УДК 677.021

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ ТЕКСТИЛЬНОГО ВОЛОКНИСТОГО ПРОДУКТА

Ф. Р. КАХРАМАНОВ, И.В. ФРОЛОВА, И. А. ЛЕГКОВА

(Ивановская государственная текстильная академия, Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)

В существующих технологических процессах происходит формирование текстильного продукта в виде непрерывного волокнистого потока путем сжатия и протаскивания через конфузорную воронку. При этом между продуктом 1 (рис.1) и конфузорной поверхностью воронки 2 возникают значительные силы трения, приводящие к увеличению тяговых усилий, к обрывам и неуправляемости процесса. Кроме того, нередко волокнистый продукт уже имеет крутку, которая распространяется в неконтролируемом пространстве вне конфузорной воронки.

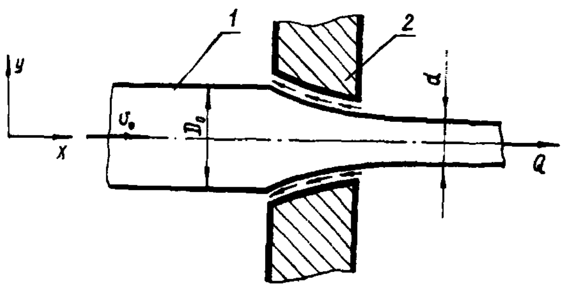

Рис. 1

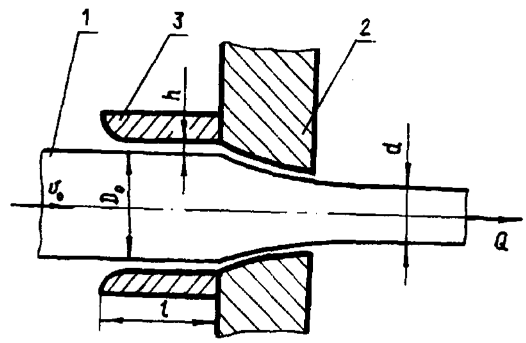

Рис. 2

В целях улучшения контроля этой части волокнистой ленты и использования воздушного потока в качестве эквивалента эффективной «смазки» между лентой и конфузорной воронкой необходимо промежуточное звено в виде специальной трубки 3 (рис. 2), обеспечивающей подкачку сформировавшегося воздушного потока в винтовом пространстве поступающей волокнистой ленты.

В первом приближении будем считать, что величина давления p на входе в конфузорную воронку должна быть равна предельному усилию вытягивания $\sigma_п$ первого рода. При этом для различных материалов и их толщины эта величина будет различной.

Ламинарность потока воздуха относительно волокнистой ленты оценивается по критерию Рейнольдса с допущением $v = v(y)$:

$$Re = v_0 h / \mu ,$$

где v_0 – скорость ленты; h – толщина слоя воздуха; μ – коэффициент вязкости воздуха.

Составим уравнение равновесия элемента воздушного потока. Хотя на входе в трубку 3 (рис. 2) поток не будет установившимся, на большей части ее это уравнение справедливо. В связи с тем, что кольцевой зазор h много меньше диаметра волокнистого продукта на входе в воронку D_0, то есть $h << D_0$, рассмотрим эту задачу как плоскую. Тогда справедливо:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}. \qquad (1)$$

Из (1) следует, что если $\partial p / \partial x = 0$, то $\partial v / \partial y = const$, то есть скорость изменяется по линейному закону. Причем, чем больше коэффициент вязкости воздуха μ, тем больше градиент давления. При этом можно допустить для тонкой воздушной прослойки, что p и $\partial p / \partial x$ не зависят от y. Тогда после интегрирования (1) имеем

$$\mu \frac{\partial v}{\partial y} = \left(\frac{dp}{dx}\right) y + f_1(x);$$

$$\mu v = \left(\frac{dp}{dx}\right)\left(\frac{y^2}{2}\right) + y f_1(x) + f_2(x). \qquad (2)$$

Поскольку трубка 3 неподвижна, граничные условия – $y = h$, $v = 0$, а на волокнистой ленте имеет место прилипание $y = 0$, $v = v_0$.

