонента.

Решение данного уравнения осуществлялось по методике из [3], согласно которой время процесса пропитки

$$\tau = (M/\beta) \ln[(C_{II} - C)(A - B)/(C_{II} - A)/(C - B)] = ZM/\beta, \quad (5)$$

где C_{II} — начальная концентрация в пленке раствора.

Под начальной равновесной концентрацией A подразумевается концентрация раствора на поверхности материала, получаемая в результате прожима, а конечной B считается предельное значение средней по толщине волокна концентрации компонента. При этом допускали, что в начальный момент времени после прожима концентрация раствора на поверхности ткани скачкообразно изменяется от C_{II} до A . Такая постановка задачи предполагает, что кинетика процесса полностью определяется стадией диффузии сорбированного в начальный момент времени раствора в глубь волокна.

Кинетика процесса изучалась на модельной системе в виде многослойного пакета (мембраны), состоящего из нескольких исследуемых образцов. Сорбируемой жидкостью служил раствор карбамола с концентрацией 120 г/л. При исследовании кинетики процесса пленочной пропитки начальное влагосодержание первого образца пакета изменялось от 80 до 10%. Пакет накладывался на сухие образцы пакета и выдерживался в эксикаторе под определенной нагрузкой заданное время. Далее пакет разбирался и по количественному анализу распределения раствора в образцах за различное время строились кинетические кривые для исследуемых материалов (рис. 2): хлопчатобумажной (кривые 1, 2, 3) и полиэфирной (кривая 4) тканей.

Параметры A , B и β определялись методом наименьших квадратов при построении кинетической прямой в координатах $\tau-Z$ согласно зависимостям

$$A = (C_{II}\psi + B)/(1 - \psi), \quad (6)$$

$$\psi = [(A_{II} - B)/(C_{II} - A_{II})] \exp z_0, \quad (7)$$

$$\beta = Z_{II}/(A - B)/\tau_{II}, \quad (8)$$

где A_{II} — приближенное значение концентрации A ;

z_0 — величина отрезка, отсекаемого на оси ординат кинетической прямой, построенной в координатах $\tau-Z$.

После определения A , B и β проводили поверочный расчет (5) времени пропитки, которое практически соответствовало экспериментальному. Анализ расчетных и экспериментальных данных позволил определить неизвестные параметры. Так, для хлопчатобумажной ткани арт. 276 получены: $A = 0,733$ кг/кг, $B = 0,359$ кг/кг, $\beta/M = 0,039$ мин⁻¹, при этом коэффициент корреляции составил 0,998, что свидетельствует об адекватности предлагаемой математической модели реальному процессу пленочной пропитки.

Величина коэффициента массопереноса связана с эффективным коэффициентом диффузии уравнением

$$\beta' = \rho D/l, \quad (9)$$

где l — длина пути диффузии молекул раствора.

Эффективный коэффициент диффузии D для хлопчатобумажных тканей при начальном увлажнении первого образца пакета выше 30% составил $2,6 \cdot 10^{-7}$ см²/с. Аналогично обработаны результаты экспериментов по другим видам тканей. Так, для полиэфирных материалов коэффициент диффузии равнялся $5,4 \cdot 10^{-12}$ см²/с. Экспериментальные коэффициенты диффузии при $W \geq 30\%$ близки известным в классиче-

ской теории крашения в большом объеме жидкости, что позволяет использовать их для расчетов процесса пленочной пропитки волокнистых материалов без существенного снижения точности расчета.

ВЫВОДЫ

1. Пленочная пропитка текстильных материалов с помощью гладких валов с аэродинамическим регулированием толщины пленки жидкости является перспективным направлением мокрой обработки волокнистых материалов, поскольку раствор равномерно распределяется по толщине и ширине ткани. При этом процесс обработки разделяется на две стадии: механического нанесения раствора на материал гладкими валами с прожимом в жале валов и сорбции раствора внутри волокон с последующей их фиксацией при сушке и термообработке.

2. Исследования кинетики процесса пленочной пропитки позволили выявить его математическое описание, основанное на использовании обобщенного уравнения массопереноса, которое даст возможность определить равновесные концентрации раствора в материале и коэффициенты переноса (D , β).

3. Полученные эффективные коэффициенты диффузии близки по значениям аналогичным коэффициентам при крашении тканей в большом объеме, что упрощает задачу расчета процессов переноса при пленочной пропитке волокнистых материалов с прожимом и аэродинамическим регулированием количества наносимого раствора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сажин Б. С., Авдюнин Е. Г., Кутумова Е. В. // *Текстильная химия*. — 1995, № 2 (7).
2. Мельников Б. Н., Блиничева Н. Б. *Теоретические основы технологии крашения волокнистых материалов*. — М.: Легкая индустрия, 1978.
3. Сажин Б. С., Реутский В. А. *Сушка и промывка текстильных материалов: теория, расчет процессов*. — М.: Легпромбытиздат, 1990.

Рекомендована кафедрой процессы и аппараты химической технологии. Поступила 08.04.97.