

АБРАЗИВНАЯ ЭРОЗИЯ СБОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРЯДИЛЬНОЙ КАМЕРЫ

С.А. ЕГОРОВ

(Ивановская государственная текстильная академия)

Повышение производительности пневмомеханического прядения происходит в основном двумя способами: с помощью увеличения частоты вращения прядильной камеры или добавления в смеску искусственных волокон. Однако оба этих способа повышают износ камеры.

На сборной поверхности камеры через 20÷50 ч работы (в зависимости от перерабатываемого материала) возникают пунктирные вмятины по линии движения точки съема с краями, загнутыми по направлению закрутки нити. При дальнейшей работе следы износа соединяются в сплошную канавку, расположенную несколько ближе к открытому концу камеры (в сечении, проходящем через начало выпускной воронки). В этой канавке и происходит дальнейшее формирование нити.

Продолжающийся износ расширяет и углубляет канавку, изменяя условия формирования нити и соответственно качество получаемой пряжи. Иногда износ достигает такой величины, что стенка камеры прорезается насквозь и слышен характерный свист выходящего сжатого воздуха.



Рис. 1

Динамика развития канавки износа подобна при переработке различных материалов. На рис. 1 представлена зависимость износа прядильной камеры от содержания в хлопковой пряже (плотностью

25 текс) абразивных частиц различного содержания (за 20 км (300 м/мин)). Количественный состав частиц определяли весовым методом.

Несмотря на тщательную сороочистку, при анализе отложений в камере обнаруживаются отдельные абразивные частицы. Кроме этого, в составе шерстяных и хлопковых волокон обязательно присутствует двуокись кремния, обладающая сильными абразивными свойствами.

Основной причиной износа прядильной камеры является абразивное эрозионное изнашивание. На сборной поверхности в пункте съема происходит образование витков нити из волокнистой ленточки. Процесс скручивания и съема волокнистой ленточки со сборной поверхности вследствие несовпадения плоскости изгиба и плоскости расположения изгибаемой ленточки осуществляется в результате совместной деформации изгиба и кручения ленточки.

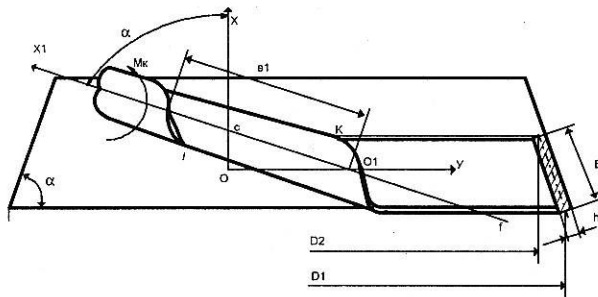


Рис. 2

Если рассматривать движение пункта съема относительно осей координат, то точка O (рис. 2, где показано скольжение витков в пункте съема) перемещается вдоль главной оси Y в точку O_1 , а сечение ленточки поворачивается на угол α , обра-

зую центральную линию изгиба волокон в продольной плоскости с f .

Одновременно происходит разворот сечения ленточки по вспомогательной оси X_1 . Линия изгиба ленточек с f получает такое пространственное расположение на сборной поверхности прядильной камеры, при котором напряжения, возникающие в волокнах в пункте съема, приводятся к равновесию сил. При образовании первого витка линия изгиба и линия кручения совмещаются.

Таким образом, пряжа, формируясь в нить, постоянно имеет перемещение наружного слоя волокон нити относительно сборной поверхности камеры. Наружная поверхность нити при скручивании приобретает форму винтовой. Винтовая поверхность постоянно находится в соприкосновении с рабочей поверхностью камеры от момента образования витка из ленточки настила (точка k) до момента выхода нити из соприкосновения со сборной поверхностью (точка l).

Вследствие деформации нити за счет ее изгиба в момент съема со сборной поверхности, непостоянства числа и состава волокон по сечению нити, наличия запряженных загрязнений и т.п. шаг винтовой поверхности (шаг крутки) колеблется относительно среднего значения как по длине нити, так и по ее наружной поверхности.

