

УДК 677.3:677.017

## **ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ УВЛАЖНЕННОГО ШЕРСТЯНОГО ВОЛОКНА**

*Д.М. ДАРВИШ, Е.С. ЦОБКАЛЛО, АКСАКАЛ БАКИ, С.П. ФОШКИНА*

**(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна,  
Йылдызский Технический Университет, г. Стамбул, Турция)**

Технология шерстяного производства неразрывно связана с применением влажностной обработки на различных технологических этапах – от первичной обработки шерсти до процессов расшлихтовки и отделки [1], [2]. Изменения деформационных свойств шерстяного волокна, происходящие под действием влаги, несомненно, должны учитываться в процессе производства. Системного представления об особенностях деформационного поведения увлажненных шерстяных волокон и методик их корректной оценки не существует [3...12]. Вследствие этого проблема созда-

ния структурной модели, интерпретирующей механическое поведение волокон шерсти при растяжении, а также исследование влияния влаги на механические свойства шерстяного волокна являются актуальными и могут дать дополнительную информацию об участии тех или иных структурных элементов в процессе деформирования для создания обоснованной структурной модели.

Цель данной работы состояла в выявлении характерных особенностей механического поведения увлажненных моноволокон шерсти и интерпретации получен-

ных результатов с позиции изменения структуры.

Объектами исследования служили волокна овечьей шерсти, взятые из различных регионов Турции. Волокна полугрубой шерсти, имеющие среднее значение диаметра 50 мкм, в нашей работе условно обозначены №1,3,4. Мериносовая шерсть, средний диаметр которой составлял 30 мкм, обозначена №2.

Отбор проб осуществляли при помощи электронного микрометра: диаметр измеряли пошагово на протяжении всего волокна, полученные значения усредняли и отбирали волокна с близкими геометрическими характеристиками. Далее волокна увлажняли выдерживанием в воде при комнатной температуре в течение 1 ч.

Испытания механических свойств проводили на универсальной установке Instron 1122 в режиме активного нагружения при скорости движения зажимов 50 мм/мин. Структурные изменения, происходившие в волокне под действием влаги, изучали методом Фурье НПВО на инфракрасном спектрометре "Spectrum one" в диапазоне волновых чисел от 500 до 4000 см<sup>-1</sup>.

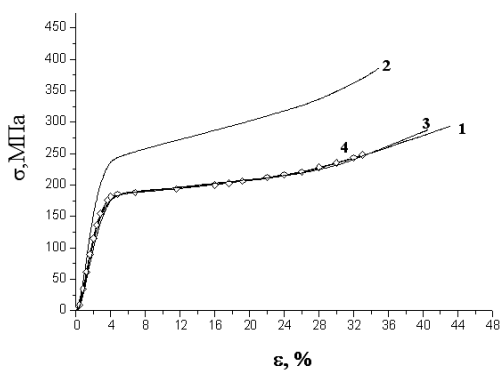


Рис. 1

На рис. 1 представлены диаграммы растяжения исходных шерстяных моноволокон, условно обозначенные №1...4. На всех кривых можно выделить три харак-

терные для шерстяного волокна области: зону "гуковой" деформации – в диапазоне  $0 \leq \epsilon \leq 4\%$ , зону "текучести" –  $4\% \leq \epsilon \leq 26-30\%$ , и третью зону –  $\epsilon \geq 30\%$ , соответствующую области "после текучести". Подобные характерные области на кривых растяжения волокон шерсти отмечены в ряде работ [13...16].

Диаграммы растяжения моноволокон шерсти после часового выдерживания в воде при комнатной температуре ( $T=20^\circ\text{C}$ ) имеют принципиально отличный характер (рис. 2). Под действием влаги наблюдается "слом" в области гуковой деформации, вследствие чего на кривой растяжения появляется особая "промежуточная" область в диапазоне  $2\% \leq \epsilon \leq 12-16\%$  удлинения. Зоны "текучести" и "после текучести" сохраняются, однако протяженность зоны "текучести" сокращается практически вдвое, а ее начало характеризуется значениями удлинения  $\epsilon = 12-16\%$ , что соответствует концу промежуточной области.

