

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИНТЕРЛОЧНОГО ТРИКОТАЖА

SIMULATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF INTERLOCK JERSEY

А.П. БАШКОВ, С.Б. БАЙЖАНОВА, Г.В. БАШКОВА, Э.Е. САРЫБАЕВА
A.P. BASHKOV, S.B. BAYZHANOVA, G.V. BASHKOVA, E.E. SARYBAEVA

(Ивановская государственная текстильная академия,
Южно-Казахстанский государственный университет)
(Ivanovo State Textile Academy;
South Kazakhstan State University, Shymkent)
E-mail: milena55@yandex.ru

В статье предложена механическая модель трикотажа многоластичной структуры, которая позволяет анализировать и прогнозировать деформационные свойства этих полотен как при одноосных, так и при многоосных нагрузках. Авторами рассматривается расчетный способ определения деформационных показателей образцов многоластичного трикотажа и сравнивается с экспериментальными данными механических испытаний.

The article presents the mechanical model of multi-lock jersey, which allows to analyze and predict deformation behavior of these nets, as for uniaxial and multi-axial loadings. The authors consider the calculation method of definition of deformation behavior of multi-lock jersey samples and compare it with experimental mechanical testing data.

Ключевые слова: трикотажное многоластичное полотно, формоустойчивость, растяжимость, механическая модель, прогнозирование механических характеристик.

Keywords: multi-lock knitted fabric, stability of shape, tensility, a mechanical model, mechanical properties prediction.

Одинарный и двойной кулирный трикотаж переплетения гладь и ластик при одноосном нагружении вдоль полотна имеет более низкую растяжимость, чем поперек полотна. У ластика эта особенность выражена более ярко, его растяжимость по ширине полотна может быть в 3,5 раза больше, чем в длину [1]. Это свойство снижает формоустойчивость изделия, а также ухудшает условия формования композитов

на текстильной трикотажной основе. Производное переплетение ластика – интерлок или двуластик (рис. 1: а) – геометрическая модель, б) – механическая модель), представляющее собой сочетание двух ластиков, протяжки которых перекрещиваются между собой, несколько сглаживает эту деформационную особенность кулирного трикотажа (рис. 1- а).

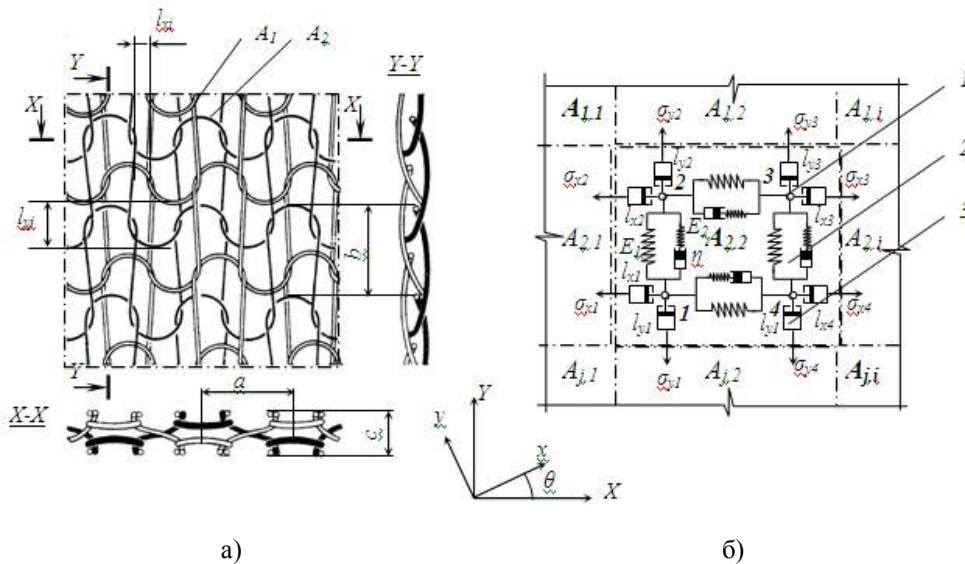


Рис. 1

Интерлочное полотно имеет застиленную и равномерную поверхность, обладает высокой прочностью, формоустойчивостью и устойчивостью к истиранию, имеет красивый внешний вид и более объемно, что создает улучшенные гигиенические свойства. Растяжимость интерлока меньше, чем ластика, а эластичность несколько выше. В отличие от ластика при растяжении интерлочного трикотажа по горизонтали между петельными столбиками не видно петельных дуг, то есть они не выходят на поверхность полотна и не подвергаются истиранию в самых напряженных местах, что улучшает эксплуатационные свойства изделия, а также условия формирования композитов на трикотажной основе.

