

УДК 266.022:532.5.011

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ПРЯДЕНИЯ

ELEMENTS OF THE THEORY OF HYDRODYNAMIC SPINNING

А.Ф.КАПИТАНОВ, Н.М.ПАПИЛИН
A.F. CAPITANOV, N.M. PAPILIN

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)
(Moscow State Textile University "A.N. Kosygin")
E-mail: office@msta.ac.ru

Аналитически обоснованы характеристики состава и расхода суспензии, линейной плотности и неравномерности пряжи и суспензии, геомет-

рические параметры органа, формирующего пряжу гидродинамическим способом.

Characteristics of the structure and suspension expense, linear density and non-uniformity of a yarn and suspension, geometric parameters of the body forming a yarn in the hydrodynamic way are analytically proved herein.

Ключевые слова: гидродинамическое прядение, пряжа, формирование, теория процесса.

Keywords: hydrodynamic spinning, a yarn, forming, a process theory.

Значительные объемы непрядомых отходов текстильных предприятий и заводов химического волокна, дискретных волокон неорганического происхождения, например, волокон оксида алюминия, делает актуальной разработку технологии, пригодной для переработки этих волокон в пряжу. Проблема, однако, заключается в том, что волокна имеют малую (1...6 мм) длину, что исключает использование известных технологий для решения этой задачи.

Технология гидродинамического прядения волокон оксида алюминия, разработанная в лаборатории "Фрикционные процессы в прядении" МГТУ им. А.Н. Косыгина [1], позволяет получать пряжу, используемую, в частности, в качестве наполнителя шнура с температурой эксплуатации до 1600°C.

Формирование пряжи этим способом осуществляется путем подачи струи водной суспензии, содержащей в качестве твердой фазы волокна оксида алюминия [2], в формирующую воронку, в которую одновременно подаются стержневые нити. Нити подвергаются скручиванию, при этом волокна оксида алюминия осаждаются и закрепляются на них. Этот процесс требует теоретического осмысления, что позволит проектировать состав суспензии, пряжи, параметры технологического режима и конструкцию главного элемента этого узла формирования пряжи.

Линейная плотность потока волокон оксида алюминия T_d при комплексной нити линейной плотности T и линейной плотности стержневых нитей T_n :

$$T_d = T - T_n \text{ текс}, \quad (1)$$

а при допускаемом проценте содержания стержневой нити в комплексной P :

$$T_d = T - P T/100 \text{ текс}. \quad (2)$$

При этих условиях каждый метр комплексной нити будет содержать:

$$m = T_d / 1000 \text{ г} \quad (3)$$

волокон оксида алюминия.

Суспензия подается в зону формирования в виде струи жидкости с процентным содержанием твердой фазы P_c . С учетом этого количество подаваемой суспензии для формирования одного метра комплексной нити:

$$g = m \cdot 100 / P_c \text{ г/м}. \quad (4)$$

Если скорость отвода комплексной нити из зоны формирования составляет V м/с, то расход суспензии будет:

$$m_m = g V \text{ г/с}. \quad (5)$$

Формула (5) справедлива в том случае, если в комплексную нить зарабатываются все волокна оксида алюминия, подаваемые в зону формирования нити. Однако опыт показывает, что в нить зарабатывается лишь некоторая доля f волокна, и соответственно $1-f$ образует отработанную суспензию. По этой причине фактический расход суспензии, поступающей в формирующую воронку, должен быть увеличен с учетом доли f :

$$m_{m1} = gV / f \text{ г/с}. \quad (6)$$

Изменения T_d можно достигнуть за счет:

- изменения скорости отвода комплексной нити из зоны формирования;
- изменения содержания твердой фазы в суспензии;
- изменения доли f волокон, зарабатываемых в комплексную нить.

В зоне формирования комплексной нити может происходить либо сгущение, либо разрежение потока волокон из-за неравномерного распределения волокон оксида алюминия в суспензии. В случае, если в зону формирования должно поступать m_{m1} суспензии, а поступает $m'_m > m_{m1}$, то имеем сгущение потока дискретных волокон. В случае $m'_m < m_{m1}$ наблюдается разрежение с соответствующим изменением линейной плотности T_d и комплексной нити в целом.

Таким образом, важнейшим свойством волокнистой суспензии является равномерность распределения волокон оксида алюминия по объему жидкости в струе. Пусть имеем допустимое значением коэффициента вариации для комплексной нити C_k на участках длиной 1 м. В соответствии с законом сложения неровнот [3]:

$$C_k^2 = C_n^2 + C_d^2 \%, \quad (7)$$

где C_n – коэффициент вариации по толщине стержневых нитей, %; C_d – коэффициент вариации по толщине потока волокон оксида алюминия, %.