В период начального износа на сборной поверхности отчетливо просматриваются следы винтовой поверхности, по которой происходит колебательное движение пункта съема при работе камеры. Соответственно и изнашивание сборной поверхности происходит в этой зоне.

Величина среднего значения шага винтовой поверхности нити стабильна для заданных условий работы прядильного устройства и характеризуется величиной крутки. Оптимальная крутка пряжи линейной плотности 25 текс при частоте вращения прядильной камеры 60 000 об/мин составляет 990, а скорость выпуска 60,3 м/мин. Это значит, что при перемещении нити на 1 мм прядильная камера повернется на 0,99 полного оборота, а за 1 с

на каждом миллиметре формирующего желоба нить провернется 459 раз в зоне возникновения нити из мычки.

Расположение канавки износа на сборной поверхности камеры прядильных машин типа БД-200 показывает, что точка съема перемещается по круговой орбите, но не по формирующему желобу, а несколько выше, то есть ближе к открытому концу. Для вывода нити из камеры необходимо приложить внешнее усилие, величина которого превышает центробежную силу, действующую на группируемые в пряжу волокна.

Установлено, что максимальное натяжение нити в точке съема камеры типа БД-200 для данных условий прядения (хлопчатобумажная пряжа 25 текс, 60000 мин⁻¹) составляет 1Н. Исходя из величины центробежной силы: $F_{ц} = 5 \cdot 10^{-7} T \omega^2 R^2 = 50$ сН (по Г.Г. Павлову [1]) величина натяжения нити в камере составит 0,4 сН. Аэродинамическая сила – порядка 0,7 сН, а сила тяжести элемента пряжи $17 \cdot 10^{-4}$ сН.

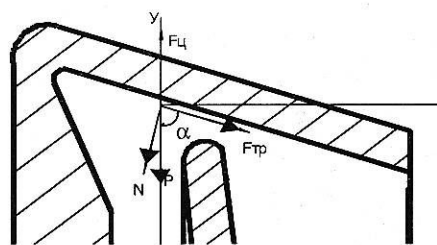


Рис. 3

Схема действия сил по поверхности камеры представлена на рис. 3, где $F_{ц}$ – центробежная сила; N – сила нормального давления пряжи; P – сила тяжести пряжи; $F_{тр}$ – сила трения.

С помощью ЭВМ получена серия решений дифференциальных уравнений для хлопчатобумажной нити 25 текс. Величина натяжения при скорости вращения камеры 300000 об/мин в точке съема 0,94 сН, максимальная величина 14,1 сН. Она оказывает большое влияние на формирование пряжи, имеет очень малую величину (около 1 сН), не достаточную для осуществления нормального процесса распрямления волокон в стержне пряжи.

Кроме того, при сходе со сборного желоба нить круто изгибается по малому ра-

диусу кривизны и с окружности сборного желоба переходит почти в прямую линию. Такой резкий изгиб нити в зоне формирования пряжи не позволяет всем волокнам полностью впрессоваться в стержень пряжи, и при этом образуется ослабленный обвивочный (наружный) слой волокон. Столь малые нагрузки в зоне контакта, казалось бы, не могут вызывать значительных разрушений поверхностного слоя, но, основываясь на том, что полного распрямления волокон не происходит, получаем резкие удары при движении торцами волокон по рабочим поверхностям, что, в свою очередь, сходно с действием потока абразивных частиц.

Этот поток совершает удары с определенной частотой, обусловленной работой машины, так как нить в камере постоянно совершает поперечные колебания. При определенных размерах рабочих органов и скоростях машины малые колебания нити могут иметь неустойчивый характер движения.

Методику определения частоты собственных колебаний нити и критической скорости вращения нити, при которой наступает резонансное состояние, предложил И.И. Мигушов [2]. Как показали проведенные им исследования, в машине типа БД-200 не обеспечиваются нерезонансные условия движения нити внутри прядильной камеры. Полученные им при расчете с помощью ЭВМ возможные коэффициенты частоты собственных колебаний нити в плоскости сборного желоба перпендикулярно оси вращения камеры имеют значения 1,5; 1,25; 1,1; 1,0; 0,84; 0,74.

