

АПОСТЕРИОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ НИТЕЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ НА МНОГОКРАТНОЕ РАСТЯЖЕНИЕ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ОСНОВНОГО ФИЗИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА НАДЁЖНОСТИ

А.А. Кузнецов, Д.А. Иваненков

Текстильные материалы в процессах переработки и эксплуатации постоянно подвергаются действию небольших по величине многократных переменных напряжений, в результате чего свойства материала ухудшаются до тех пор, пока не произойдет его разрушение. Данный процесс разрушения текстильного материала получил название усталостного.

В результате исследований усталостных свойств хлопчатобумажной пряжи Н.Н.Миловидовым [1] было установлено, что выносливость является наиболее объективной характеристикой, позволяющей прогнозировать поведение основных нитей в процессе ткачества. Коэффициент корреляции между числом обрывов основы на ткацких станках и выносливостью на пульсаторе составил – 0,89. В то же время, с показателями разрывной нагрузки и удлинения корреляции обнаружить не удалось. Вследствие этого, изучение усталостных характеристик, полученных в условиях многократного растяжения текстильных материалов, представляет интерес для большого числа исследователей.

Известно [2], что одним из показателей, значение, которого изменяется в процессе проведения усталостных испытаний текстильных нитей, является относительная остаточная циклическая деформация $\varepsilon_{o.c.}$ (в дальнейшем остаточная деформация) – величина деформации, накопившейся за некоторое определенное число циклов нагружения и не исчезающая в процессе непрерывного приложения этих циклов.

Профессором Кукиным Г.Н. и профессором Соловьевым А.Н. отмечается, что характер изменения остаточной деформации при циклическом нагружении позволяет произвести анализ структуры нити.

На основании анализа процесса накопления остаточной циклической деформации $\varepsilon_{o.c.}$ при проведении испытаний на многократное растяжение и основного физического принципа теории надежности, сформулированном Н.М. Седякиным [3], можно выдвинуть гипотезу:

скорость изменения остаточной циклической деформации $d\varepsilon_{o.c.}/dn$ не зависит от того, как и за какое время (количество циклов нагружения) она изменилась от некоторого начального значения ε_0 до текущего $\varepsilon_{o.c.}$ в рассматриваемый момент времени, а зависит от условий проведения испытания и механических свойств текстильной нити.

Запись этого принципа в дифференциальной форме с учётом высказанной гипотезы имеет следующий вид:

$$\frac{d\varepsilon_{o.c.}}{dn} = -M(\varepsilon_{o.c.} - \varepsilon_{кр})^k, \quad (1)$$

где M – параметр модели, отражающий темп изменения остаточной циклической деформации;

ε_0 – относительное удлинение, вызванное действием статической нагрузки, %

$\varepsilon_{кр}$ – относительное критическое удлинение, при достижении которого нить разрушается, в предположении приближается к относительному разрывному удлинению, %

k – параметр модели, принимающий значение 1, 2, ...

Решение дифференциального уравнения (1) при условии $k=1$ имеет следующий вид:

$$\int_{e_0}^{e_{o.ц.}} \frac{de_{o.ц.}}{(e_{o.ц.} - e_{кр})} = -M \int_0^n dn \Rightarrow \ln \left| \frac{e_{o.ц.} - e_{кр}}{e_0 - e_{кр}} \right| = -M \cdot n,$$

$$e_{o.ц.}(n) = e_{кр} + (e_0 - e_{кр}) \cdot \exp[-M \cdot n] \quad (2)$$

Совершенно очевидно, что при $n \rightarrow 0$ значение остаточной циклической деформации $e_{o.ц.} \rightarrow e_0$, а при $n \rightarrow \infty - e_{o.ц.} \rightarrow e_{кр}$.

Для определения физического смысла параметра M модели (2), предположим, что существует такое число циклов нагружения $n_{ср}$, при котором текущее значение остаточной циклической деформации нити численно равна среднему арифметическому значению параметров e_0 и $e_{кр}$ модели (2):

$$e_{o.ц.}(n_{ср}) = \frac{1}{2}(e_0 + e_{кр}) \quad (3)$$

После подстановки модель (2), и осуществления простейших преобразования, получено, что

$$M = \frac{\ln 2}{n_{ср}} \quad (4)$$

Следовательно, параметр модели M в данном случае определяет количество циклов нагружения $n_{ср}$, необходимое для выполнения условия(2).