Структура двуластичного трикотажа, полученного из двух систем нитей, напоминает двойное полотно, причем петли каждого полотна переплетаются между собой, создавая улучшенные механические и эксплуатационные свойства. Современные плосковязальные автоматы, например, «Shima-Seiki» (Япония), позволяют получать производные ластичные переплетения, такие как трехластичное, четырехластичное и пятиластичное. Увеличение числа ластиков создает большую объемность полотна при снижении материалоемкости, что придает изделию лучшие тепло-, звуко-, виброизоляционные свойства.

Для представления механических свойств трикотажа и количественного опи-

сания его напряженно-деформированного состояния в рамках феноменологической теории [2] можно использовать его механическую модель в виде комплекса элементов Эйринга-Догадкина. Для анализа многоосных или произвольно направленных деформаций представим структуру трикотажа в виде сетки, состоящей из четырехзвенных элементов, представляющих петлю (рис. 1). Шарнир 1, имеющий внутреннее трение, представляет собой точку контакта взаимно обвитых нитей соседних петель, затягивающихся при деформации полотна. Эта точка смещается, ячейка перекашивается, размер ее элементов увеличивается. Этот процесс имитируется элементом Эйринга-Догадкина 2, представляющего собой упруго-пластические свойства нити. Модель представляет собой матрицу, включающую j горизонтальных рядов, состоящих в свою очередь из i элементов – петель.

Интерлочный трикотаж, состоящий из двух и более систем нитей $A_1, A_2 \dots A_i$ (двуластик, трехластик и т.д.), представляет собой взаимно связанные одиночные структуры, каждая из которых состоит из своей системы нитей. Деформация здесь происходит сложнее. Сначала деформируются элементы внутри одиночных структур, которые в это время смещаются относительно друг друга до момента затяжки точек соединения между нитями разных систем. Используя терминологию механи-

ки, можно сказать, что между одиночными структурами имеется определенный свободный ход ℓ_{xy} , в процессе которого смещение нитей ограничивается только небольшими силами трения между достаточно спрямленными и мало прижатыми их участками. Этот свободный ход тем меньше, чем больше плотность трикотажа, а при одинаковых размерах петель – чем больше систем нитей n . Также, как видно из геометрической модели, величина ℓ_{xi} при поперечной деформации меньше, чем ℓ_{yj} при продольной деформации. Большая растяжимость по ширине полотна определяется структурой одиночного кулирного трикотажа. Это объясняется тем, что столбики петель уже находятся почти в предельном состоянии, и при продольном нагружении почти сразу начинаются деформации вдоль оси нити, связанные с ее растяжением. При поперечном нагружении сначала происходит изгиб нитей в элементах петельных дуг, для чего требуется меньшее усилие. Вместе с этим изгибом смещаются ячейки других систем нитей без взаимного скольжения. Затем начинается осевое растяжение нитей в распрямленных петельных дугах и взаимное скольжение ячеек других систем нитей. Для имитации свободного хода в модель вводится механический элемент в виде ползуна с ограничителем 3 . В механической модели, представленной на рис. 1, ячейки $A_1 \dots A_i$ представляют взаимодействующие элементы – петли отдельных систем нитей вдоль ряда, то есть поперек полотна, а ячейки $A_1 \dots A_j$ те же элементы, но во взаимодействии в направлении петельных столбиков, то есть вдоль полотна. Например, для двуластика значение $i=j=2$. Общее число элементов (рис. 1-б) будет равно количеству петель в образце полотна.

$$\varepsilon_{ij}(t) = \sigma_{ij} \cos\theta \left(\frac{1}{E_{1ij}} + \frac{1}{E_{2ij}} \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_{2ij}}\right) \right) \right) \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_{1ij}}\right) \right) \left(\frac{a - n\ell_x}{a} \right)_{ij}, \quad (2)$$

где $\tau = \eta/E$ – время запаздывания, характеризующее ползучесть материала, то есть внутренние касательные силы трения или

Согласно предложенной модели полотно будет упруговязким, испытывающим упругие деформации от сил сжатия-растяжения R_{ij} , с нормальным напряжением $\sigma_{xy} = E\varepsilon_{xy}$, в модели они имитируются пружинами с модулем упругости E_1 и E_2 , и частично необратимые касательные деформации сдвига, определяемые силами трения T_{ij} с касательным напряжением $\tau_{xy} = \eta \frac{d\varepsilon}{dt}$, зависящими от времени деформации t . В модели они имитируются гидроцилиндрами и ползунами с показателем вязкости (трения) η . При многоосном нагружении результирующая сила повернет или перекосит элемент на угол θ относительно координатных осей XU , поэтому необходимо ввести оси ортотропии элемента xu . Тогда упруговязкое состояние полотна в соответствии с законом Гука можно записать в векторно-матричном виде [4]:

$$\{\varepsilon\} = [D]\{\sigma, \tau\},$$

или

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{xx} & D_{yx} \\ D_{xy} & D_{yy} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_x, \tau_x \\ \sigma_y, \tau_y \end{Bmatrix}, \quad (1)$$

где $\{\varepsilon\}$ – относительные деформации полотна; $[D]$ – матрица податливости; $\{\sigma\}$ – нормальная компонента напряжения; $\{\tau\}$ – касательная компонента напряжения.

