

СЕКЦІЯ 4
«ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА СИСТЕМИ ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ
ПРОМИСЛОВОСТІ»

УДК 677.021.125.52.677.051.125

С.П. Корниенко, канд. техн. наук, доцент
П.И. Чередниченко, докт. техн. наук, профессор
 Черниговский национальный технологический университет, cornel@ukr.net

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ НАВЬЕ-СТОКСА И ФИЛЬТРАЦИИ ПРИ
МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА ЗАМАСЛИВАНИЯ

Одним из процессов, существенно влияющим на качество получаемых нитей является процесс замасливания (нанесения специальных вспомогательных веществ) при фомовании нити. Процесс замасливания формуемой нити состоит из двух стадий. Первая – образование пленки замасливателя на поверхности вращающегося диска, частично погруженного в замасливатель. Вторая – унос замасливателя нитью с поверхности диска.

При выводе теоретических зависимостей для определения толщины пленки использованы уравнения Навье-Стокса и уравнение неразрывности потока [1], которые для нашего случая в криволинейной системе координат имеют вид:

$$\frac{\partial v_y v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_x^2}{\partial x} = -g \sin \left(\varphi_0 + \frac{x}{R_0} \right) - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y}; \quad (1)$$

$$\frac{v_x^2}{R_0} + g \cos \left(\varphi_0 + \frac{x}{R_0} \right) - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial y} = 0; \quad (2)$$

$$\frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_x}{\partial x} = 0, \quad (3)$$

где y – координата, направленная по нормали к поверхности пленки жидкости,

$y = r - R_0$; R_0 – радиус диска;

x – координата вдоль дуги меридиана поверхности жидкой пленки, $x = (\varphi - \varphi_0)R_0$;

v_x, v_y – составляющие скорости в направлении этих координат;

φ_0 – угол погружения диска в жидкость;

P – давление;

ρ – плотность жидкости;

g – ускорение свободного падения.

Решение данных уравнений позволило нам получить зависимость для определения толщины пленки вдали от мениска [2]:

$$h = \frac{j}{v_a} = \frac{0,655}{\cos \frac{\varphi_0}{2}} v_a^{2/3} \left(\frac{\mu}{\sigma} \right)^{1/6} \left(\frac{\mu}{\rho \cdot g} \right)^{1/2} \quad (4)$$

где j – плотность потока жидкости (поток, приходящийся на единицу толщины диска), увлекаемой вращающимся диском;

v_a – окружная скорость диска;

σ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости;

μ – коэффициент динамической вязкости жидкости.

При теоретическом определении количества уносимого замазливателя нитью, пучок комплексной нити рассматривался как простейшая модель капиллярно-пористого тела, состоящего из системы цилиндрических капиллярных трубок, связанных между собой. Пустоты в пористом материале могут быть частично заполнены жидкостью, частично воздухом или другими газами. Поэтому, проникновение замазливателя в пучок нитей аналогичен движению жидкостей через неподвижные слои материалов, состоящих из отдельных элементов. При движении жидкостей через пористый слой, поток полностью заполняет свободное пространство между элементами слоя и движется внутри каналов правильной формы, образованных пустотами и порами между элементами. Порами в данном случае являются взаимосоединяющиеся промежутки между элементарными нитями, поэтому можно считать, что объемная пористость равна поверхностной пористости. Пористость элементарных нитей, в данном случае, не учитывалась. Расположение элементарных нитей в пучке принималось как система ромбически уложенных цилиндров, как наиболее устойчивая. Такая пористая система представляет собой тело, пронизанное капиллярами. При взаимодействии пучка нитей с замазливателем, последний поступает вдоль стенок пор внутрь пучка, т.е. замазливатель стремится прежде всего заполнить самые мелкие поры. По мере дальнейшего поступления замазливателя, поверхности раздела соприкасаются и имеется возможность непрерывного перехода от одной точки жидкой пленки к другой. При увеличении количества замазливателя в порах толщина пленки увеличивается в перехвате и ячейка полностью заполняется замазливателем. Следовательно, процесс проникновения замазливателя внутрь пучка аналогичен процессу фильтрации.

Используя теорию фильтрации, нами получена зависимость для определения объема замазливателя, уносимого формуемой нитью в единицу времени:

$$Q_0 = \frac{4 \cdot \alpha \cdot l_0 - \pi \cdot d_i^2 \cdot N^3 \cdot \sigma \cdot \cos \theta \cdot K_{\text{эф}} \cdot D^{0,5} \cdot h^{0,5}}{128 \cdot \mu \cdot \alpha \cdot \pi \cdot d_i \cdot N \cdot l_u^2 \cdot l_0}, \quad (5)$$

где l_0 – толщина пучка нитей;

d_i – диаметр элементарной нити;

l_0 – истинная длина пор;

θ – краевой угол смачивания замазливателя;

h – толщина пленки замазливателя в начальной точке контакта с нитью;

$K_{\text{эф}}$ – коэффициент эффективной пористости;

α – ширина пучка нитей, содержащей N элементарных нитей;

D – коэффициент диффузии.

Полученные зависимости позволяют рассчитывать технологические параметры процесса замазливания формуемой нити и конструктивные параметры дисковых замазливающих устройств, а именно: определять количество наносимого замазливателя на нить, толщину пленки замазливателя на поверхности замазливающего диска, время контакта формуемой нити с замазливающим диском, диаметр и толщину замазливающего диска, частоту вращения диска и глубину его погружения в замазливатель.

Список источников

1. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / Шлихтинг Г. – М.: Наука, 1974. – 712 с.
2. Чередниченко П.И. Разработка технологического процесса и оборудования для замазливания химических нитей: дис. ...доктора техн. наук: 05.19.03, 05.02.13 / Петр Иванович Чередниченко. – М., 1989. – 568 с.