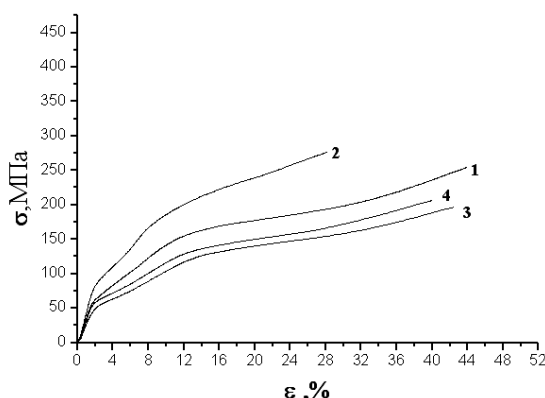


Рис. 2

Для оценки изменения механических свойств моноволокон шерсти после увлажнения были выбраны следующие характеристики: начальный модуль жесткости  $E_0$ , разрывное удлинение  $\epsilon_p$ , разрывное напряжение  $\sigma_p$  (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики	До увлажнения				После вымачивания в воде в течение 1 ч			
	№1	№2	№3	№4	№1	№2	№3	№4
Начальный модуль, $E_0$ (ГПа)	$7,0 \pm 0,3$	$9,5 \pm 0,3$	$6,2 \pm 0,3$	$6,7 \pm 0,3$	$4,7 \pm 0,3$	$5,3 \pm 0,3$	$3,5 \pm 0,3$	$4,1 \pm 0,3$
Разрывное удлинение, $\epsilon_p$ , %	$43 \pm 5$	$35 \pm 5$	$40 \pm 5$	$33 \pm 5$	$44 \pm 5$	$28 \pm 5$	$42 \pm 5$	$40 \pm 5$
Разрывное напряжение, $\sigma_p$ (МПа)	$295 \pm 5$	$386 \pm 5$	$287 \pm 5$	$248 \pm 5$	$255 \pm 5$	$277 \pm 5$	$198 \pm 5$	$207 \pm 5$

После вымачивания в воде для всех волокон наблюдается уменьшение на 35...40% значения начального модуля жесткости  $E_0$  и на 15...30% разрывного напряжения  $\sigma_r$ ; разрывное удлинение  $\varepsilon_r$  при этом изменяется незначительно. Следует отметить, что в ряде литературных источников указывается на существенное увеличение  $\varepsilon_r$  шерстяных волокон под действием влаги [3], что не подтверждается результатами наших исследований.

Наибольший интерес для увлажненных волокон представляет появление на кривой растяжения дополнительной "промежуточной" области, находящейся между зонами квазиупругих деформаций и зоной "текучести". Следует отметить, что ранее в литературных источниках не описывалось столь существенного влияния влаги на изменение формы кривых растяжения шерстяных волокон.

В процессе производства диапазон деформаций  $2\% \leq \varepsilon \leq 16\%$  является весьма характерным, поэтому корректная оценка деформационно-прочностных свойств увлажненных волокон шерсти в "промежуточной" области приобретает особое значение.

Для выявления характерных особенностей механического поведения увлажненных волокон использовали зависимости изменения тангенциального модуля жесткости от удлинения, полученные путем дифференцирования диаграмм растяжения, то есть как:

$$E_T(\varepsilon) = \frac{\partial \sigma(\varepsilon)}{\partial \varepsilon}. \quad (1)$$

На примере шерстяного волокна №3 показаны зависимости  $E_T(\varepsilon)$  для исходного волокна и волокна, прошедшего влажностную обработку (рис. 3 – исходное волокно (1), увлажненное в течение 1 ч (2)). Зависимость  $E_T(\varepsilon)$  для увлажненных волокон шерсти изменяется по более сложному закону по сравнению с исходным. В начале "промежуточной" области при  $\varepsilon \approx 2\%$  значение модуля жесткости составляет  $E_T \approx 0,6$  ГПа, что на порядок больше значения модуля в зоне "текучести" для исходных волокон.

