

ПРОЧНОСТЬ И ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ НИТИ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕРАБОТКИ НА ТЕКСТИЛЬНЫХ МАШИНАХ

В.П. ЩЕРБАКОВ, И.Б. ЦЫГАНОВ, Т.И. ПОЛЯКОВА, И.В. ПИЛЮШИНА

(Московский государственный текстильный университет им. А. Н. Косыгина)

Существуют два подхода к трактовке явления прочности. Первый базируется на представлении о существовании некоторого порогового, критического напряжения, по достижении которого одной из компонент тензора напряжений разрушение наступает мгновенно. Предельное для данного материала напряжение принимается за критерий прочности. На таком представлении явления прочности основаны все классические теории и критерии прочности и их модификации. Второй подход исходит из того, что материалы, нагруженные статическим напряжением, разрушаются со временем, при этом время разрушения уменьшается с увеличением напряжения. Это явление называют "статической усталостью", "разрушением вследствие ползучести", "задержанным разрушением", "длительной прочностью" и т. п.

Рассмотрим случай, когда напряжения изменяются ступенчато. Располагая этими данными, можно установить, что при действии напряжения σ_1 разрушение произойдет по прошествии времени $t_*^{(1)}$, напряжению σ_2 соответствует время до разрушения $t_*^{(2)}$, и т. д., на i -м шаге нагружения значе-

нию σ_i соответствует время $t_*^{(i)}$. Если окажется, что время действия напряжения σ_i больше или равно $t_*^{(i)}$, то произойдет разрушение. Если $\Delta t_i < t_*^{(i)}$, то разрушение не наступит, и за время Δt_i исчерпается лишь часть несущей способности нити, равной отношению $\frac{\Delta t_i}{t_*^{(i)}}$. Используем для

обозначения отношения $\frac{\Delta t_1}{t_*^{(1)}}, \frac{\Delta t_2}{t_*^{(2)}}, \dots, \frac{\Delta t_i}{t_*^{(i)}}$

давно установившийся термин повреждаемости на первой, второй, i -й ступенях нагружения.

Экспериментальные исследования длительной прочности, проведенные при переменных режимах нагружения, показали, что во многих случаях разрушение происходит, когда сумма повреждаемостей становится равной единице:

$$\sum_{i=1}^n \frac{\Delta t_i}{t_*^{(i)}(\sigma_i)} = 1.$$

Этот экспериментально установленный факт называют условием (принципом) ли-

нейного суммирования повреждаемостей. Впервые этот принцип был сформулирован Бейли и поэтому его часто называют принципом Бейли.

Если напряжение в исследуемом интервале изменяется непрерывно, то, переходя от суммы к интегралу, получим

$$\int_0^{t_*} \frac{dt}{t_0[\sigma(t)]} = 1, \quad (1)$$

где t_0 – время до разрушения при постоянных напряжениях, равных мгновенным значениям $\sigma(t)$.

Принцип линейного суммирования повреждаемостей верен не для всех материалов и не для всех условий нагружения. Для проверки справедливости критерия Бейли и ряда других критериев использовалось нагружение в форме прямоугольных импульсов. Вычисления интеграла Бейли дали величину, равную 0,29. Формула (1) может рассматриваться только как приближенная, ее исходная гипотеза произвольна и не учитывает влияния истории нагружения в интервале $0 \leq t \leq t_*$ на величину приращения дефекта в момент t .

Ю.Н. Работнов ввел функцию повреждаемости $\omega(t) \geq 0$, равную нулю в начальном состоянии и единице в момент разрушения. Учет влияния истории нагружения сделан В. В. Москвитиным, который построил соотношения нелинейной вязкоупругости с учетом степени накопленных повреждений, уменьшающих эффективную площадь поперечного сечения [1]. Степень поврежденности материала $\omega(t)$, как и выше, удовлетворяет условиям $\omega(0) = 0$, $\omega(t_*) = 1$, где t_* – время до начала разрушения при произвольном законе изменения напряжений во времени.

Напишем предельное условие длительной прочности:

$$\frac{1}{1+n} = \int_0^{t_*} (t_* - \tau)^n \frac{d\tau}{t_0^{1+n}(\sigma)}. \quad (2)$$

Постоянная n учитывает влияние истории нагружения в условии длительной прочности. Здесь, как и в критерии Бейли (1), $t_0(\sigma)$ представляет собой долговечность – время, необходимое для разрушения при постоянном напряжении.

