

УДК 677.017

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССА ВЫТЯГИВАНИЯ
ШТАПЕЛЬНОЙ ПОЛИЭФИРНОЙ ПРЯЖИ НА ЕЕ СВОЙСТВА**

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF POLYESTER STAPLE YARN STRETCHING
ON ITS PROPERTIES**

Е.В. ПОЛЯКОВА, В.Е. РОМАНОВ, С.В. ЧЕЛЫШЕВ, А.М. ЧЕЛЫШЕВ, В.И. КУДРЯШОВА
E.V. POLYAKOVA, V.E. ROMANOV, S.V. CHELYSHEV, A.M. CHELYSHEV, V.I. KUDRYASHOVA

(Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна)
(St. Petersburg State University of Technology and Design)

E-mail: ekol@mail.ru

В работе проведено исследование процесса вытягивания пряжи на стадии трощения до придания складываемым и вытягиваемым стренгам окончательной крутки. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований физико-механических свойств полиэфирной штапельной пряжи, подвергаемой вытягиванию на модернизированной крутильной машине К-176-2.

In this paper we consider the process of yarn stretching at throwing stage before the composed and stretched strands are exposed to final twisting. The results of theoretical and experimental studies of biomechanical properties of polyester staple fiber yarn stretched on modernized twister K-176-2 are presented.

Ключевые слова: пряжа, вытягивание, натяжение, деформации, разрывная нагрузка, разрывное удлинение.

Keywords: yarn, stretching, strain, deformation, breaking strength, breaking extension.

Нагрузки, испытываемые швейными нитками в процессе пошива на современных высокоскоростных швейных машинах, изменяются в достаточно широких диапазонах, верхние пределы которых могут достигать 350 сН. Скорости изменения нагрузок весьма велики: многие техноло-

гические режимы предполагают почти скачкообразное изменение нагрузок. При каждом стежке челночной строчки швейная нитка в течение 0,001 секунды из состояния покоя ускоряется до скорости 150 км/ч и опять тормозится. На рис. 1 представлена типичная осциллограмма

натяжения игольных нитей, которые они испытывают в процессе пошива.

При таких нагрузках и высоких скоростях пошива температура нагрева иглы достигает 400°C и выше в зависимости от скорости пошива, плотности и количества сшиваемых слоев материала.

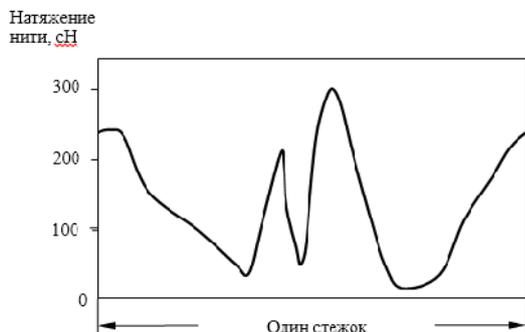


Рис. 1

При указанном характере воздействий на нитку она должна обладать не только прочностью, но и стабильными упругорелаксационными свойствами, обеспечивающими необходимые упругие удлинения для гашения пиковых нагрузок. Поэтому разрывное удлинение ниток является одной из важнейших характеристик их физико-механических свойств. От величины и постоянства разрывных удлинений зависит качество шва и обрывность ниток при пошиве, производительность швейного оборудования и швейного производства в целом. Снижение разрывного удлинения ниток на 5...10% по данным Центрального научно-исследовательского института швейной промышленности приводит к увеличению длины безобрывного шва в 3...5 раз. Так, например, при снижении удлинения лавсановых ниток с 20 до 10% количество обрывов на 100 м строчки уменьшилось с 13 до 4 [1]. Подобная зависимость была установлена и при пошиве капроновыми нитками [2] (рис. 2 – зависимость длины безобрывного шва от величины разрывного удлинения).

В работах [3...8] приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований изменения свойств швейных ниток под воздействием механических нагрузок. Показано, что в результате вытягивания швейных ниток можно обеспечить

управляемое изменение величин разрывных нагрузок и удлинения.