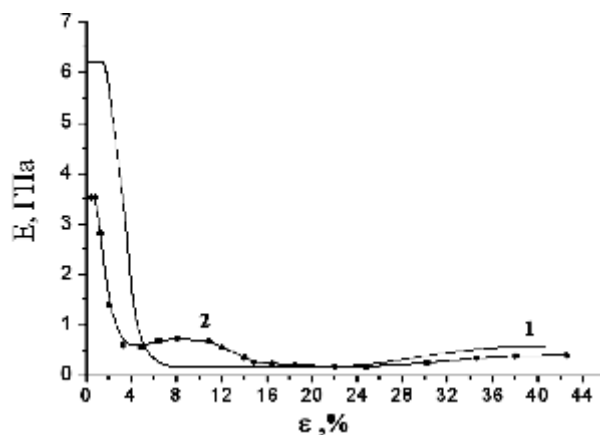


Рис. 3

Появление максимума текущего модуля со значением  $E_T \approx 0,8$  ГПа в области удлинения  $\varepsilon \approx 8-10\%$ , свидетельствует о комплексе структурных изменений, происходящих под действием влаги. Переход в зону "текучести" с характерным для нее значением модуля  $E_T \approx 0,15$  ГПа происходит лишь при  $\varepsilon \approx 16\%$ . Таким образом, шерстяное волокно после увлажнения приобретает большую жесткость на участке  $4\% \leq \varepsilon \leq 16\%$ .

Очевидно, что структурные изменения, происходящие под действием влаги, легко обратимы, то есть при высушивании волокна наблюдается полное возвращение к первоначальной форме кривой растяжения. Для шерстяного волокна к таким легко обратимым структурным изменениям относятся разрыв-образование водородных связей (в основном типа  $NH \cdots OC$ ) и  $\alpha$ - $\beta$ -переход полипептидных цепей фибриллярной структуры. Влага не действует на дисульфидные связи  $-S-S-$ .

Ниже мы предлагаем структурную интерпретацию изменения механических характеристик шерстяного волокна под действием влаги.

Набухание волокна в воде в большей степени происходит за счет проникновения молекул воды в межмикрофибрилярное пространство [4], [14]. Методом ИК-спектроскопии при анализе полосы поглощения с максимумом около  $3500 \text{ см}^{-1}$  нами было показано увеличение содержания свободной влаги в волокне, то есть увлажнение может сопровождаться как разрушением водородных и ионных связей в

системе микрофибриллы–матрица, так и пластифицирующим действием свободной влаги, что и приводит к общему снижению начального модуля жесткости  $E_0$ .

Колебание значений текущего модуля в "промежуточной" области свидетельствует о комплексе структурных процессов, происходящих под действием влаги. Молекулы воды способны оказывать двойственное действие: с одной стороны, они инициируют разрушение водородных связей на различных структурных уровнях, с другой – способствуют образованию новых по типу "полимер–вода–полимер".

Кристаллическая структура микрофибрилл шерстяного волокна в недеформированном состоянии становится доступной для проникновения влаги лишь при растя-

жении [4]. Разрушение определенного числа водородных связей на внешних участках микрофибрилл вызывает более ранний переход в следующую область деформирования, а постепенное проникновение влаги внутрь микрофибрилл, разрушение внутренних водородных связей и образование новых по типу "полимер–вода–полимер" обуславливает увеличение жесткости волокна в "промежуточной" области.

Методом ИК-спектроскопии показано увеличение числа сильных водородных связей (полоса поглощения  $3200\text{ см}^{-1}$ ) при увлажнении волокна. Структурные изменения, происходящие при растяжении шерстяного волокна под действием влаги, могут быть наглядно продемонстрированы на модели (рис. 4).