При исследовании долговечности нитей испытывают несколько одинаковых образцов при различных постоянных напряжениях и устанавливают время, необходимое для разрыва каждой нити. По результатам испытаний можно построить график зависимости времени до разрушения t_* при постоянном напряжении σ_0 от величины этого напряжения (рис.1).

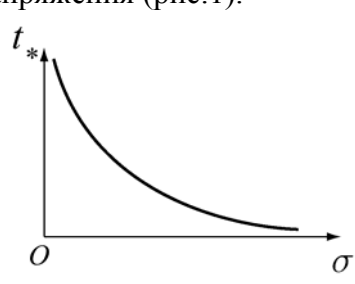


Рис. 1

Часто используют степенную зависимость

$$t_0 = B\sigma_0^{-b}. \quad (3)$$

Степенную зависимость следует интерпретировать не как физическую закономерность, а лишь удобную для расчетов аппроксимацию. В случае использования степенного закона долговечности соотношение (2) преобразуется к виду

$$\frac{B^{1+n}}{1+n} = \int_0^{t_*} (t_* - \tau)^n \sigma^{b(1+n)}(\tau) d\tau. \quad (4)$$

Формула (4), полученная В. В. Москвитиным, является критерием длительной прочности и определяет время до разрушения t_* при заданном законе нагружения $\sigma(t)$ и экспериментально определяемой функции долговечности $t_0 = t_0(\sigma_0)$. Для определения постоянной n можно воспользоваться опытами на растяжение нити с

постоянной скоростью изменения напряжения $\dot{\sigma} = \text{const}$, при этом одновременно фиксируется предел прочности σ_b . Среди многочисленных испытательных машин практически нет оборудования, позволяющего реализовать растяжение нити с постоянной скоростью изменения напряжения. Чтобы обойти это затруднение,

$$\int_0^{t_*} \sigma(\tau)(t_* - \tau)^{\frac{1}{b}-1} d\tau = \int_0^{t_*} \sigma(\tau) d \left[-b(t_* - \tau)^{\frac{1}{b}} \right] = -b\sigma(\tau)(t_* - \tau)^{\frac{1}{b}} \Big|_0^{t_*} + b \int_0^{t_*} (t_* - \tau)^{\frac{1}{b}} d\sigma(\tau). \quad (5)$$

Теория прочности А.А. Ильюшина [2] в случае одноосного напряженного состояния приводит к предельному соотношению вида $1 = \int_0^{t_*} \frac{d\sigma(\tau)}{\sigma_0(t_* - \tau)}$. В случае степенной

аппроксимации долговечности $t_0 = B\sigma_0^{-b}$ получим

$$B^{\frac{1}{b}} = \int_0^{t_*} (t_* - \tau)^{\frac{1}{b}} d\sigma(\tau), \quad (6)$$

что в точности совпадает с критерием В.В. Москвитина при определенном значении параметра $n = \frac{1}{b} - 1$. После интегри-

рования по частям выражения (6) преобразуем критерий А. А. Ильюшина к виду:

$$bB^{\frac{1}{b}} = \int (t_* - \tau)^{\frac{1}{b}-1} \sigma(\tau) d\tau. \quad (7)$$

Прежде чем переходить к оценке прочности нити при переработке на вязальной машине, вычислим параметры долговечности b и B .

При исследовании долговечности испытывают образцы материала при статической нагрузке и устанавливают время, необходимое для их разрушения. Наиболее простым способом создания статической нагрузки является подвешивание грузов к образцу и измерение времени до разрушения с помощью секундомера. Но этот способ имеет ряд недостатков. Нить под действием свободно висящего груза раскручи-

воспользуемся другим частным случаем рассмотренного критерия. Обратимся вновь к формуле (4) и предположим теперь, что в критерии В. В. Москвитина величина $b(1+n)$ равна единице. При этом правая часть указанного соотношения после интегрирования приводится к виду:

вается. При этом изменяется крутка нити, а значит и ее свойства. К тому же обеспечить равномерное и быстрое нагружение нити трудно, а определение времени до разрушения по секундомеру имеет большие погрешности. В случае, когда разрушение нити происходит за малое время (несколько секунд), удобнее использовать цифровые устройства.

На кафедре МТВМ был разработан способ и создана установка для измерения времени до разрушения нити на основе испытательной машины FP-100/1. Разработанный способ не имеет вышеперечисленных недостатков, так как груз не вращается, нагрузка производится плавно и с определенной скоростью, а время испытания фиксируется датчиком, связанным с грузом или с датчиком нагружения испытательной машины. Схема установки для исследования долговечности приведена на рис. 2.