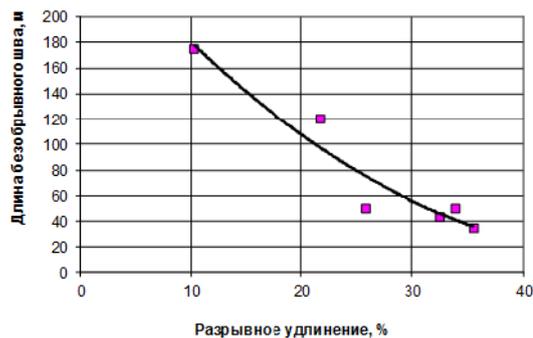


Рис. 2

Из экспериментальных данных, приведенных в работе [9], следует, что под воздействием механических нагрузок "...разрывное удлинение ниток 35ЛЛ снизилось на 3,5...6,0%, а равномерность нити по диаметру увеличилась более чем в 4 раза".

Аналогичные результаты получены при вытягивании армированных ниток 45ЛЛ, а именно: относительное разрывное удлинение ниток снижается на 15...30%, диаметр уменьшается на 7...10%, и более чем в 1,5 раза уменьшается отклонение диаметра нитки от среднего значения.

На основе результатов рассмотренных выше работ была сформулирована цель настоящего исследования, заключающаяся в изучении возможности упорядочения структуры и свойств пряжи еще на стадии трощения и кручения. В этом случае мы имеем дело с вытягиванием одиночной пряжи в процессе трощения до придания складываемым и вытягиваемым стренгам окончательной крутки.

Процессы трощения пряжи в 2-3 сложения, ее вытягивания и последующего окончательного кручения осуществлялись на модернизированной крутильной машине К-176-2. На рис. 3 приведена технологическая схема модернизированной машины К-176-2.

Пряжа с паковок 1 проходит через направляющие прутки 2, тормозные тарельчатые устройства 3, направляющие прутки 4, 5, попадает на питающий цилиндр 6 вытяжного прибора и подается в зону вытягивания между питающей парой

6, 7 и выпускной парой 8, 9, проходит через нитенаправитель 10 и далее подвергается кручению и намотке на катушку 11.

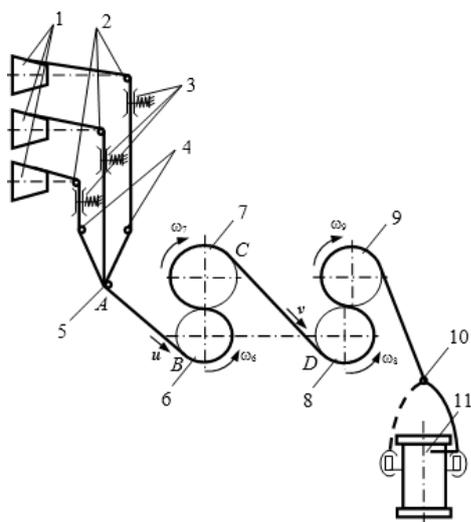


Рис. 3

Процесс вытягивания осуществляется в рабочей зоне между питающей и выпускной парами за счет создаваемой разницы скоростей u и v ($v > u$) пряжи, поступающей на цилиндры 6 и 8 соответственно. Для изучения процесса вытягивания будем использовать имитационную модель [4], достаточно полно отражающую реологические свойства пряжи, определяемые ее внутренними волокнистыми структурами.

Механическая модель, имитирующая свойства пряжи, состоит из двух элементов: упругого элемента, текущая длина которого обозначена через L_1 (в недеформированном состоянии эта длина равна L_{10}), и из упругопластического элемента, длина которого обозначена через L_2 (в недеформированном состоянии эта длина равна L_{20}). Упругопластическая часть состоит из параллельно соединенных упругой пружины и пластического элемента, представленного двумя пластинами, между которыми при их относительном сдвиге развивается сила трения $F_{тр}$.

На рис. 4 изображена механическая модель, имитирующая реологические свойства пряжи: на рис. 4-а – недеформированное состояние системы, а на рис. 4-б показана система, находящаяся под действием растягивающей силы T .