Неровнота C_n нормируется. Если допускаемое значение коэффициента вариации по линейной плотности наполнителя шнура $C_{ш}$, то

$$C_{ш} = C_k / \sqrt{n} \%, \quad (8)$$

где n – число сложений комплексной нити в наполнителе шнура. Тогда

$$C_k = C_{ш} \sqrt{n} \%, \quad (9)$$

при этом из формул (7) и (9) следует:

$$C_d^2 = C_{ш}^2 n - C_n^2 \%. \quad (10)$$

Если коэффициент вариации C_d определяется по отрезкам метровой длины, то колебания массы m_{m1} потока волокон оксида алюминия на отрезке метровой длины и пробы суспензии массой $m_{m1} \cdot 100/P_c$ тождественны. Эти условия формирования комплексной нити могут быть нормированы для контроля качества суспензии.

Для того, чтобы начался и продолжался процесс формирования пряжи, необходимо:

- наполнить формирующую воронку суспензией до некоторого уровня;
- обеспечить поступление в конечную часть воронки суспензии в количестве m_{m1} ;
- обеспечить истечение суспензии из воронки через ее цилиндрическую часть с расходом m_{m2} .

Условием процесса является:

$$m_{m1} = m_{m2} \text{ г/с} . \quad (11)$$

При установившемся течении жидкости [4]:

$$m_{m2} = \int \rho v_n dS = \text{const г/с}, \quad (12)$$

где ρ – плотность жидкости, г/мм³; S – площадь отверстия цилиндрической части воронки, мм²; v_n – скорость потока суспензии, нормальная к площадке dS , мм/с.

Цилиндрическая часть воронки имеет круглое поперечное сечение, поэтому

$$m_{m2} = \pi \rho v_n d^2/4 \text{ г/с}, \quad (13)$$

где $\rho \approx 1$.

Формула (13) позволяет определить важный конструктивный параметр – диаметр цилиндрической части воронки:

$$d = 2 (m_{m2} / \pi \rho v_n)^{0.5} \text{ мм}. \quad (14)$$

Другим конструктивным элементом формирующей воронки является длина ее цилиндрической части ℓ . Известно, что существует такая величина ℓ , при которой толщина пограничного слоя жидкости вблизи стенки трубки не заполняет всего сечения. Этот участок называется участ-

ком гидродинамической стабилизации $l_{\text{стаб}}$.

Для ламинарного течения в круглой трубке:

$$l_{\text{стаб}} = RR_e \text{ мм}, \quad (15)$$

где R – радиус отверстия цилиндрической части воронки; R_e – число Рейнольдса:

$$R_e = 2V_{m2} / \pi R \nu, \quad (16)$$

где ν – кинематическая вязкость жидкости, которую можно условно принять равной кинематической вязкости основного компонента рабочей жидкости – воды; V_{m2} – объем жидкости, протекающей за секунду сквозь сечение цилиндрической части:

$$V_{m2} = \pi \nu_{\Pi} d^2 / 4 \text{ мм}^3. \quad (17)$$

ВЫВОДЫ

Установленные аналитические зависимости позволяют проектировать соотно-

шение компонентов в пряже и суспензии, обосновать технологические требования по расходу и равномерности суспензии, диаметр отверстия цилиндрической части формирующей воронки и ее длину.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Капитанов А.Ф., Жариков Е.И., Папилин Н.М., Князев К.В., Щетанов В.Б., Ивахненко Ю.А., Шишанов М.В.* Технология гидродинамического прядения. //Вестник Московского государственного текстильного университета. – М.: МГТУ им. А.Н.Косыгина, 2009. С. 10...12.

2. *Папилин Н.М., Капитанов А.Ф., Волков В.А., Гладышев А.Ю., Бабашов В.Г., Варрик Н.М.* Обоснование рецептуры волокнистой суспензии. // Химические волокна. – 2009, №5. С. 31...33

3. *Севостьянов А.Г.* Методы исследования неровноты продуктов прядения. –М.: Ростехиздат, 1962.

4. *Яворский Б.М., Детлаф А.А.* Справочник по физике. – Государственное издательство физико-математической литературы. – М., 1963.

Рекомендована кафедрой прядения. Поступила 01.12.10.