С другой стороны, можно отметить, что параметр M модели (1) имеет размерность $[\text{цикл}^{-1}]$ и является величиной обратной количеству циклов нагружения n' , необходимого для выполнения следующего условия:

$$\frac{e_{кр} - e_0}{e_{кр} - e_{o.ц.}(n')} = e,$$

где e – основание натурального логарифма

Подставив соотношение (4) в модель (2) и обозначив $m=n/n_{ср}$, получим

$$e_{o.ц.}(n) = e_{кр} + (e_0 - e_{кр}) \cdot \exp[-M \cdot n], \quad (5)$$

где m – безразмерное число циклов нагружения текстильной нити при проведении усталостного испытания;

G – постоянная модели, имеющая постоянное значение $G = \ln 2 = 0,693$.

Обозначив

$$Z(m) = \frac{e_{o.ц.}(m)}{e_{кр}}; \quad Z_0 = \frac{e_0}{e_{кр}} \quad (6)$$

представим математическую модель (5) в безразмерной форме:

$$Z(m) = 1 + (Z_0 - 1) \cdot \exp[-G \cdot m] \quad (7)$$

Решение дифференциального уравнения (1) при условии $k=2$ примет следующий вид:

$$e_{o.ц.}(n) = \frac{(e_0 - e_{кр}) \cdot e_{кр} \cdot M \cdot n + e_0}{1 + (e_0 - e_{кр}) \cdot M \cdot n}, \quad (8)$$

Определение физического смысла параметра M модели (8), осуществляется на основе предположения сформулированного выше и определяемого соотношением (2)

После подстановки условия (2) в модель (8) и преобразований темповой параметр M модели (8) определяется следующим соотношением:

$$M = \frac{1}{n_{cp} \cdot (e_0 - e_{кр})} \quad (9)$$

Подставив значение M в модель (8) и обозначив $m = n/n_{cp}$, окончательно получим

$$e_{o.ц.}(m) = \frac{e_{кр} \cdot m + Z_0}{1 + m}, \quad (10)$$

или в безразмерной форме данную математическую модель можно представить в следующем виде:

$$Z(m) = \frac{m + Z_0}{1 + m}, \quad (11)$$

При этом смысл $Z(m)$, Z_0 определяется соотношением (6).

Представление математических моделей (2), (8) в безразмерной форме (6) и (11) соответственно, позволяет заменить семейство моделей, обладающих различными значениями темпового показателя M (рис.1).

Использование нелинейных (рис.1) математических моделей (6), (11), позволяет провести анализ интенсивности процесса накопления остаточной деформации при различных значениях k условия (1):

при $k=1$
$$I_z(m) = \frac{dZ(m)}{dm} = (1 - Z_0) \cdot G \cdot \exp[-G \cdot m]; \quad (12)$$

при $k=2$
$$I_z(m) = \frac{dZ(m)}{dm} = \frac{(1 - Z_0)}{(1 + m)^2}. \quad (13)$$

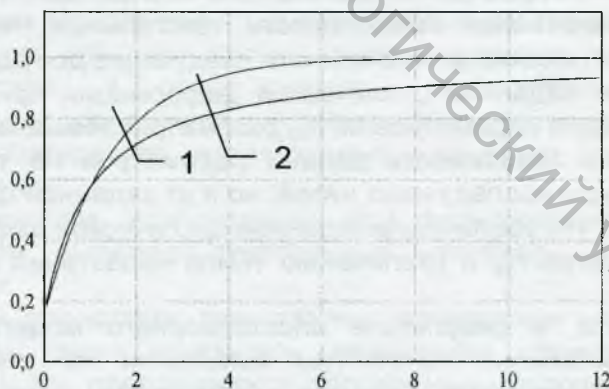


Рисунок 1 - Зависимость Z от относительного числа циклов нагружения m при $Z_0=0,15$. 1— кривая, построенная по модели (6) 2— кривая, построенная по модели (11)

На рис. 2. представлены зависимости интенсивности процесса накопления остаточной циклической деформации I_z от относительного числа циклов нагружения m при различных значениях k условия (1).

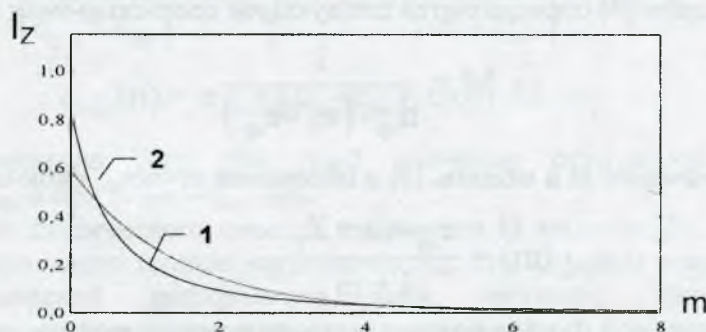


Рисунок 2 - Зависимость интенсивности процесса накопления остаточной деформации при циклическом нагружении I_z от относительного числа циклов нагружения m 1- кривая, построенная по модели (6) 2-кривая, построенная по модели (11)

В результате комплекса проведённых экспериментальных исследований установлено следующее:

1. Разработанные математические модели изменения остаточной циклической деформации при многоцикловом испытании на растяжение являются адекватными результатам эксперимента с доверительной вероятностью 0,95 для всех исследуемых образцов текстильных нитей различного сырьевого состава и линейных плотностей.