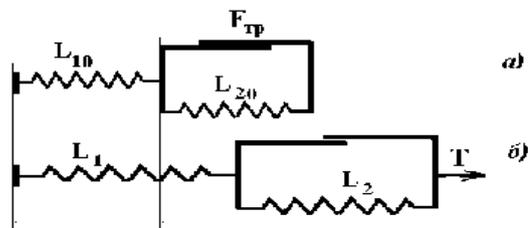


Рис. 4

Удлинение пряжи определяется равенством:

$$\Delta L = L_1 - L_{10} + L_2 - L_{20}. \quad (1)$$

Относительное удлинение пряжи ε представляется в виде:

$$\varepsilon = \frac{L_1 - L_{10}}{L_{10} + L_{20}} + \frac{L_2 - L_{20}}{L_{10} + L_{20}} = k_1 \varepsilon_1 + k_2 \varepsilon_2, \quad (2)$$

где

$$k_1 = \frac{L_{10}}{L_{10} + L_{20}}, \quad k_2 = \frac{L_{20}}{L_{10} + L_{20}}, \quad (3)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{L_1 - L_{10}}{L_{10}}, \quad \varepsilon_2 = \frac{L_2 - L_{20}}{L_{20}}.$$

Рассмотрим силу F , создаваемую тормозными тарельчатыми устройствами 3 и обеспечивающую отсутствие проскальзывания пряжи по поверхностям питающих цилиндров 6, 7. В процессе обработки пряжи величина силы F не должна превосходить силу $F_{тр}$, и, следовательно, эта сила не может вызвать деформацию пластического элемента модели. Таким образом, на участке АВ происходит деформация только первого (упругого) элемента механической модели. Последнее означает, что, вычисляя относительное удлинение пряжи на участке АВ, в формуле (2) следует положить $\varepsilon_2 = 0$. С учетом (2) и (3) относительное удлинение пряжи на участке АВ примет вид:

$$\varepsilon_{AB} = \frac{L_1^{AB} - L_{10}^{AB}}{L_{10}^{AB} + L_{20}^{AB}}. \quad (4)$$

Отметим, что углы охвата пряжей питающих цилиндров и масса прижимного цилиндра 7 подбираются таким образом, чтобы сила трения пряжи о цилиндры, вычисляемая по формуле Эйлера с использованием приведенного коэффициента трения, была достаточной для обеспечения отсутствия проскальзывания пряжи по поверхностям цилиндров.

На участке CD пряжа подвергается вытягиванию силой T , зависящей от соотношения скоростей u и v ($v > u$) пряжи, поступающей на цилиндры 6 и 8 соответственно. Разность $v - u$ должна быть подобрана таким образом, чтобы увеличивалась также и пластическая составляющая деформации пряжи. При этом, согласно (3), относительное удлинение пряжи на участке CD определяется равенством:

$$\varepsilon_{CD} = \frac{L_1^{CD} + L_2^{CD}}{L_{10}^{CD} + L_{20}^{CD}} - 1. \quad (5)$$

Линейные плотности пряжи на участках АВ и CD представляются выражениями:

$$\rho_{AB} = \frac{\rho_0}{1 + \varepsilon_{AB}}, \quad \rho_{CD} = \frac{\rho_0}{1 + \varepsilon_{CD}} \quad (6)$$

соответственно, где ρ_0 – линейная плотность нерастянутой пряжи.

На основе (4) ... (6) получим:

$$\rho_{AB} = \rho_0 \frac{L_{10}^{AB} + L_{20}^{AB}}{L_1^{AB} + L_2^{AB}}, \quad \rho_{CD} = \rho_0 \frac{L_{10}^{CD} + L_{20}^{CD}}{L_1^{CD} + L_2^{CD}}. \quad (7)$$

В дальнейших преобразованиях принимается, что

$$L_{10}^{AB} + L_{20}^{AB} = L_{10}^{CD} + L_{20}^{CD}. \quad (8)$$

Поскольку $v > u$ и натяжение пряжи в рабочей зоне вытягивания поддерживается постоянным, можно принять, что выполняется равенство

$$\rho_{AB} u = \rho_{CD} v. \quad (9)$$

Учитывая (7)...(9), будем иметь:

$$u = v \frac{\rho_{CD}}{\rho_{AB}} = v \frac{L_1^{AB} + L_{20}^{AB}}{L_1^{CD} + L_2^{CD}}. \quad (10)$$

На участке АВ деформируется только упругий элемент модели, поэтому можем записать:

$$F = E_1 \varepsilon_1^{AB} = E_1 \frac{L_1^{AB} - L_{10}^{AB}}{L_{10}^{AB}}, \quad (11)$$

где ε_1^{AB} – относительное удлинение первого элемента механической модели на участке АВ, а E_1 – модуль упругости этого элемента. Отметим, что, в отличие от ε_1^{AB} , ε_{AB} является относительным удлинением пряжи на участке АВ.

