

ИССЛЕДОВАНИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА МАССОБМЕНА ПРИ НАНЕСЕНИИ ПРЕПАРАЦИОННЫХ РАСТВОРОВ НА ХИМИЧЕСКИЕ ВОЛОКНА И ПЛЕНКИ

Айрапетьянц Г.М., Подолян С.В., Акиншева И.В.
Могилевский государственный университет продовольствия
г. Могилев, Беларусь

Процесс приготовления препаративных составов представляет собой последовательную смену состояний технологических операций во времени, определяемую входными и выходными переменными. Объектом исследования выбран как процесс в целом, так и отдельные технологические параметры и технологическое оборудование.

Препаративные составы применяются на стадии отделки сформированного полиэфирного жгута, волокон и пленок. Предназначены для его нанесения при производстве штапельного волокна и жгута в процессе прядения и вытяжки, с целью защиты поверхности волокна от повреждения, снятия электрического заряда, придания жгуту компактности и улучшения физико-механических показателей волокна, изменение коэффициента трения.

Задача для анализа объекта автоматизации – выявить «узкие» места процесса, т.е. определить параметры, которые необходимо измерять, контролировать, регулировать; установить объекты управления и блокировки и многие другие вопросы, связанные с технологическим процессом.

Известно, что определенную роль при формовании и отделки полиэфирных (ПЭ) волокон и нитей играют диффузионные процессы. Скорость диффузии препаративной в волокна при термовытяжке предопределяет кинетику фазовых превращений, особенности надмолекулярной структуры и физико-механические свойства готовой продукции. Математические модели диффузионных процессов, протекающие при формовании волокон и пленок из раствора полимера, получены в работах Серкова А.Т. и Кожевникова Ю.П. [1]. Данные модели основаны на решении уравнения нестационарной диффузии из неподвижной, относительно полимера, среды и при выполнении граничных условий достаточно точно описывают процессы, протекающие при формовании волокон.

Это дало возможность использовать данные разработки при построении диффузионной модели для исследования задачи интенсификации процесса формования и отделки полиэфирных (ПЭ) волокон и пленок [2].

При составлении математического описания процесса свежеформированное волокно принято в виде неограниченной пластины, движущейся со скоростью, равной скорости движения ПР (препаративного раствора) .

Начало координат установлено в средней плоскости пластины (волокна). Ось OZ направлена вдоль движения, а ось OY – перпендикулярно пленке. Если пренебречь диффузией вдоль пленки, а сам коэффициент диффузии считать постоянным, то этот процесс будет описываться уравнением нестационарной диффузии:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = D \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \quad (1)$$

Здесь $c(y, \tau)$ – концентрация диффузионного вещества на расстоянии y от оси плёнки в момент времени τ ; D – коэффициент диффузии.

Существует два наиболее встречающихся в практике подхода к постановке краевой задачи для уравнения (1). В первой модели считают, что при $\tau > 0$ на поверхности плёнки $y = n$ поддерживается постоянная концентрация c_0 , а при $\tau = 0$ концентрация диффундирующего вещества равна его концентрации в препаративном растворе c_s :

$$\begin{aligned}c(y, \tau) &= c_0, \tau > 0; \\c(y, \tau) &= c_s, \tau = 0.\end{aligned}\quad (2)$$

Первая модель применяется в тех случаях, когда осуществляется принудительное перемешивание ПР, а также при формовании, когда на большом участке зоны формования имеются конвективные поперечные потоки в непосредственной близости от пленки. Во второй модели отказываются от предположения, что на поверхности пленки концентрация диффундирующего вещества постоянна.

На основании полученных в настоящем исследовании оптимальных гидродинамических условий формования ПЭ волокон установлено, что в окрестностях пленки скорость продольной конвекции близка к скорости движения оболочки. Поэтому более приемлемой считается модель нестационарного диффузионного массообмена между пленкой и неподвижной относительно ее средой ПР. Причем, в начальный момент времени задаются однородные, но различные по величине концентрации диффундирующего вещества в пленке c_s и вне ее c_0 , а на большом удалении от пленки $y \rightarrow \infty$ концентрация рассматриваемого компонента остается постоянной

$$c(y, \infty) = c_0.$$

По этой модели идет формование, когда равновесные объемные концентрации диффундирующего вещества в пленке мало отличаются от объемных концентраций этих компонентов в ПР. Данное условие выполняется при малых весовых долях полимера в прядильном растворе. Тепловыми эффектами при «застудевании» полимера пренебрегаем, считая температуру волокна и ПР одинаковой и постоянной.

Анализ полученных результатов показал, что в границах соответствующих изменений параметров наиболее сильное влияние на изменение концентрации ПР оказывает скорость вытяжки. Следующим значимым фактором, влияющим на изменение концентрации ПР, является длина пути волокна в препаративной ванне (время пребывания) и концентрации компонентов ПР. Фактор температуры ПР в исследуемом диапазоне изменений оказывает незначительное влияние на концентрации раствора, необходимого для сохранения подобия протекания диффузионного процесса. Поэтому для управления процессом необходимо провести стабилизацию температуры ПР, для того, чтобы считать $T = \text{const}$.

На основании решения уравнения нестационарной диффузии (1), аналитически определена параметрическая чувствительность концентрации компонентов препаративных растворов от изменения параметров процесса, входящих в уравнения коррекции и влияющих на скорость вытяжки полиэфирных волокон (производительность). Увеличение скорости вытяжки волокон ограничено размерами препаративной ванны.

Литература

1. Кожевников, Ю.П. Количественное описание диффузии, происходящей при мокром способе формования химических волокон / Ю.П. Кожевников. – М.: НИИ – ТЭХим, 1971. – 25 с.
2. Айрапетьянц, Г.М. Совершенствование систем автоматического регулирования технологическими процессами / Г.М. Айрапетьянц, А.В. Акулич, Н.И. Ульянов – Могилев: УО «МГУП», 2012. – 322 с.