Таким образом, поверхность находится под постоянным воздействием микроскопических элементов пряжи, совершающих удары с частотой от 0,75 до 1,5 в секунду. Учитывая количество подобных элементов, приходящееся при данной скорости на один погонный мм поверхности (около 450 в секунду), получаем количество ударов пульсирующего потока абразивных частиц, приходящееся на 1 мм сечения. Их будет от 337 до 675.

Соприкосновение волокон с вращающейся сборной поверхностью камеры про-

исходит или в точке контакта торцевой части элементарного волокна (в качестве элементарного волокна принимаем цилиндр, диаметр которого равен диаметру волокна, а длина – длине волокон), или в точке контакта боковой поверхности элементарного волокна.

Площадь поперечного сечения волокон в месте контакта зависит от вида перерабатываемой пряжи и колеблется в пределах 10+45 мкм. Масса отдельного волокна находится в пределах $\approx 5,5 \cdot 10^{-9}$ кг. При этом надо рассматривать, что волокна частично спрядены между собой и составляют одно целое. В связи с этим и Г.Г. Павлов, и И.И. Мигушов, и др. при расчетах использовали приведенную массу элемента пряжи в прядильной камере, равную для 25 текс $\approx 12,5 \cdot 10^{-6}$ кг.

Точка контакта торцевой части элементарного волокна может располагаться в зависимости от угла наклона оси волокна к касательной плоскости сборной поверхности. После схода волокна на сборную поверхность оно под действием центробежных сил съезжает в формирующую канавку, в которой и происходит формирование нити и ее крутка. Следовательно, чем ниже трение волокна по поверхности прядильной камеры, тем равномернее расположение волокон в нити, меньше колебание крутки, что влияет на качество выпускаемой пряжи.

В случае прямого удара части волокна с приведенной массой для условий прядения, описанных выше, рассмотрим как взаимодействие жесткой абразивной частицы с полубесконечной преградой при нормальном ударе так, как это показано на рис. 4 (внедрение волокна при единичном ударе).

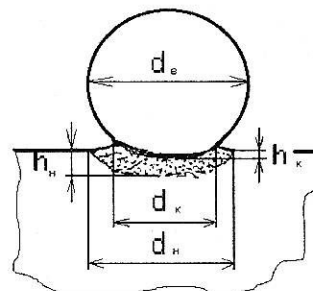


Рис.4

Происходит динамическое внедрение абразивной частицы диаметром d_b (для волокна 10...45 мкм) в металл с образованием лунки с длиной сегмента d_k , определяемой упругими свойствами преграды и глубиной h_k , а также наклепанной зоны с длиной сегмента d_n и глубиной h_n , пронизанной системой радиальных и поперечных трещин микроскопических размеров (рис. 4). При этом по теории подобия [3], [4]:

$$h_k \sim d_k \sim 1/\sigma_{0,05} \sim p/d_b, \quad (1)$$

и

$$h_n \sim d_n \sim 1/\sigma_{0,2} \sim p/d_b, \quad (2)$$

где $\sigma_{0,05}$ – условный предел упругости; $\sigma_{0,2}$ – условный предел текучести; p – импульс, передаваемый элементом пряжи и равный 0,025 г·м/с.

Длина сегмента d_k и глубина h_k после внедрения абразивной частицы диаметром 10 мкм оказываются равными 3,15 и 0,25 мкм соответственно. Диаметр и глубина наклепанной зоны d_n , h_n при ударе напрямую зависят от скорости удара частицы.

