

УДК 677.017.427:539.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТРИКОТАЖА ИЗ ТЕКСТУРИРОВАННЫХ ПОЛИАМИДНЫХ НИТЕЙ

О.Н. СТОЛЯРОВ, С.В. МАКАРЕНКО, А.В. ТРУВЦЕВ, А.М. СТАЛЕВИЧ

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

Для большинства текстильных материалов, при оценке их механических свойств, известны и широко используются разрывные характеристики и модули упругости в начальной стадии деформирования. Однако наиболее важные свойства проявляются в зоне неразрушающих нагрузок, типичных для условий эксплуатации материалов данного класса. В связи с этим возникает необходимость моделирования их свойств.

Модельные методы при изучении деформационных свойств текстильных материалов можно разделить на два направления: дискретное моделирование [1] и спектральное моделирование [2]. Преимущество второго направления состоит в минимальном количестве параметров модели,

четкости их физического смысла, возможности учета активирующего или затормаживающего действия внешней нагрузки.

Для исследования деформационных свойств трикотажа из текстурированных нитей на однофонтурной кругловязальной машине MV-4 II (фирмы Mayer & Cie, Германия) 24 класса было наработано трикотажное полотно переплетением кулирная гладь.

Технологические параметры исследуемого трикотажного полотна приведены в табл. 1.

На измерительном комплексе Инстрон-1122 были проведены эксперименты в режимах равномерного растяжения и релаксации напряжения.

Т а б л и ц а 1

Переплетение	Вид нити	Линейная плотность нити, дтекс	Плотность по горизонтали $P_{г}$, пет/дм	Плотность по вертикали $P_{в}$, пет/дм
Кулирная гладь	нейлон 6,6	78×2	130	230

Диаграммы растяжения образцов трикотажного полотна вдоль петельных рядов получены при скорости деформирования $\dot{\epsilon} = 8,3 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$ и зажимной длине $L=100$ мм. При измерении релаксирующего напряжения образцы растягивались при максимальной скорости до значений де-

формаций: 20, 40, 60, 80, 100 и 120% и оставались в деформированном состоянии в течение 10 мин. После высокоскоростной разгрузки измерялся восстановительный деформационный процесс продолжительностью до 10^4 мин.

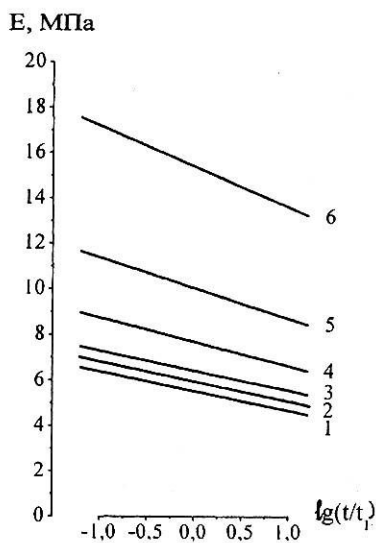


Рис. 1

По измеренным семействам кривых релаксации образцов вдоль петельных рядов построены зависимости релаксирующего модуля от уровня деформации (рис. 1, где кривая 1 – $\epsilon=20\%$; 2 – $\epsilon=40\%$; 3 – $\epsilon=60\%$; 4 – $\epsilon=80\%$; 5 – $\epsilon=100\%$; 6 – $\epsilon=120\%$). Из рис. 1 видно, что в режиме релаксации напряжения наблюдается несовпадение кривых релаксирующего модуля, что говорит о нелинейности деформационных свойств изучаемого объекта.

Измерения в режиме восстановительного деформационного процесса показали, что необратимая компонента деформации полностью отсутствует до уровня 40%, а на уровне деформации 120% необратимый компонент составляет менее $4,5/120=3,7\%$. Из этого следует, что преобладающим свойством является вязкоупругость.