Используя известные деформационные свойства механической модели [2], для рассматриваемого случая (рис. 1) в проекции на ось x можно записать:

вязкость; a – геометрический размер петли трикотажа, n – количество ластика ($n = 2$ двуластик, $n = 3$ триластик и т.д.).

Выражение

$$D = \left(\frac{1}{E_{1ij}} + \frac{1}{E_{2ij}} \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_{2ij}}\right) \right) \right) \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_{1ij}}\right) \right) \left(\frac{a - n\ell_x}{a} \right)_{ij} \quad (3)$$

характеризует податливость материала.
 Расчет деформации по матрице (1) для структурированного материала довольно трудоемок. Упрощая задачу и рассматривая случай одноосного растяжения с по-

стоянной скоростью, используя выводы работы [2] для выбранной нами механической модели, можно записать уравнение деформации с учетом процессов релаксации вязкоупругого тела в следующем виде:

$$\sigma_{ii} = \varepsilon_{ii} \frac{E_1 - (E_2 - E_1)(1 - q^{-n})\phi_{k-1} - \ln q \sum_k^n (E_{2k} - E_{1k})(1 - q^{k-n-1}) \bar{\tau}_k}{\left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_{1ij}}\right) \right) \left(\frac{a - n\ell_x}{a} \right)_{ij}}, \quad (4)$$

где σ_{ii} – растягивающее напряжение i -го элемента в конечный момент времени t ; q – знаменатель геометрической прогрессии, $q = 3/4$; k – число шагов дискретизации при расчете кривой удлинения, $k = 1 \dots n$; $n = 8$; ϕ – нормированная релаксационная функция; ℓ_x – относительное смещение нитей разных систем в петлях, $\ell_x = 0,3$ мм; $\bar{\tau}_k$ – нормированное нелинейно-наследственное ядро релаксации, полученное дифференцированием функции

где A – величина, определяющая структурную характеристику материала:

$$A = \left(\ln \frac{E_1 - E_t}{E_t - E_2} \right) \left(\ln \frac{t}{\tau} \right)^{-1}. \quad (6)$$

Тогда

$$\bar{\tau}_k = \frac{\partial \phi}{\partial \ln \frac{t}{t_1}} = A \left[2 + \left(\frac{t}{\tau} \right)^{-A} + \left(\frac{t}{\tau} \right)^{+A} \right]^{-1}, \quad (7)$$

где E_1 и E_2 – начальный и конечный модуль упругости соответственно.

$$\phi(t) = 1 + \exp\left(-A \ln \frac{t}{\tau}\right)^{-1} = \left[1 + \left(\frac{t}{\tau} \right)^{-A} \right]^{-1}, \quad (5)$$