2. При проведении математического моделирования установлено, что численное значение параметра $\varepsilon_{кр}$ моделей (6), (11) для всех исследуемых образцов нитей не зависит от условий проведения многоциклового испытания на растяжение, а определяется их физико-механическими свойствами. Сравнительный анализ численных значений критической остаточной циклической деформации $\varepsilon_{кр}$ и относительного разрывного удлинения ε_p указывает на то, что для всех исследуемых образцов нитей данные показатели являются соизмеримыми. Следовательно, при проведении дальнейших исследований по разработке экспресс-методов прогнозирования выносливости текстильных нитей при испытании на многократное растяжение можно принять следующее допущение $\varepsilon_{кр} = \varepsilon_p$.

3. Увеличение заданной циклической деформации приводит к закономерному изменению значения параметров M , $n_{ср}$ рассматриваемых математических моделей, что указывает на зависимость данных параметров не только от механических свойств и структуры исследуемых нитей, но и от заданной циклической деформации $\varepsilon_{з.ц.}$ Установлено, что увеличение заданной циклической деформации $\varepsilon_{з.ц.}$ приводит к снижению параметра $n_{ср}$ и увеличению темпа нарастания остаточной циклической деформации M .

Таким образом, в результате апостериорного моделирования усталостного разрушения текстильных нитей при испытании на многократное растяжение получены математические модели взаимосвязи остаточного циклического удлинения нитей и количества циклов нагружения, применение которых позволит осуществить прогноз показателей усталостных свойств текстильных нитей по результатам кратковременных испытаний с разработкой соответствующей методики.

Список использованных источников

- 1 Миловидов Н.Н. Усталость пряжи как один из факторов, влияющих на обрывность в прядении, Изв. Вузов «Технология текстильной промышленности», №3, 1962, с.58-63.

- 2 Кирюхин С.М. Обрыв нити. // Текстильная промышленность, –1999. – №9-10 – С.30-31.
- 3 Седякин Н.М. Об одном физическом принципе теории надёжности// Изв. АН СССР, Техническая кибернетика, №3, 1966 – с.80–87.

SUMMARY

The textile materials during processing and operation constantly are exposed to action small on size of repeated variable pressure, therefore the properties of a material are worsened until there will be his destruction. It is known, that the character of change of residual deformation at cyclic allows to make the analysis of structure of a string. In result modeling destruction of textile strings at test for a repeated stretching the mathematical models of interrelation of residual cyclic lengthening of strings and quantity of cycles are received, which application will allow to carry out the forecast of parameters of properties of textile strings by results of short-term tests with development of the appropriate technique.

УДК 677.075.017:66.067.33

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКВОЗНОЙ ПОРИСТОСТИ ТРИКОТАЖНЫХ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

И.Г. Черногузова

Одним из обязательных требований, предъявляемых к материалам, используемым в качестве фильтрующих перегородок в процессах фильтрования различных неоднородных систем, является пористость их структуры. Наличие в структуре фильтровального материала сквозных пор способствует тому, что через материал проходят одни фазы фильтруемых сред и задерживаются другие фазы, тем самым сохраняется сущность самого процесса фильтрования. Пористость фильтровальных материалов зависит от их структуры и оказывает существенное влияние на показатели проницаемости материалов (воздухо-, водо-, газопроницаемость и т.д.). Кроме того, величина пористости коррелирует с такими показателями фильтрующих свойств пористых перегородок как пылепроницаемость, пылеемкость, коэффициент проскока частиц, задерживающая способность [1]. Перечисленные показатели, в свою очередь, определяют соответствие фильтровальных материалов назначению и условиям эксплуатации. В связи с этим определение пористости материалов, используемых в качестве фильтровальных, является актуальной задачей.

Среди пористых материалов, используемых при фильтровании в различных отраслях промышленности, выделяют текстильные материалы, в том числе и фильтровальных трикотаж.

Определение сквозной пористости трикотажных материалов непосредственно связано с определением такого показателя заполнения структуры трикотажа волокнистым материалом, как поверхностное заполнение, которое характеризует степень частоты трикотажа, его просвечиваемость.

Известен расчетный метод оценки поверхностного заполнения трикотажа, при котором его величина представляет собой отношение проекции нити в элементе к площади элемента трикотажа, ограниченного петельным шагом и высотой петельного ряда. В общем виде формула расчета поверхностного заполнения может быть представлена формулой (1) [2]:

$$E_s = \frac{l \times d}{A \times B} \times 100, \quad (1)$$