

УДК 677.3:677.017

**ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
МОНОВОЛОКОН ШЕРСТИ
ВСЛЕДСТВИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ***Д.М. ДАРВИШ, Б. АКСАКАЛ, Е.С. ЦОБКАЛЛО**(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна,
Йылдызский технический университет, г. Стамбул, Турция)*

В процессе переработки на различных технологических этапах шерстяные волокна подвергаются действию растягивающих нагрузок [1], изменяющих их деформационные и прочностные свойства. В ряде работ [2...8] авторами рассматриваются лишь некоторые аспекты изменения структуры и свойств шерсти при растяжении, однако специального изучения характеристик механических свойств деформированных волокон ранее не проводилось.

Целью данной работы являлось изучение характеристик механических свойств моноволокон шерсти, подвергнутых предварительному растяжению, и интерпретация полученных результатов с позиции изменения структуры волокон.

Объектами исследования были образцы волокон полугрубой овечьей шерсти, полученные из различных регионов Турции и условно обозначенные №1...6. Средние значения размеров волокон составляли: длина 10...12 см, диаметр 30...50 мк. Отбор проб производился по длине волокон при помощи измерительной шкалы и по диаметру, измеренному пошагово на протяжении всего образца с использованием электронного микрометра. Полученные значения усредняли, и отбирали образцы с близкими геометрическими характеристиками. Испытания механических свойств осуществлялись на универсальной установке Instron 1122 в режиме активного растяжения, релаксации напряжений и эластического восстановления. Скорость

растяжения составляла 50 мм/мин. Все испытания производились при нормальных условиях ($T=20^{\circ}\text{C}$, влажность 65%.)

Предварительное деформирование волокон шерсти осуществлялось в следующем режиме: волокна растягивали до заданного значения деформации ϵ_n и наблюдали за проходящим процессом релаксации напряжений в течение 10 мин. Далее образец разгружали и фиксировали процесс эластического восстановления, длительность которого составляла также 10 мин. После процессов релаксации напряжений и последующего эластического восстановления волокно вновь испытывали в режиме активного растяжения.

На рис. 1 представлены диаграммы растяжения моноволокон шерсти различного происхождения. Разрывные характеристики шерстяных волокон лежат в следующих диапазонах: разрывное напряжение $\sigma_r \approx 290...425 \text{ МПа}$, разрывное удлинение $\epsilon_r \approx 33...43\%$. Все исследуемые образцы имеют схожую форму кривой растяжения, на которой можно выделить три характерные для шерстяного волокна области: зону квазиупругой деформации – в диапазоне $0 \leq \epsilon \leq 4\%$, зону «текучести» – $4\% \leq \epsilon \leq 28...30\%$, и третью зону – $\epsilon \geq 30\%$, соответствующую области «после текучести». Подобные характерные области на кривых растяжения волокон шерсти отмечены и в ряде работ [2...7].

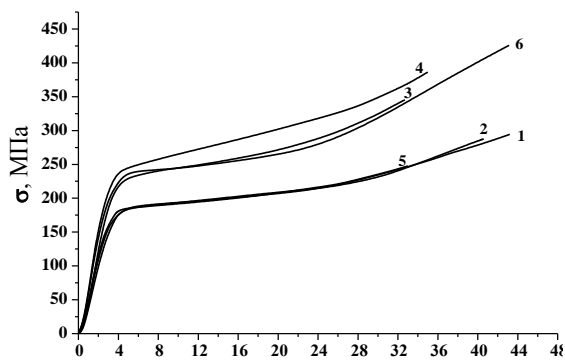


Рис.1

Ввиду того, что все исследуемые объекты имеют сходные по характеру кривые растяжения, более детальные исследования были произведены только на волокнах шерсти, условно обозначенных №1.

Процесс предварительного деформирования в режиме, описанном выше, проводился при значениях деформации, меняющихся в широких пределах $2\% \leq \epsilon_n \leq 38\%$, то есть охватывающих все три области растяжения.

На рис. 2 в качестве примера представлены некоторые из полученных кривых релаксации напряжений $\sigma(t)$ (кривые 1...3) и последующего эластического восстановления $\epsilon(t)$ (кривые 1'...3') моноволокон шерсти при различных уровнях деформации $\epsilon_n, \%$: 4 (1-1'), 28 (2-2'), 34 (3-3'). В первые секунды после растяжения релаксация напряжений в шерстяных волокнах протекает достаточно интенсивно, что особенно характерно для более высоких значений предварительного деформирования (18...38%). С течением времени процесс релаксации замедляется, однако полного выхода на равновесный уровень не происходит. Аналогичная картина наблюдается и после снятия нагрузки в процессе эластического восстановления: быстрое восстановление в первые секунды отдыха, далее значительное замедление скорости процесса. Следует отметить, что, несмотря на уникальные восстановительные свойства шерсти, при растяжении более 4% значений остаточных деформаций $\epsilon_{ост}$, регистрируемые после 10 мин эластического восстановления (табл. 1 – разрывные ха-

рактеристики шерстяных моноволокон, прошедших предварительное деформирование), имеют достаточно большие значения, что может свидетельствовать о существенных структурных перестройках в процессе деформирования.

