

ДЕФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КОМБИНИРОВАННОЙ НИТИ

Р.В.КОРАБЕЛЬНИКОВ, И.Л.ВЕРНЯЕВА

(Костромской государственной технологической университет)

В лаборатории "Композиционные материалы" КГТУ ведутся работы по созданию трикотажной армирующей основы для композиционных материалов специального назначения. Впервые предложено получать материал такой структуры из ранее сформированной многокомпонентной комбинированной нити. Особенностью технологии является то, что совместной переработке подлежат взаимоисключающие материалы: хрупкое термостойкое волокно и жесткая вольфрамовая проволока. Вследствие этого одной из основных задач является оптимизация структуры нити с целью повышения ее технологических и физико-механических показателей.

Комбинированная нить состоит из стренги комплексной углеродной нити и нескольких металлических монопитей. Стренги между собой не скручены и оплетаются хлопчатобумажной пряжей или комплексной углеродной нитью. Основная цель оплетки – обеспечить взаимодействие углеродной и металлической стренг вдоль оси комбинированной нити.

Цель исследования заключается в изучении упруговязких свойств комбинированной нити, состоящей из компонентов, обладающих различными свойствами.

При составлении модели комбинированной нити как упруговязкого тела нами были сделаны следующие допущения:

- углеродная нить обладает упруговязкими свойствами;
- металлические нити работают в пределах закона Гука;

– колебательный процесс отсутствует, то есть сила трения между стренгами направлена в одну сторону.

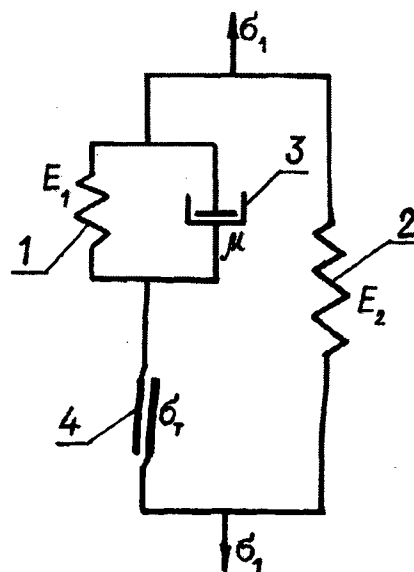


Рис. 1

На рис.1 изображена предполагаемая модель комбинированной нити, где 1 и 3 – упруговязкий элемент Кельвина, моделирующий свойства углеродной нити; 2 – упругий элемент, моделирующий металлические стренги; 4 – пластический элемент, моделирующий силу трения между металлическими и углеродной стренгами (он деформируется при напряжениях ниже σ_T – предела текучести, то есть напряжения, при котором преодолевается сила трения покоя).

Для получения уравнений зависимости напряжения от деформации запишем законы деформации составляющих элементов 1, 2, 3 [1]:

$$\sigma' = E_1 \varepsilon'; \quad \sigma'' = E_2 \varepsilon''; \quad \sigma''' = \mu d\varepsilon''' / dt. \quad (1)$$

Условия равновесия и неразрушения примут вид

$$\sigma' + \sigma'' = \sigma_0, \quad \sigma_0 + \sigma'' = \sigma_1,$$

$$\varepsilon' = \varepsilon'' = \varepsilon''' = \varepsilon_1, \quad (2)$$

где σ' ; σ'' ; σ''' ; ε' ; ε'' ; ε''' – напряжения и деформации соответственно первого, второго и третьего элементов; E_1 – модуль упругости углеродной нити; E_2 – модуль упругости металлической проволоки; σ_0 – напряжения в углеродной стренге; σ_1 – напряжение всех компонентов комбинированной нити; μ – коэффициент вязкости.

Рассмотрим два случая деформации системы.

1. При $\sigma_0 < \sigma_T$. Этот случай наблюдается при благоприятных условиях формирования изделия из комбинированных нитей; обрыв стренг отсутствует.

2. При $\sigma_0 > \sigma_T$. Этот случай имеет место при обрыве или частичной потере прочности углеродной стренги.

