

УДК 677.017

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
ПОЛИЭФИРНЫХ НИТЕЙ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТЕПЕНИ КРУТКИ**

А.В. ДЕМИДОВ, А.Г. МАКАРОВ, А.М. СТАЛЕВИЧ, Л.Н. ПЕТРОВА, А.М. ЧЕЛЫШЕВ

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна,
ОАО "Советская Звезда")

При производстве швейных нитей крутка является одной из составляющих технологической цепочки, на которую уходит значительная часть времени. Целью крутки является получение нитей с определенными деформационными свойствами. Качество швейных нитей существенно зависит от механических свойств в зоне действия неразрушающих деформаций и нагрузки [1].

В ходе исследования была поставлена задача целенаправленного отбора образцов из нескольких вариантов швейных нитей, производимых прядильно-ниточным комбинатом ОАО "Советская Звез-

да", обладающих определенными деформационными свойствами, с учетом уменьшения временных затрат на их производство. Указанные варианты швейных нитей, отличающиеся между собой степенью крутки, представляют текстильные материалы сложного строения, так как, в свою очередь, изготовлены скручиванием в два сложения армированной полиэфирной пряжи также различной степени крутки (табл.1 – технические характеристики нитей – ОАО "Советская Звезда"). Пряжа состоит из сердечника – комплексной полиэфирной нити, занимающей 70...80% объема, и оплетки – скрученной ленты.

Таблица 1

№ п/п	Линейная плотность, текс	Разрывная деформация, %	Разрывное напряжение, МПа	Крутка нитей S, кр/м	Крутка пряжи Z, кр/м	Суммарная крутка S+2Z, кр/м
ШН-1	44	22	627	576	909	2394
ШН-2	63	23	629	530	902	2334
ШН-3	75	24	638	546	920	2386
ШН-4	53	21	596	579	635	1849
ШН-5	70	22	617	575	625	1825
ШН-6	83	22	611	575	629	1833
ШН-7	49	20	585	558	734	2026
ШН-8	67	22	617	549	731	2011
ШН-9	78	23	636	545	725	1995

По степени крутки представленные образцы швейных нитей можно условно разделить на три группы. К первой группе отнесем образцы ШН-1, ШН-2, ШН-3, имеющие наибольшую суммарную крутку (сумма крутки нитей и удвоенной крутки пряжи) – от 2334 до 2394 кр/м. Ко второй группе отнесем образцы ШН-4, ШН-5,

ШН-6 с наименьшей суммарной круткой – от 1825 до 1849 кр/м. К третьей группе – оставшиеся образцы ШН-7, ШН-8, ШН-9 со средней суммарной степенью крутки от 1995 до 2026 кр/м.

Очевидно, что наименьшее время уходит на производство швейных нитей второй группы, так как они обладают наи-

меньшей степенью крутки. Однако перед тем как дать рекомендации на преимущественное производство той или иной группы нитей, необходимо детальное исследование их деформационных свойств.

Исследования деформационных свойств швейных нитей проводились по методике определения характеристик ре-

$$E_{\varepsilon t} = E_0 - (E_0 - E_\infty)\varphi_{\varepsilon t},$$

$$D_{\sigma t} = D_0 + (D_\infty - D_0)\varphi_{\sigma t},$$

где t – время; $\frac{1}{b_{\text{не}}}$ – параметр интенсивности процесса релаксации; $\frac{1}{b_{\text{нс}}}$ – параметр интенсивности процесса ползучести; τ_ε – время релаксации; τ_σ – время запаздывания; $E_{\varepsilon t} = \frac{\sigma}{\varepsilon}$ – модуль релаксации; E_0 – модуль упругости; E_∞ – модуль вязкоупругости; $D_{\sigma t} = \frac{\varepsilon}{\sigma}$ – податливость; D_0 – начальная податливость; D_∞ – предельная равновесная податливость; ε – деформация; σ – напряжение.