При моделировании деформационных свойств материалов подобного класса основная сложность заключается в определении значений начального – упругого E_0 и конечного – квазиравновесного E_∞ модулей. В случае материала большой деформационной жесткости $E_0 = \text{const}$ и $E_\infty = \text{const}$, а у трикотажных полотен эти значения возрастают по мере деформирования.

Первая из этих изменяющихся величин $E_{0\epsilon}$ определялась дифференцированием высокоскоростной диаграммы растяжения. Вторая из асимптотических величин – значение квазиравновесного модуля $E_{\infty\epsilon}$ – оп-

ределялась из экспериментально получаемой обратной релаксации.

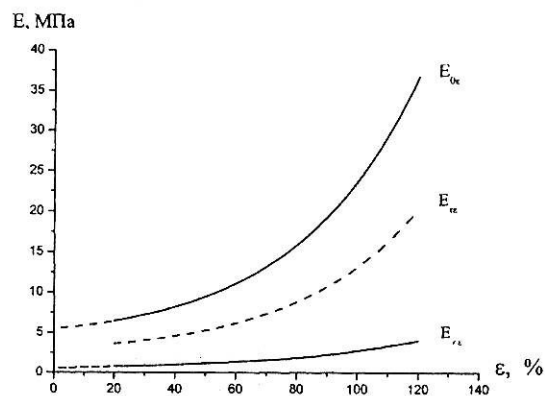


Рис. 2

На рис. 2 представлены зависимости изменения $E_{0\epsilon}$ и $E_{\infty\epsilon}$ при увеличении деформации.

Аналитическое описание релаксирующего модуля (рис. 1) производилось по формуле:

$$\frac{\sigma_{\epsilon t}}{\epsilon} = E_{\epsilon t} = E_{\epsilon 0} - (E_{\epsilon 0} - E_{\infty\epsilon})\varphi_{\epsilon t}, \quad (1)$$

где $\sigma_{\epsilon t}$ – напряжение для заданной деформации в момент времени t ; ϵ – относительная деформация; $E_{\epsilon t}$ – релаксирующий модуль для заданной деформации в момент времени t ; $E_{\epsilon 0}$ – значение начального (упругого) модуля, зависящего от деформации; $E_{\infty\epsilon}$ – значение квазиравновесного модуля, зависящего от деформации;

$$\varphi_{\epsilon t} = \left[1 + \left(\frac{t}{\tau_\epsilon} \right)^{-A_\epsilon} \right]^{-1} \text{ – нормированная функция.}$$

По средним значениям релаксирующего модуля $E_{\tau\epsilon} = 0,5(E_{0\epsilon} + E_{\infty\epsilon})$ и "семействам", приведенным на рис. 1, были определены среднестатистические времена релаксации (а) и параметры спектра релаксации (б) для разных уровней деформирования (рис. 3-а).

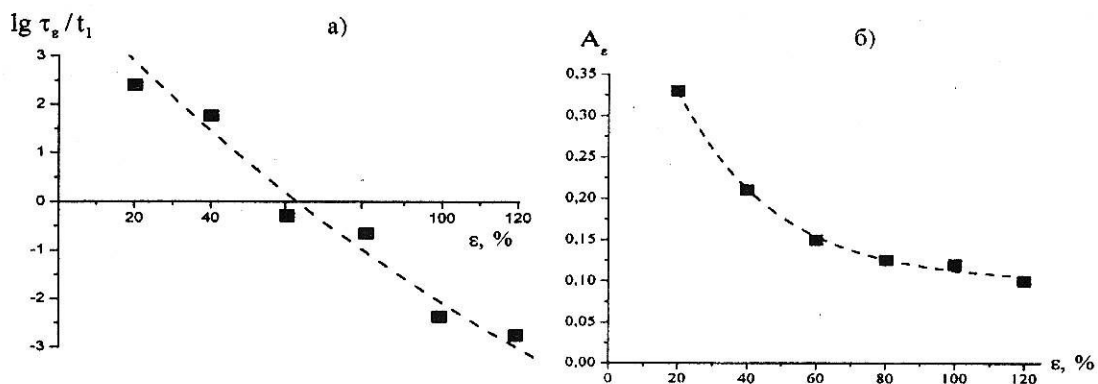


Рис. 3

Убывающая зависимость среднестатистического времени релаксации интерпретируется как следствие активирующего действия приложенной внешней нагрузки. При помощи этой зависимости определены значения параметра формы нормированного спектра релаксации по формуле:

$$A_\varepsilon = \left(\lg \frac{E_{0\varepsilon} - E_{\varepsilon t}}{E_{\varepsilon t} - E_{\infty\varepsilon}} \right) \left(\lg \frac{t}{\tau_\varepsilon} \right)^{-1}. \quad (2)$$

Полученные значения представлены на рис. 3-б, из которого следует, что по мере увеличения деформации значения этой характеристики уменьшаются, что означает "расширение" формы нормированного спектра релаксации [2]:

$$\bar{\tau}_{\varepsilon t} = \frac{\partial \varphi_{\varepsilon t}}{\partial \ln t/t_1} = 0,43 \frac{\partial \varphi_{\varepsilon t}}{\partial \lg t/t_1} = A_\varepsilon \left(2 + \left(\frac{t}{\tau_\varepsilon} \right)^{-A_\varepsilon} + \left(\frac{t}{\tau_\varepsilon} \right)^{+A_\varepsilon} \right)^{-1}. \quad (3)$$

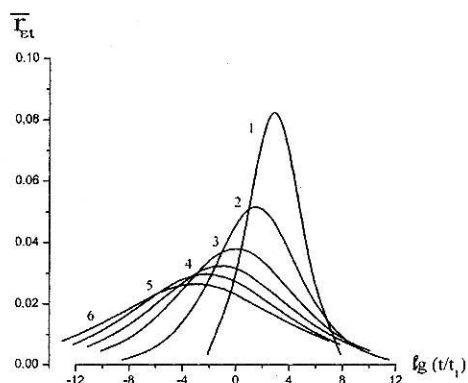


Рис. 4

Из рис. 4, где представлены спектры релаксации при различных значениях деформации: кривая 1 – 20%; 2 – 40%; 3 – 60%; 4 – 80%; 5 – 100%; 6 – 120%, отчетливо видно, что по мере увеличения деформации наблюдается перемещение спектра времен релаксации в сторону малых времен (рис. 3-а), сопровождающееся расширением формы спектра (рис. 3-б).

Использованный метод математического моделирования нелинейной вязкоупругости материала, имеющего малую деформационную жесткость, можно интерпретировать как вариант нормированной деформационно-временной аналогии.

ВЫВОДЫ

1. Разработаны методики определения деформационных характеристик трикотажного полотна: $E_{0\varepsilon}$, $E_{\infty\varepsilon}$, $\ln \tau_\varepsilon$ и A_ε , численные значения которых зависят от величины деформации. Возрастающие значения начального и конечного значений релаксирующего модуля характеризуют увеличение деформационной жесткости по мере деформирования. Убывающие значения среднестатистических времен релаксации характеризуют активирующее действие внешней нагрузки. Убывающие значения параметров формы спектра релаксации характеризуют расширение этого спектра по мере деформирования трикотажного полотна.

ЛИТЕРАТУРА

2. Предполагается, что разработанный метод моделирования деформационных свойств окажется применимым и к другим материалам малой деформационной жесткости.

1. *Кукин Г.Н., Соловьев А.Н., Кобляков А.Н.* Текстильное материаловедение. – Ч.3. – М.: Легпромбытиздат, 1992.
2. *Сталевич А.М.* // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1981, № 3. С.18...22.

Рекомендована кафедрой трикотажного производства. Поступила 20.03.05.