Первое граничное условие дает

$$\mu v_0 = f_2(x),$$

а второе приводит к уравнению

$$0 = \frac{dp}{dx}\frac{h^2}{2} + h f_1(x) + \mu v_0$$

или

$$f_1(x) = -\frac{dp}{dx}\frac{h}{2} - \frac{\mu v_0}{h}.$$

Для нахождения v с помощью (2) получим

$$v = \frac{1}{2\mu}\frac{dp}{dx}\left(y^2 - hy\right) + v_0\left(1 - \frac{y}{h}\right). \qquad (3)$$

Проверка физического смысла уравнения (3) при наличии граничных условий $y = 0$, $v = v_0$ при $y = h$, $v = 0$ показывает, что линейный член характеризует скорость при движении ленты без градиента давления, а парабола справедлива при наличии градиента давления и сумма всех членов дает общий результат.

Для определения оптимальной длины трубки 3 найдем расход воздушного потока. Так как скорость зависит от градиента давления, а расход на длине трубки 3 определяется скоростью, свяжем давление, расход и длину трубки.

Уравнение расхода пристеночного воздушного потока при $h << D_0$ имеет вид

$$Q = \int\limits_{\frac{D_0}{2}}^{\frac{D_0}{2}+h} \pi D v \, dy = \pi D_0 \cdot$$

$$\cdot \int\limits_0^h v\, dy = \frac{\pi D_0 v_0 h}{2} - \frac{\pi D_0 h^3}{12\mu}\frac{dp}{dx}. \qquad (4)$$

Величина расхода воздуха Q исходя из (4) в значительной степени зависит от величины изменения зазора h, где первый член характеризует расход при отсутствии градиента, а второй определяется градиентом. При условии $Q = 0$ имеем $dp / dx = 6\mu v_0 / h^2$, а при условии $Q > 0$ – $dp / dx < 6\mu v_0 / h^2$ (рис.3).

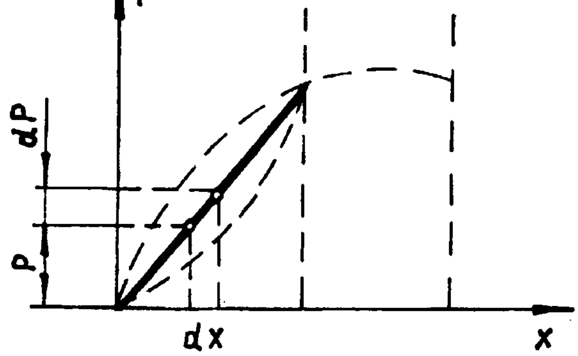

Рис. 3

Найдем dp / dx через расход Q:

$$\frac{dp}{dx} = \frac{6\mu v_0}{h^2} - \frac{12\mu Q}{\pi D_0 h^3}, \qquad (5)$$

после интегрирования которого имеем

$$p = \left(\frac{6\mu v_0}{h^2} - \frac{12\mu Q}{\pi D_0 h^3} \right) x + C_1 . \qquad (6)$$

Согласно граничным условиям $x = 0$, $p = 0$ имеем $C_1 = 0$, $x = l$, $p = \sigma_n$. Откуда

$$\sigma_n = \left(\frac{6\mu v_0}{h^2} - \frac{12\mu Q}{\pi D_0 h^3} \right) \ell,$$

$$\ell = \frac{\sigma_n}{6\mu v_0 / h^2 - 12\mu Q / \pi D_0 h^3}.$$

Таким образом, если будет известна величина расхода пристеночного воздушного потока, легко найти длину трубки с учетом значений других величин. Особые трудности возникают с величиной зазора h, связанной с неравномерностью волокнистой ленты как в процессе работы, так и при смене ассортимента. По сути значение h должно быть как можно меньше, однако при слишком малой величине и нестабильности ложной крутки будет страдать устойчивость технологического процесса, поэтому теоретические расчеты для различных переходов и сортировок должны быть получены и подтверждены экспериментами исходя из пределов h / D_0.

ВЫВОДЫ

Таким образом, снижение величины зазора h и увеличение вязкости воздушного пристеночного потока играет роль «смазки», уменьшает трение, стабилизирует воздушный поток, уравновешивает витки ложной крутки в переходный период появления и исчезновения, обеспечивая в качестве демпфера мягкость перехода ленты из одного состояния в другое, то есть в процессе образования ложной крутки и после ее прохождения через конфузорную воронку.

Рекомендована кафедрой начертательной геометрии и черчения. Поступила 01.02.00.