Для участка CD, при условии, что оба элемента имитационной модели испытывают деформации, получим:

$$\begin{aligned} T &= \varepsilon_1^{CD} E_1 = \frac{L_1^{CD} - L_{10}^{CD}}{L_{10}^{CD}} E_1, \\ T - F_{tp} &= \varepsilon_2^{CD} E_2 = \frac{L_2^{CD} - L_{20}^{CD}}{L_{20}^{CD}} E_2, \end{aligned} \quad (12)$$

где E_2 – модуль упругости второго элемента модели, состоящего из упругого и пластического компонентов. Далее находим:

$$\begin{aligned} L_1^{CD} &= \frac{L_{10}^{CD} (T + E_1)}{E_1}, \\ L_2^{CD} &= \frac{L_{20}^{CD} (T - F_{tp} + E_2)}{E_2}. \end{aligned} \quad (13)$$

Выражение (10) с учетом (13) переписывается в виде:

$$u = v \frac{L_{10}^{AB} \frac{F}{E_1} + L_{10}^{AB} + L_{20}^{AB}}{L_{10}^{CD} \frac{T}{E_1} + L_{20}^{CD} \frac{T - F_{tp}}{E_2} + L_{10}^{CD} + L_{20}^{CD}}. \quad (14)$$

Рассматривая установившееся движение приемной пары 6, 7, получим соотно-

$$u = \frac{v}{1 + \left(k \frac{E_1}{E_2} \left(F - \frac{M}{R_6} - F_{тр} \right) - \frac{M}{R_6} \right) / (F + E_1(1+k))}, \quad (15)$$

где $k = \frac{L_{20}^{AB}}{L_{10}^{AB}} = \frac{L_{20}^{CD}}{L_{10}^{CD}}$; $M = M_6^{вр} - M_6^{сопр} - M_7^{сопр} \frac{R_6}{R_7}$; $M_6^{вр}$ – вращающий момент, приложенный к цилиндру 6; $M_6^{сопр}, M_7^{сопр}$ – моменты сопротивления, действующие на

шение:

цилиндры 6 и 7; R_6, R_7 – радиусы цилиндров 6 и 7 соответственно.

Формула (15) позволяет выявлять качественное влияние различных параметров модели на соотношение между скоростями u и v .

Преобразуем уравнение (14), записав его в виде:

$$e = \frac{v}{u} = 1 + \frac{1 + kE_1/E_2}{F + E_1(1+k)} T - \frac{F + kF_{тр}E_1/E_2}{F + E_1(1+k)}. \quad (16)$$

Задавая конкретными значениями параметров модели $E_1, E_2, k, F_{тр}$, можно получить зависимость утонения пряжи e от натяжений F и T . Калибровка модели для конкретного типа пряжи с учетом указанных

выше естественных ограничений дает возможность построения и последующего анализа поверхности отклика (рис. 5 – график типичной поверхности отклика $e(F, T)$).

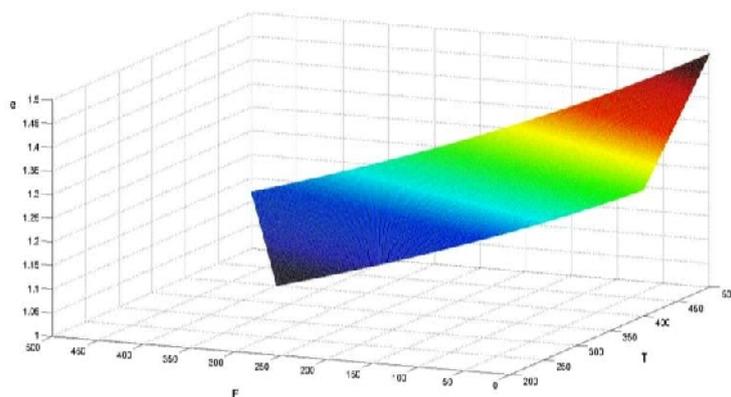


Рис. 5

В табл. 1 приведены экспериментальные данные, характеризующие изменение физико-механических свойств полиэфир-

ной штапельной пряжи (ПЭШ) в результате вытягивания на тростильно-крутильной машине К-176-2.