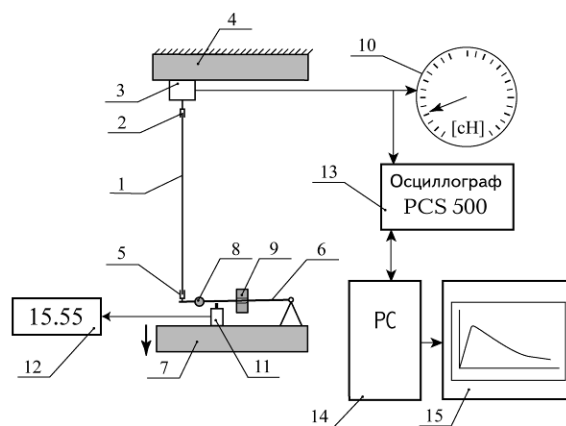


Рис. 2

Верхний конец нити 1 закрепляется в зажиме 2, соединенном с датчиком нагрузки 3 верхней балки 4 машины FP-100/1. Нижний конец нити закрепляется в зажиме 5, укрепленном на рычаге 6, шарнирно соединенном с подвижной траверсой 7 разрывной машины. На рычаге 6 расположен неподвижный груз 8 и подвижный груз 9. Грузами 8 и 9 с помощью индикатора нагрузки 10 разрывной машины настраивается нагрузка, прикладываемая к нити. При проведении испытания траверса 7 опускается до тех пор, пока рычаг 6 не займет горизонтальное положение. При этом выключатель 11 включает секундомер 12, отсчитывающий время испытания нити. После разрыва нити рычаг 6 опускается и выключает секундомер. В случае малого времени испытания и при необходимости записать диаграмму нагружения нити используется осциллограф 13, соединенный с компьютером 14. Информация о нагружении нити обрабатывается программой Pc-Lab 2000 и выводится на монитор 15. Она также может быть сохранена в виде текстового или графического файла.

Испытание на долговечность вискозной нити линейной плотности 8,4 текс проводилось на четырех уровнях нагрузки (140, 145, 150 и 150 сН) с шагом в 5 сН. Для каждого уровня было выполнено по 20 повторностей.

Суппорт 7 (рис. 2) устанавливался в положение, при котором зажимная длина нити составляет 150 мм. Перед каждым испытанием производилась настройка установки на заданную нагрузку. Для этого в зажимах закреплялась сдвоенная нить, траверса 7 опускалась до достижения рычагом 6 горизонтального положения. Используя индикатор 10, с помощью грузов 8 устанавливали приближенное значение нагрузки, а затем перемещением груза 9 нагрузка настраивалась окончательно. После этого проводились испытания нити. При каждом изменении задаваемой нагрузки процедура настройки повторялась. Результаты испытаний вискозной нити приведены в табл. 1 (статистические характеристики долговечности вискозной нити).

Т а б л и ц а 1

| Данные испытаний | Номер опыта | | | |
|--------------------------------------|-------------|--------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Значение нагрузки, сН | 140 | 145 | 150 | 155 |
| Среднее время до разрыва нити, с | 116,07 | 62,24 | 9,36 | 3,93 |
| Среднее квадратическое отклонение, с | 88,84 | 27,883 | 3,46 | 2,85 |
| Коэффициент вариации | 0,763 | 0,448 | 0,370 | 0,725 |

Из опытов на долговечность вискозной нити 8,4 текс при напряжениях 10,77 кгс/мм² и 11,15 кгс/мм² определено среднее время до разрушения – соответственно 116,07 с и 62,24 с. Вычисления с использованием степенной зависимости (3) дают $B = 5,092 \cdot 10^{17}$, $b = 15,154$.

Таким образом, в изложенной статье предложен и обоснован критерий прочности, ранее не применявшийся в теориях прочности текстильных материалов. Разработан способ и создана установка для измерения времени до разрушения нити, позволяющая построить функцию долговечности в широком интервале времени от долей секунды до сотен минут. Критерий А.А. Ильюшина прост и удобен для прак-

тического применения в условиях одноосного нагружения нитей на текстильных машинах. Расчеты повреждаемости нитей при переработке на круглошпульных автоматах и основовязальных машинах будут приведены в наших последующих работах.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Москвитин В.В. Сопротивление вязкоупругих материалов. – М.: Наука, 1972.
2. Ильюшин А.А., Победра Б.Е. Основы математической теории термовязкоупругости. – М.: Наука, 1970.

Рекомендована кафедрой механической технологии волокнистых материалов. Поступила 25.12.06.