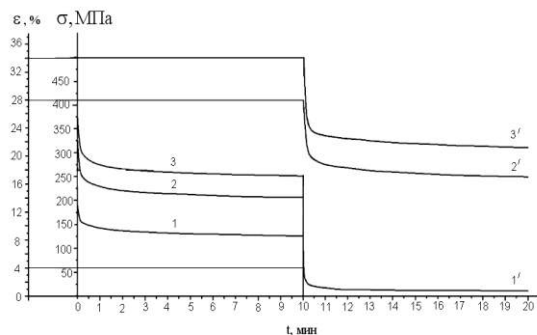


Рис.2

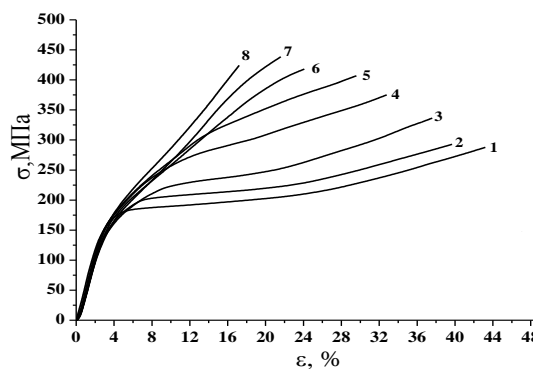


Рис.3

Диаграммы растяжения моноволокон шерсти, полученные после предварительного деформирования и режима релаксации напряжений – эластическое восстановление, представлены на рис. 3 (кривые растяжения моноволокон шерсти после предварительного деформирования на величину $\epsilon_n, \%$: 0(1); 6(2); 12(3); 18(4); 24(5); 28(6); 34(7); 38(8)). Значительное изменение характеристик механических свойств моноволокон шерсти наблюдается в области предварительного деформирования $\epsilon_n \geq 4\%$. Для каждой последующей кривой, относящейся к более высокому уровню ϵ_n , характерно увеличение напряжений во вторых двух зонах – «текучности» и «после текучности», в то время как участок кривой в зоне «гуковой» деформации изменяется незначительно.

Предварительное деформирование приводит также и к изменению форм кривых растяжения, которые в зависимости от значения ε_n приобретают сходство с кри-

выми растяжения натурального шелкового волокна ($18 \leq \varepsilon_n \leq 26\%$) [9] и синтетических полиамидных нитей ($\varepsilon_n \geq 28\%$) [10].

Т а б л и ц а 1

Уровень предварительной деформации ε_n , %	Разрывные характеристики шерстяных моноволокон после предварительного деформирования		$\varepsilon_{ост}$, %
	σ_p , МПа	ε_p , %	
0	288	43,5	0
2	279	41,2	0
6	292	39,7	1,4
12	336	37,6	5,6
18	375	32,8	9,6
24	407	29,6	14,3
28	418	21,4	17
34	439	21,6	21
38	424	17,2	24

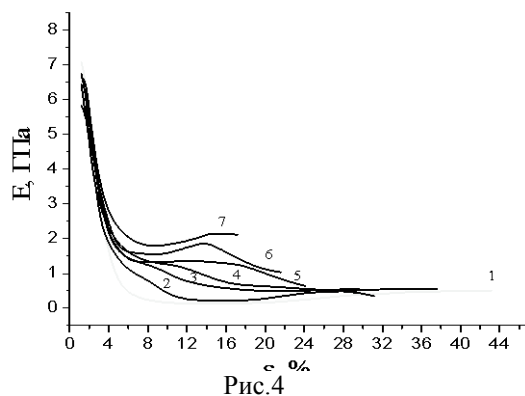
Для оценки изменения механических свойств моноволокон шерсти, подвергнутых предварительному деформированию, были выбраны следующие характеристики: разрывное напряжение σ_p , разрывное удлинение ε_p , модуль жесткости E_T . Корректная оценка жесткости волокон является одной из наиболее сложных задач. В данной работе был рассчитан текущий модуль путем дифференцирования диаграмм растяжения, то есть как:

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

В табл. 1 приведены значения указанных механических характеристик от уровня предварительного деформирования. Следует отметить, что увеличение значения ε_n приводит и к увеличению σ_p , максимальная разрывная прочность $\sigma_p = 439$ МПа наблюдается при $\varepsilon_n = 34\%$. Значения ε_p убывают во всем диапазоне предварительных деформаций.

Зависимости текущего модуля от ε_n имеют достаточно сложный характер (рис.4 – зависимость текущего модуля E_T от удлинения для моноволокон шерсти, прошедших режим предварительного деформирования при $\varepsilon_n, \%$: 0(1); 12(2); 18(3); 24(4); 28(5); 34(6); 38(7)), что связано с существенным изменением форм кривых растяжения, вызванных предварительным деформированием моноволокон шерсти. С

увеличением уровня предварительной деформации значение текущего модуля E_T возрастает во второй и третьей зонах растяжения, что может свидетельствовать о протекании ориентационных процессов в структуре шерстяного волокна.