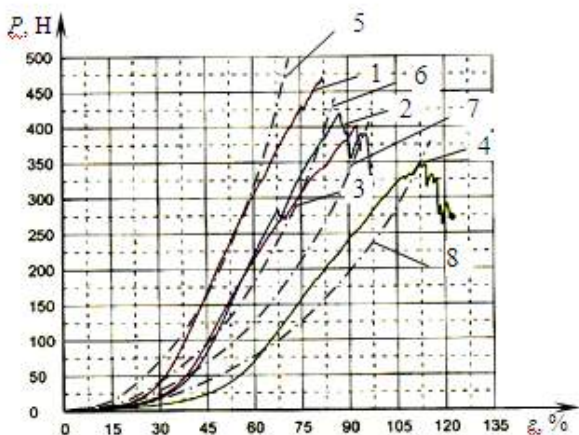


Рис. 2

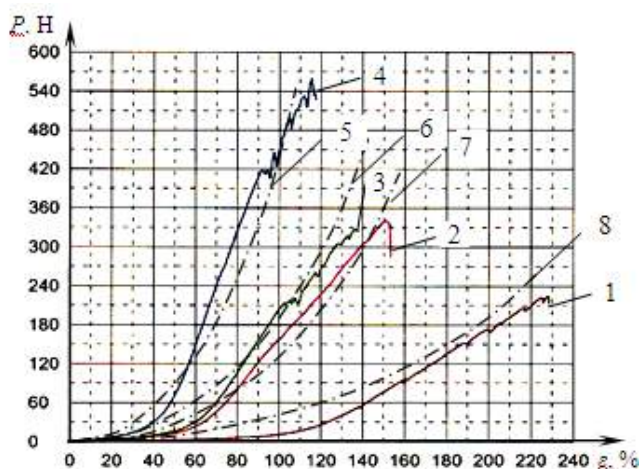


Рис. 3

Начальный модуль упругости определяется по кривой растяжения базового ластика (рис. 2 и 3, кривая 1) в упругой ее части по формуле $E = P/\epsilon F$, конечный модуль определялся при максимальном растяжении. Кривые удлинения, полученные расчетным методом для трикотажа многоластичных переплетений показаны на рис. 2 и 3 (рис. 2 – изменение разрывной нагрузки и удлинения по длине полотна в зависимости от количества ластика, экспериментальные кривые: 1 – двуластик, 2 – триластик, 3 – четырехластик, 4 – пятиластик, расчетные кривые: 5 – двуластик, 6 – триластик, 7 – четырехластик, 8 – пятиластик; рис. 3 – изменение разрывной нагрузки и удлинения по ширине полотна в зависимости от количества ластика, экспериментальные кривые: 1 – двуластик, 2 – триластик, 3 – четырехластик, 4 – пятиластик, расчетные кривые: 5 – двуластик, 6 – триластик, 7 – четырехластик, 8 – пятиластик).

Выработанные из ПАН пряжи линейной плотности 62 текс образцы многоластичного переплетения (табл. 1 – параметры и физико-механические свойства трикотажа) испытывались на

физико-механические свойства по стандартной методике (ГОСТ 8847–85). Из полученных экспериментально разрывных диаграмм (рис. 2) видно, что разрывная нагрузка вдоль полотна максимальна у образцов 1 варианта (базовое переплетение двуластик) при минимальном удлинении. При увеличении числа ластиков разрывное удлинение растет за счет взаимного смещения ячеек разных систем нитей, при одновременном уменьшении прочности, что объясняется снижением плотности петель по вертикали и доказывает наши рассуждения по структурной механике этих полотен. Исходя из условий эксплуатации изделий, наибольшее практическое значение имеет растяжимость трикотажа по ширине. Разрывные диаграммы, полученные при растяжении поперек полотна (рис. 3), показывают, что при увеличении числа ластиков прочность увеличивается, а разрывное удлинение уменьшается за счет увеличения плотности петель и снижения за счет этого протяженности взаимного смещения ячеек разных систем нитей.

Таблица 1

№ варианта	Петельный шаг а, мм	Высота петельного ряда b, мм	Плотность, пт/дм		Поверхностная плотность m, г/м ²	Толщина М, мм	Разрывная нагрузка Р, Н		Разрывное напряжение, МПа		Разрывное удлинение ε, %		Модуль упругости, МПа			
							по длине	по ширине	по длине	по ширине	по длине	по ширине	начальный, E ₁ (ε=5%)		конечный, E ₂	
			по длине	по ширине									по длине	по ширине	по длине	по ширине
1	1,8	1,8	27,7	27,7	319,6	1,1	469	224	78,0	40,8	82	228	6,5	2,5	95	18
2	1,8	1,8	27,7	27,7	36706	1,4	419	327	36,4	34,4	87	150	6,5	3,0	42	23
3	1,6	2	31,2	25	390,8	1,9	346	341	36,4	48,8	92	140	6,5	4,0	39	35
4	1,6	2	31,2	25	438,4	2,3	402	559	57,4	48,6	112	115	6,5	5,5	51	42

ВЫВОДЫ

Кривые, полученные расчетным методом по формулам (4...7) достаточно близко совпадают с экспериментальными данными, что позволяет предложить рассмотренную методику для

прогнозирования механических свойств многоластичных полотен.

Самым формоустойчивым и менее растяжимым является образец 4-го варианта с пятиластичным переплетением. Данная структура за счет уменьшения объемной плотности позволяет снизить расход сырья

без потерь прочностных показателей по сравнению с полотнами аналогичной толщины.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кобляков А.И.* Структура и механические свойства трикотажа. – М.: Легкая индустрия, 1973.

2. *Сталевич А.М.* Деформирование ориентированных полимеров: Монография. – СПб.: СПГУТД, 2002.

3. *Байкова Г.В., Чистобородов Г.И., Байков А.П., Алешина Д.А., Натертышев И.Ю.* Анизотропия структуры и свойств ниточных наполнителей композитов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, № 7. С. 80...84.

Рекомендована кафедрой механической технологии волокнистых материалов. Поступила 05.06.13.