Для первого случая имеем

$$\sigma' + \sigma'' + \sigma''' = \sigma_1, \quad (3)$$

$$\varepsilon' = \varepsilon'' = \varepsilon''' = \varepsilon_1. \quad (4)$$

С учетом (1) и (2) уравнения примут вид

$$\sigma_1 = E_1 \varepsilon_1 + E_2 \varepsilon_1 + \mu d\varepsilon/dt, \quad (5)$$

$$\sigma_1 = E^* \varepsilon_1 + \mu d\varepsilon_1/dt,$$

где $E^* = E_1 + E_2$ – приведенный модуль упругости.

Закон (5) есть модель упруговязкой среды Кельвина. Интеграл выражения (5) дает следующую зависимость [1], [2]:

$$\varepsilon_1 = e^{-t/T} \left(\varepsilon_{10} + 1/\mu \int_0^t \sigma_1 e^{t'/T} dt' \right), \quad (6)$$

где $T = \mu/E$ – время релаксации; ε_{10} – деформация в начальный момент времени при $t=0$.

При постоянной деформации ($\varepsilon_1 = \text{const} = \varepsilon_0$) напряжение соответствует $\sigma_1 = E^* \varepsilon_0$. Если приложить постоянное на-

пряжение $\sigma_1 = \text{const} = \sigma_0$ в момент $t = 0$, то деформация будет расти по закону

$$\varepsilon_1 = \sigma_0 / E^* (1 - e^{-t/T}). \quad (7)$$

Это означает, что в комбинированной нити в результате технологических операций формирования изделия (ткань или трикотаж) развиваются релаксационные процессы, то есть будут наращиваться деформации в течение времени T . В случае переменного напряжения деформацию следует определять, решая уравнение (6), которое учитывает закон изменения напряжения:

$$\sigma_1 = f(t). \quad (8)$$

Для второго случая, когда $\sigma_0 > \sigma_T$, имеем

$$\sigma_1 = E_2 \varepsilon_1 \quad \text{или} \quad \varepsilon_1 = \sigma_1 / E_2, \quad (9)$$

то есть будет проявляться только упругая деформация металлических стренг, а другие составляющие комбинированной нити роли играть не будут.

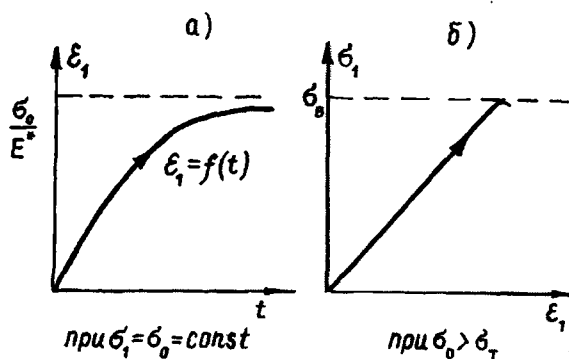


Рис. 2

На рис.2 показаны характеристики зависимости $\sigma = f(t)$ для первого и второго случая при условии $\varepsilon_1 = \varepsilon_0 = \text{const}$.

Следовательно, для того чтобы металлическая и углеродная стренги работали в паре, необходимо выполнить условие

$$\sigma_0 \leq \sigma_T. \quad (10)$$

Это условие обеспечивается силой трения между стренгами. Трение же создает оплетка, прижимающая стренги друг к другу. Обозначив силу трения, приходящуюся на единицу длины нити, через f , для участка нити длиной l , запишем

$$f l / S_{\Sigma} < \sigma_T, \quad (11)$$

где S_{Σ} – суммарная площадь сечения стренг.

Силу трения можно выразить через давление прижатия стренг оплеткой:

$$f = k N, \quad (12)$$

где N – сила прижатия стренг, приходящаяся на единицу длины нити; k – коэффициент трения между стренгами.

С учетом (11) и (12) определим требуемое усилие прижатия стренг:

$$N = \sigma_T S_{\Sigma} / k l. \quad (13)$$

ВЫВОДЫ

Разработана модель комбинированной нити, позволяющая как анализировать деформативное поведение ее компонентов в процессе нагружения, так и определять заправочные параметры технологического процесса ее получения с учетом плотности обмота стренг оплеткой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прочность, устойчивость, колебания. – Т.1. Справочник в 3-х т. (Под общей редакцией И.А. Биргера и Я.Г. Пановко). – М.: Машиностроение, 1968.

2. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. – М.: Высшая школа, 1968.

Рекомендована кафедрой механической технологии волокнистых материалов. Поступила 07.06.02.