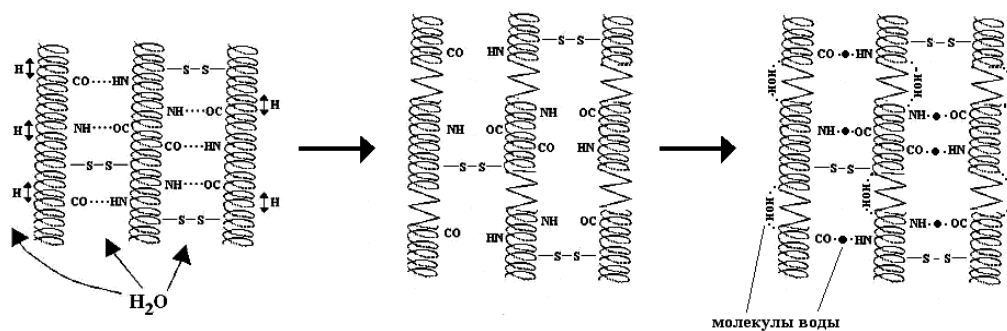


Рис. 4

Проведенные исследования показали, что деформационно-прочностные свойства шерстяных волокон изменяются под действием влаги следующим образом: наблюдается уменьшение начального модуля и разрывного напряжения, разрывное удлинение изменяется незначительно.

На диаграмме растяжения увлажненного шерстяного волокна появляется дополнительная "промежуточная" область, находящаяся между зонами квазиупругих деформаций и "текучести" в диапазоне  $2\% \leq \epsilon \leq 12-16\%$ . Следует отметить, что данная характерная особенность механического поведения увлажненных волокон шерсти ранее в литературе не отмечалась.

По изменению зависимости тангенциального модуля жесткости выявлено, что увлажненное шерстяное волокно проявляет более жесткие свойства по сравнению с

воздушно-сухим образцом на участке  $4\% \leq \epsilon \leq 16\%$ , что связано с последовательным разрушением водородных связей в фибриллярной структуре волокна под действием влаги и образованием новых по типу "полимер–вода–полимер".

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Купрашевич В.И.* // Общая технология шерстяного производства. – Легпромбытиздат, 1988.
2. *Рогачев Н.В.* Некоторые вопросы первичной обработки шерсти. – М.: Легкая индустрия, 1980.
3. *Александр П.А. и Хадсон Р.Ф.* // Физика и химия шерсти. – М., 1958.
4. *Feughelman M.* // Textile Research Journal. – V. XXIX (3), 1959. P. 223.
5. *Feughelman M.* // Journal of the Textile Institute. – V. 45(8), 1954.
6. *Chapman B.M.* // Journal of Textile Institute. – V. 64(6), 1973. P.312...327.
7. *Danilatos G., Feughelman M.* // Textile Research Journal. – V. 46, 1976. P.845...846.

8. *Danilatos G.D., Postle R.* // Journal of Macromolecular Science, Physics. – V.B19(1), 1981. P.153...165.

9. *Watt I.C.*//Textile Research Journal. – V.30, 1960. P.443...450.

10. *Feughelman M., Robinson M.S.* // Textile Research Journal. – V. 39, 1969. P.196...198.

11. *Feughelman M., Robinson M.S.* // Textile Research Journal. – V. 41, 1971. P.469...474.

12. *Новорадовская Т.С., Садова С.Ф.* // Химия и химическая технология шерсти. – М., 1986.

13. *Hearle J.W.* //International Journal of Biologi-

cal Macromolecules. – V. 27, 2000. P.123.

14. *Feughelman M.* // Journal of Applied Polymer Science. – V. 83, 2002. P.489.

15. *Worthmann F.-J., Zahn H.* // Textile Research Journal. – V.64(12), 1994. P.737.

16. *Chapman B.M.* // Textile Research Journal. – V. 39, 1969. P.1102.

Рекомендована кафедрой сопротивления материалов СПГУТД. Поступила 22.01.08.

---