Таблица 1

Структура пряжи	T_n , текс	P , сН	CV_P , %	P_0 , сН/текс	ϵ , %	CV_ϵ , %
$(T_n \times 1)$	45,6	1219,0	15,8	26,72	9,72	8,37
$(T_n \times 2)$	95,4	3103,0	10,8	32,53	11,53	7,83
$(T_n \times 2) \times e_2$	92,6	3148,0	9,51	33,99	10,78	8,63
$\pm \Delta$, %	-2,94	1,45	-11,0	4,49	-6,5	10,2
$(T_n \times 3)$	142,6	5078,0	7,7	35,61	11,82	9,94
$(T_n \times 3) \times e_3$	140,9	5072,0	8,14	36,00	10,90	10,59
$\pm \Delta$, %	-1,19	-0,12	5,7	1,1	-7,78	6,53

В табл. 1 приняты следующие условные обозначения: $(T_n \times 1)$, $(T_n \times 2)$, $(T_n \times 3)$ – одиночная пряжа, пряжа в два и три сложения, соответственно, до вытягивания; $(T_n \times 2) \times e_2$, $(T_n \times 3) \times e_3$ – вытянутая пряжа в два и три сложения, соответственно; $\pm \Delta$ – изменение показателей свойств пряжи до и после вытягивания; P – разрывная нагрузка; CV_P – коэффициент вариации разрывной нагрузки; P_0 – относительная разрывная нагрузка; ε – относительное разрывное удлинение; CV_ε – коэффициент вариации относительного разрывного удлинения.

Из анализа данных, представленных в табл. 1, следует, что в результате вытягивания страчиваемых стренг наблюдается утонение пряжи в пределах 1,2...3,0% при увеличении относительной разрывной нагрузки на 1,1...4,5% и снижении относительного разрывного удлинения на 6,5...7,8%. Полученные результаты подтверждают адекватность принятой имитационной модели строения пряжи и поведения волокон в процессе вытягивания.

Большее утонение и упрочнение пряжи наблюдается при вытягивании двух стренг. Незначительное утонение трех стренг можно объяснить недостаточной величиной усилия вытягивания, создаваемого выпускной парой. При этом из-за неконтролируемого смещения стренг относительно друг друга наблюдается и некоторый рост CV_P .

ВЫВОДЫ

1. Предложен метод и устройство для упорядочения структуры и свойств пряжи на стадии трощения.

2. Проведено имитационное моделирование процессов вытягивания пряжи, получены аналитические зависимости, позволяющие оценить влияние реологиче-

ских свойств пряжи и параметров устройства на утонение пряжи при вытягивании.

3. Приведены результаты экспериментального исследования процесса вытягивания пряжи и дана оценка его эффективности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федоровская В.С., Филатов Н.С. Влияние разрывного удлинения на свойства ниток // Швейная промышленность. – 1975, № 3. С. 16...21.
2. Березина О.Я. Зависимость обрывности швейных ниток из лавсана при шитье от их основных свойств. Отчет по НИР. – 1979.
3. Каневский А.С., Чайкин В.А., Чельшев А.М., Чельшев С.В., Энтин В.Я. К задаче механической обработки ниток с целью оптимизации их упруго-релаксационных свойств // Швейная промышленность. – 2007, № 6. С. 33...34.
4. Энтин В.Я., Чайкин В.А., Чельшев С.В. К задаче автоматического регулирования процесса выравнивания свойств нитей // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2008, № 1. С. 35...39.
5. Энтин В.Я., Каневский А.С., Дятлова П.А., Чельшев С.В. Улучшение свойств швейных ниток на основе их механической обработки // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008, № 5. С. 24...26.
6. Чельшев А.М., Каневский А.С., Энтин В.Я., Чайкин В.А., Чельшев С.В. Силовое решение проблемы качества швейных ниток // Швейная промышленность. – 2009, № 3. С. 50...51.
7. Чельшев А.М., Каневский А.С., Энтин В.Я., Чайкин В.А., Чельшев С.В., Лутов В.А. Модификация деформационных свойств нитей с учетом прогнозируемых условий их эксплуатации // Швейная промышленность. – 2010, № 1. С. 42...43.
8. Энтин В.Я., Чельшев С.В., Каневский М.А. Система регулирования натяжения нити при намотке на бобину // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2011, № 1. Т.1. С. 61...66.
9. Чельшев С.В. Разработка и исследование механизма вытягивания армированных швейных ниток с целью стабилизации упруго-релаксационных свойств. Дис.... кан. техн. наук. – СПб: СПГУТД, 2011.

Рекомендована кафедрой технологии и проектирования текстильных изделий. Поступила 26.05.15.