лаксации и запаздывания текстильных материалов сложного строения [2] на основе математической модели с функцией релаксации и запаздывания в виде нормированного арктангенса логарифма приведенного времени, соответствующей логарифмическому распределению Коши:

$$\varphi_{\varepsilon t} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \left(\frac{1}{b_{\text{не}}} \ln \frac{t}{\tau_\varepsilon} \right), \quad (1)$$

$$\varphi_{\sigma t} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \left(\frac{1}{b_{\text{нс}}} \ln \frac{t}{\tau_\sigma} \right) \quad (2)$$

В результате получены основные характеристики релаксации и запаздывания (табл.2 – расчетные характеристики нитей (ОАО "Советская Звезда", $T = 20^\circ\text{C}$); рис.1 – среднестатистические времена релаксации τ_ε нитей ($T = 20^\circ\text{C}$), а – ШН-1, ШН-2, ШН-3, б – ШН-4, ШН-5, ШН-6, в – ШН-7, ШН-8, ШН-9; рис.2 – среднестатистические времена запаздывания τ_σ нитей ($T=20^\circ\text{C}$), а – ШН-1, ШН-2, ШН-3, б – ШН-4, ШН-5, ШН-6, в – ШН-7, ШН-8, ШН-9), позволяющие прогнозировать сложные деформационные процессы [3].

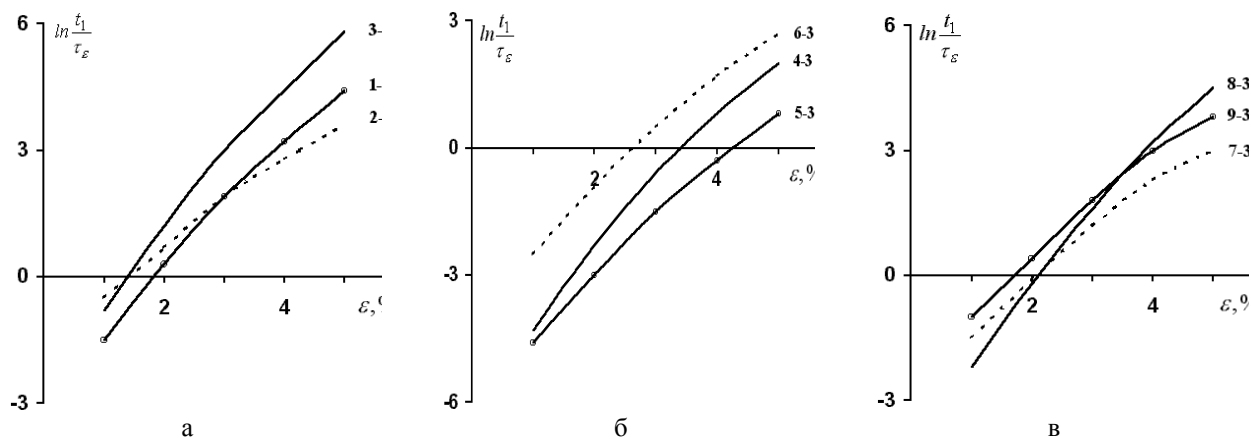


Рис. 1.