При изнашивании линейно во времени протекают три основных процесса: образование на поверхности металлов лунок – кратеров и коротких царапин от ударов абразивных частиц, возникновение пластически деформированного (наклепанного) слоя с его последующим ростом в глубь металла и равномерное во времени отделение тонкодисперсных продуктов изнашивания. При этом объемный износ можно выразить через параметры внедрения абразивных частиц и глубину наклепа. Для данных условий изнашивания он составит 0,67 мкм³:

$$V_{ед} \approx \pi h_k^2 (d_b/2 - h_k/3). \quad (3)$$

Скорость изнашивания I_v для приведенных условий контакта будет ≈ 240 мкм³/с на 1 мм или 0,0009 мм³/мин для всего формирующего желоба:

$$I_v = V_{ед} \nu K \omega 2\pi R, \quad (4)$$

где ν – собственная частота колебаний пряжи в формирующем желобе; K – коэффициент крутки; ω – скорость выпуска пряжи; $2\pi R$ – длина формирующего желоба. При условии отсутствия собственных колебаний пряжи абразивный износ по приведенной формуле будет равен нулю.

Поток внешней энергии при прядении будет пропорционален следующим величинам:

$$W \sim \nu K_n T \omega^2 R^3, \quad (5)$$

где T – линейная плотность пряжи; K_n – коэффициент пропорциональности, учитывающий свойства волокна пряжи; ω – частота вращения прядильной камеры; R – радиус окружности формирующего желоба прядильной камеры; ν – собственная частота колебаний пряжи в формирующем желобе.

Объемный износ материала определяется отношением потока внешней энергии W к критической плотности мощности деформации:

$$W_{кр}^* \sim \pi d_b^2 S, \quad (6)$$

где S – напряжения при разрыве; $W_{кр}^*$ – величина, характеризующая материал прядильной камеры и зависящая от скорости нагружения и величины нагрузок (поэтому формула применима для напряжений до 10 ГПа).

W зависит от плотности волокон, диаметра волокон, скорости, угла атаки, линейной плотности пряжи и коэффициента трения по изнашиваемой поверхности, зависящего от наличия смазочного вещества в контакте. С учетом перечисленных параметров объемный износ может быть представлен в виде:

$$V = k_v \frac{K_n \nu T \omega^2 R^3 K \nu}{W_{кр} \sec \alpha} ft, \quad (7)$$

где k_v – коэффициент пропорциональности; f – коэффициент трения; α – угол атаки; t – время взаимодействия (работы).

Кинетическая кривая изнашивания в зависимости от времени t или числа ударов ωt в большинстве случаев имеет линейный характер. Зависимость износа от скорости абразивных частиц за период времени t близка к кубической.

Уравнение (7) пригодно и для оценки износа в потоке волокна, содержащем различного рода твердые частицы, вызывающие эрозию – песок, частицы красителя, отбеливатели, костру и т.п.

Динамическое давление в зоне контакта будет равняться 0,45...2 ГПа, что соизмеримо с твердостью поверхности прядильной камеры (1,26 ГПа). При таких скоростях вращения прядильного устройства работать практически невозможно.

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрен процесс абразивного изнашивания поверхности прядильной камеры пневмопрядильной машины из-за регу-

лярно совершаемых ударов волокон по этой поверхности.

2. На основе теории подобия предложена формула расчета износа и произведен расчет для случая выработки пряжи линейной плотностью 25 текс.

3. Для защиты поверхности от ударных нагрузок предлагается наносить упрочняющее покрытие – анодную пленку с микротвердостью от 2 до 6 ГПа. Это позволит значительно снизить износ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов Г.Г. Аэродинамические основы безверетенных способов прядения. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982.

2. Мигушов И.И. Механика текстильной нити и ткани: – М.: Легкая индустрия, 1980.

3. Браун Э.Д. Моделирование трения и изнашивания в машинах / Э.Д. Браун, Ю.А. Евдокимов, А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1982.

4. Власова Л.В. Моделирование абразивной эрозии материалов в потоках жидкости и газа/ Власова Л.В., Погодаев Л.И., Арабьян Л.К. // Трение, износ, смазка (эл. ресурс). – 2002, № 3, Т.4.

Рекомендована кафедрой технологии машиностроительного производства. Поступила 01.09.05.