Интерпретация полученных экспериментальных данных строится на основании современных представлений о структуре шерстяного волокна. Известно, что макромолекула кератина имеет форму α -спирали, которая при растяжении способна трансформироваться и переходить в более выпрямленную форму – β -транс-зигзаг.

Несмотря на то, что шерстяное волокно имеет достаточно сложное морфологическое строение, при структурном моделировании его принято рассматривать как двухкомпонентную систему, состоящую из микрофибрилл, погруженных в аморфную

матрицу [3...8]. Если микрофибриллы являются высоко ориентированной фазой, состоящей из так называемых «спиральных спиралей», то пептидные цепи матрицы имеют глобулярное строение. Глобулы матрицы более насыщены дисульфидными связями в сравнении с микрофибриллами [4], [5], [7].

Увеличение жесткости и разрывных напряжений, происходящее после предварительного деформирования более 4%, связано как с ориентационными процессами макроструктуры, так и конформационными переходами в полипептидных цепях. Количественное соотношение двух конформаций α и β обуславливает изменение форм кривых растяжения. После предварительного деформирования в области $\varepsilon_n \leq 16\%$ по-прежнему наблюдается преобладание α -формы молекулярных цепей микрофибрилл, что обуславливает сохранение трех характерных зон на кривых растяжения. При деформировании в диапазоне $18\% \leq \varepsilon_n \leq 26\%$ большая часть макромолекул переходит в более жесткую β -форму, определяя тем самым вырождение зоны «текучести» на кривой растяжения. Предварительное растяжение в области $\varepsilon_n \geq 28\%$, приводящее к значительному изменению механических свойств шерстяных моноволокон, связано со вступлением в процесс деформирования дисульфидных связей, что согласуется со структурными представлениями, предложенными в работе [6]. Если при более низких значениях ε_n дисульфидные связи играли лишь связующую роль в системе микрофибриллы – матрица, не препятствуя α - β -переходу в кристаллических микрофибриллярных структурах, то при растяжении в области более 28% они непосредственно начинают влиять на механические свойства волокна. Именно их влиянием обуславливается вторичное возрастание жесткости волокна на кривых растяжения, схожих с кривыми растяжения синтетических полиамидных нитей. В то же время, если обратиться к структурным процессам, происходящим в синтетических полиамидных нитях при их растяжении, известно, что последняя область диаграмм растяжения, на которой

наблюдается спад модуля жесткости, связана с увеличением разрывов макромолекулярных цепей [10]. Исходя из сходства форм кривых растяжения деформированных моноволокон шерсти и синтетических полиамидных нитей, можно предположить и некоторое сходство структурных процессов при растяжении. Таким образом, при растяжении моноволокон шерсти на величину более 28% происходит вступление в процесс растяжения связей типа S-S, частичное их разрушение, приводящее к тому, что молекулярные цепи становятся более доступными для разрыва.

Следует отметить также большую роль релаксационных процессов в описанном изменении механических свойств шерстяных волокон. Во время процесса релаксации происходит сближение структурных элементов, образование новых водородных поперечных связей, увеличение степени ориентации, что в значительной мере способно вызывать увеличение механических характеристик шерстяных волокон.

Полученные экспериментальные данные показывают, что изменения характеристик механических свойств моноволокон шерсти вследствие предварительного деформирования значительны. Характер этих изменений зависит от величины удлинения и режима предварительного деформирования. Изменение механических свойств шерстяного волокна при деформировании менее чем на 28% носит обратимый характер, так как является следствием α - β -перехода в макромолекулах, то есть обратимого конформационного изменения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Купрашевич В.И.* Общая технология шерстяного производства. – М.: Легпромбытиздат, 1988. С.176
2. *Feughelman M., Hally A.R.* // *Kolloid Z.* – 1960, Vol 168. P.107...115.
3. *Feughelman M.* // *Textile Research Journal.* – 1959, V.XXIX (3): P. 223...228.
4. *Hearle J.W.* // *International Journal of Biological Macromolecules.* – 2000, Vol 27, P.123...138.
5. *Feughelman M.* // *Journal of Applied Polymer Science.* – 2002, Vol 83. P.489...507.
6. *Worthmann F.-J., Zahn H.* // *Textile Research Journal.* – 1994, Vol 64(12). P.737.

7. *Chapman B.M.* // Textile Research Journal. – 1969, Vol 39. P.1102...1109.
8. *Feughelman M.* // Textile Research Journal. – 1994, Vol 64(4). P.236...239.
9. *Lucas F., Shaw J.T.B. Smith S.G.* // Journal of the Textile Institute. – 1955, Vol 46 (6): P.440...452.

10. *Пахомов П.М., Шаблыгин М.В., Цобкалло Е.С., Чеголя А.С.*//Том(А)XXVIII. – 1986, №3. С.558.

Рекомендована кафедрой сопротивления материалов СПГУТД. Поступила 06.04.07.