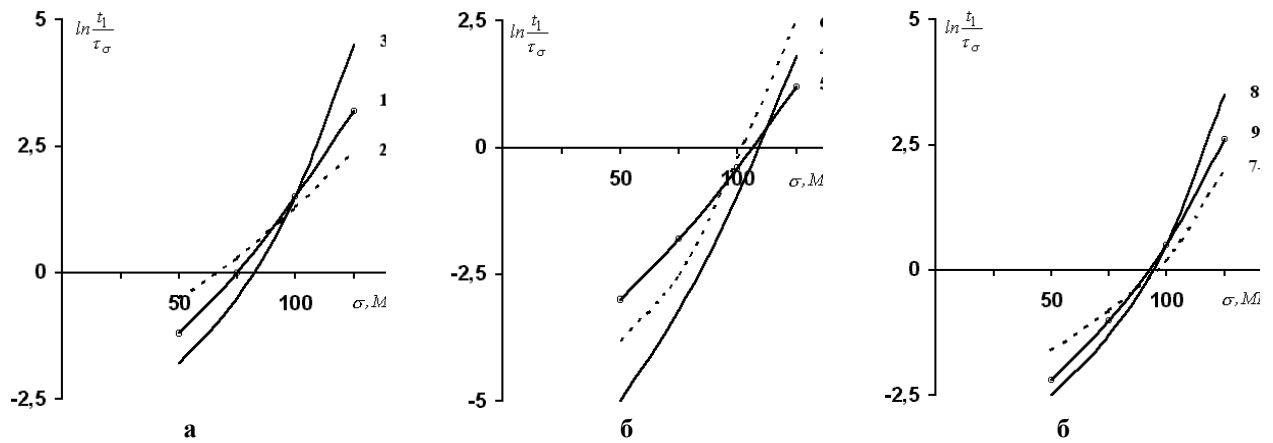


Рис. 2

Как видно из табл.2, с ростом суммарной крутки происходит уменьшение структурных параметров $b_{н\epsilon}$ и $b_{н\sigma}$ (рис.3 – зависимость структурных коэффициентов $b_{н\epsilon}$ (сплошная линия, * – расчет) и $b_{н\sigma}$ (пунктир, о – расчет)), характеризующих логарифм приведенного времени полуреаксации (половина процесса релаксации при деформации ϵ происходит в интервале времени $t \in [t', t'']$, где $\ln(t'/\tau_\epsilon) = -b_{н\epsilon}$, $\ln(t''/\tau_\epsilon) = b_{н\sigma}$) и полузапаздывания.

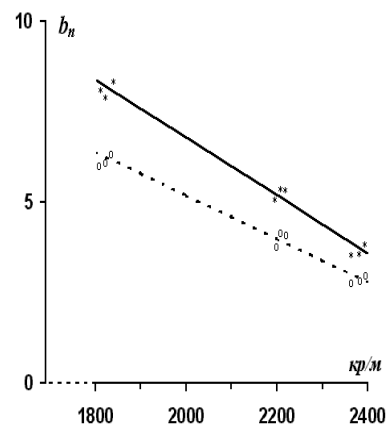


Рис. 3

Т а б л и ц а 2

№ п/п	$E_0, \text{ГПа}$	$E_\infty, \text{ГПа}$	ΔE	k_E	$1/b_{н\epsilon}$	$b_{н\epsilon}$	$D_0, \text{ГПа}^{-1}$	$D_\infty, \text{ГПа}^{-1}$	ΔD	k_D	$1/b_{н\sigma}$	$b_{н\sigma}$
ШН-1	5,15	1,45	3,70	0,72	0,259	3,86	0,194	0,688	0,494	0,72	0,335	2,99
ШН-2	6,14	0,86	5,28	0,86	0,287	3,48	0,163	1,163	1,000	0,86	0,390	2,56
ШН-3	4,07	0,83	3,24	0,80	0,276	3,62	0,246	1,204	0,958	0,80	0,347	2,88
ШН-4	5,74	0,74	5,00	0,87	0,117	8,55	0,174	1,352	1,178	0,87	0,158	6,33
ШН-5	6,71	0,93	5,78	0,86	0,124	8,06	0,149	1,071	0,922	0,86	0,166	6,02
ШН-6	6,52	1,10	5,42	0,83	0,134	7,46	0,153	0,908	0,755	0,83	0,161	6,21
ШН-7	4,25	1,11	3,14	0,74	0,174	5,75	0,235	0,903	0,668	0,74	0,221	4,52
ШН-8	5,94	0,87	5,07	0,85	0,170	5,88	0,169	1,155	0,986	0,85	0,216	4,63
ШН-9	3,04	0,94	2,10	0,69	0,195	5,13	0,329	1,065	0,736	0,69	0,284	3,52

Таким образом, с увеличением степени крутки происходит ускорение процессов релаксации и ползучести. Кроме того, наглядно видно (рис.1 и 2), что с ростом крутки функции среднестатистических времен релаксации и запаздывания сдвигаются в сторону малых деформаций и напряжений. Данное обстоятельство также говорит об ускорении указанных процессов.

С ростом суммарной крутки ширина диапазонов релаксации $\Delta E = E_0 - E_\infty$ и пол-

зучести $\Delta D = D_\infty - D_0$, а также значения коэффициента релаксации $k_E = \Delta E/E_0$, характеризующего способность материала релаксировать, и коэффициента ползучести $k_D = \Delta D/D_0$ (табл. 2) меняется незначительно.

Таким образом, видно, что по значениям релаксирующего модуля и податливости сделать вывод об ускорении или замедлении релаксационных процессов и процессов ползучести достаточно трудно. Решение поставленной задачи становится

возможным благодаря исследованию структурных коэффициентов $b_{не}$ и $b_{пс}$, а также функций среднестатистических времен релаксации и запаздывания.

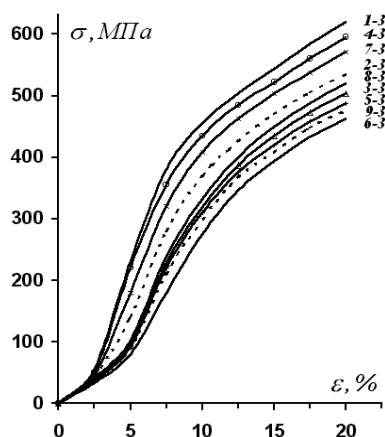


Рис. 4

Общепринятым и наиболее доступным средством измерения деформационных свойств текстильных материалов являются диаграммы растяжения (рис.4 – диаграмма растяжения швейных нитей, $T = 20^{\circ}\text{C}$; скорость деформирования $\dot{\epsilon} = 0,083 \text{ c}^{-1}$). Однако в исследуемом случае диаграммы, соответствующие разным образцам нитей, достаточно близки друг к другу и не дают ответ на вопрос о влиянии крутки на деформационные свойства нитей.

В силу сказанного, усиливается роль методик прогнозирования деформированных состояний текстильных материалов сложной структуры, основанных на при-

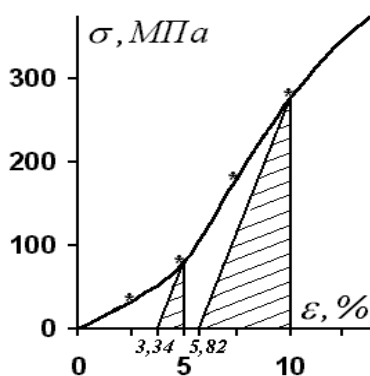


Рис. 5

На основе прогнозирования процесса растяжения швейных нитей по уравнению (3) разработаны методики разделения ме-

менения математической модели (1), (2).

Нити, используемые в швейном производстве, должны обладать достаточной степенью прочности и хорошей растяжимостью. Отсюда следует, что чем быстрее проходят процессы релаксации и ползучести, тем при шитье образуется меньше складок, а строчка будет менее заметной, что, несомненно, сказывается на внешнем виде готового изделия.

Таким образом, увеличивая степень крутки, мы улучшаем товарный вид швейного изделия. Однако в тех случаях, когда товарный вид изделия не играет большой роли, например, в швейных изделиях технического назначения, можно обойтись малой степенью крутки.

Прогнозирование деформационных процессов швейных нитей и пряжи ведется с учетом вязкоупругих характеристик, определенных выше, как численное решение интегрального уравнения Больцмана-Вольтерра [4]:

$$\sigma_t = E_0 \epsilon_t - (E_0 - E_\infty) \int_0^t \epsilon_\theta \varphi'_{\epsilon; t-\theta} d\theta \quad (3)$$

– для процесса нелинейно-наследственной релаксации и

$$\epsilon_t = D_0 \sigma_t + (D_\infty - D_0) \int_0^t \sigma_\theta \varphi'_{\sigma; t-\theta} d\theta \quad (4)$$

– для процесса нелинейно-наследственной ползучести. (4)

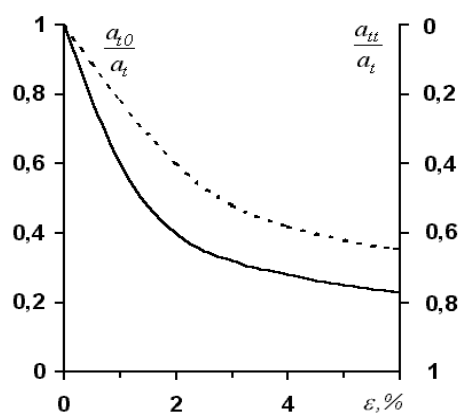


Рис. 6

ханической работы деформирования на упругую и поглощаемую компоненты, а также соответствующей ей деформации –

на упруго-обратимую и вязкоупруго-пластическую компоненты (рис. 5 – разложение полной деформации ε_t нити ШН-3, $T = 20^\circ\text{C}$, по процессу равномерного растяжения со скоростью $\dot{\varepsilon} = 0,083 \text{ c}^{-1}$ на упругую ε_{t0} и вязкоупруго-пластическую $\varepsilon_{tt} = \varepsilon_t - \varepsilon_{t0}$ компоненты (* – расчетные точки); рис.6 – относительные доли упругой a_{t0}/a_t и поглощаемой компоненты a_{tt}/a_t механической работы деформирования нитей, ШН-6 (сплошная линия) и ШН-1 (пунктир), $T = 20^\circ\text{C}$ для скорости деформирования $\dot{\varepsilon} = 0,083 \text{ c}^{-1}$) [5].

Выделение упругой компоненты механической работы деформирования важно при целенаправленном технологическом отборе образцов швейных нитей для получения швейного изделия, обладающего определенными эксплуатационными свойствами, например, способностью к упруго-эластическому восстановлению, защитной способностью гасить ударно-механические воздействия и т.д.

Как видно из рис. 6, для малых значений деформации ($\varepsilon < 1,5\%$ – для нити ШН-6 и $\varepsilon < 2,5\%$ – для нити ШН-1) преобладает относительная доля упругой компоненты механической работы, что означает наилучшую способность нити к восстановлению своей формы. У швейной нити варианта ШН-1, имеющей большую степень крутки, чем у нити ШН-6, диапазон преобладания упругой деформации над рассеивающейся деформацией более широкий, что также важно учитывать при целенаправленном отборе образцов швейных нитей.

ВЫВОДЫ

1. Методики решения задач нелинейно-наследственной вязкоупругости, разработанные для текстильных материалов сложного строения, применены к швейным нитям с целью определения характеристик релаксации и ползучести.

2. По полученным характеристикам релаксации и ползучести установлено, что нити вариантов ШН-3, ШН-4, ШН-5 – с

наименьшей суммарной круткой – наиболее экономичны с точки зрения затрат времени на их изготовление. Эти нити могут использоваться в изделиях технического назначения. Нити с наибольшей суммарной круткой (варианты ШН-1, ШН-2, ШН-3) обладают по сравнению с нитями других вариантов наилучшей способностью к релаксации и восстановлению – их можно рекомендовать для производства изделий, в которых товарный вид играет немаловажную роль.

3. Указанные методики позволяют решать технологические задачи целенаправленного отбора образцов швейных нитей по степени крутки, обладающих оптимальными деформационными свойствами.

4. Показана применимость методики выделения упругой компоненты механической работы деформирования расчетным прогнозированием процесса растяжения швейных нитей для решения технологической задачи по целенаправленному отбору образцов, обладающих заданными упруго-пластическими свойствами в области действия неразрушающих механических воздействий деформации и напряжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бузов Б.А., Модестова Т.А., Алыменкова Н.Д. Нити из химических волокон. Материаловедение швейного производства. – М.: Легпромбытиздат, 1986.
2. Сталевич А.М., Макаров А.Г. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2000, № 3. С.8...13.
3. Макаров А.Г. Разработка компьютерных технологий анализа свойств полимеров и прогнозирования деформационных процессов // Вестник СПГУТД. Вып.6. – СПб.: Изд-во СПГУТД, 2002. С.121...128.
4. Сталевич А.М. Уравнения нелинейной вязкоупругости высокоориентированных полимеров // Проблемы прочности. – 1981, № 12. С.95...98.
5. Сталевич А.М., Макаров А.Г., Саидов Е.Д. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2002, № 4-5. С.15...18.

Рекомендована кафедрой сопротивления материалов СПбГУТД. Поступила 03.02.06.