

**Б. А. БУЗОВ, Н. Д. АЛЫМЕНКОВА**

# **МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (ШВЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО)**

**Под редакцией д-ра техн. наук, профессора Б. А. БУЗОВА**

## **УЧЕБНИК**

*Допущено*

*Министерством образования Российской Федерации  
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов  
«Технология и конструирование изделий легкой промышленности»  
по специальностям «Технология швейных изделий» и «Конструирование  
швейных изделий» и по направлению подготовки бакалавров и магистров  
«Технология, конструирование изделий и материалы легкой промышленности»*

4-е издание, исправленное



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2010

УДК 687.1/.4  
ББК 37.24я73  
Б904

Рецензенты:

кандидат технических наук, профессор кафедры материаловедения  
и товарной экспертизы Московского государственного университета сервиса  
*В. И. Стельмашенко;*

доктор технических наук, профессор кафедры технологии швейного  
производства Московского государственного университета дизайна и технологии  
*Е. Х. Меликов*

**Бузов Б. А.**

Б904 **Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство) : учебник для студ. высш. учеб. заведений / Б. А. Бузов, Н. Д. Алыменкова; под ред. Б. А. Бузова. — 4-е изд., испр. — М. : Издательский центр «Академия», 2010. — 448 с.**

ISBN 978-5-7695-6171-9

В учебнике рассмотрены строение и свойства текстильных материалов из натуральных и химических волокон и нитей, натурального и искусственного меха, швейных ниток и клеевых материалов, натуральной и искусственной кожи, пленочных, подкладочных, прокладочных материалов, фурнитуры, отделочных и других материалов, используемых для изготовления швейных изделий. Приведены сведения об основных видах этих материалов. Рассмотрены основы оценки качества материалов.

Для студентов высших учебных заведений.

УДК 687.1/.4  
ББК 37.24я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью  
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом  
без согласия правообладателя запрещается*

© Бузов Б. А., Алыменкова Н. Д., 2004

© Бузов Б. А., Алыменкова Н. Д., с изменениями, 2010

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2010

ISBN 978-5-7695-6171-9

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2010

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Производство швейных изделий — это комплекс взаимосвязанных звеньев, который представляет собой сложную систему, состоящую из ряда подсистем: моделирования и конструирования швейных изделий, выбора необходимых материалов, изготовления изделий, их реализации, связи со смежниками. Каждая из этих подсистем состоит из элементов, эффективность взаимодействия которых определяет работу подсистемы.

Выбор материалов для швейных изделий — одна из важных подсистем швейного производства, работа которой в значительной мере определяет качество швейных изделий, надежность и эффективность работы всей системы.

Улучшение качества и повышение конкурентоспособности швейных изделий, обновление их ассортимента обеспечиваются как путем разработки и внедрения новых моделей изделий, совершенствования их конструкций и использования современной техники и технологии изготовления, так и за счет применения новых материалов.

Выбор оптимальных материалов для швейных изделий и их рациональное использование в швейном производстве возможны только на основе знаний строения и свойств современных тканей и полотен, методов оценки их качества.

Будущие специалисты швейного производства при изучении курса получают представление о роли материаловедения в развитии техники и технологии швейного производства, об особенностях производства современных и перспективных материалов для одежды, о строении и свойствах материалов и методах их изучения, учатся пользоваться основными понятиями и параметрами строения и свойств материалов, основными методиками и техническими средствами испытания материалов, методами определения и оценки их качества, приобретают опыт анализирования и определения состава и структуры материалов, проведения измерений и оценки параметров состава, строения и свойств материалов, пользования испытательной техникой, средствами измерений и ЭВМ при решении материаловедческих задач, учатся формулировать требования, предъявляемые к материалам для швейных изделий, оценивать пригодность материалов для конкретных швейных изделий с учетом их назначения и условий эксплуатации.

Настоящий учебник по материаловедению швейного производства будет способствовать получению необходимых знаний и умений, а также применению их на практике.

Для изготовления швейных изделий используется широкий и разнообразный ассортимент материалов: текстильные полотна, натуральные и искусственные кожа и мех, швейные нитки и клеевые материалы, отделочные материалы и фурнитура.

Ткани, трикотажные и нетканые полотна являются основными видами текстильных материалов, из которых изготавливают швейные изделия. Поэтому значительное место в учебнике отведено рассмотрению способов получения, изучению строения и свойств этих материалов, а также текстильных волокон и нитей, составляющих основу всех текстильных материалов.

В ассортименте верхней одежды заметно увеличивается доля изделий из кожи и меха, и в учебнике этим материалам посвящены специальные главы, так же как и швейным ниткам, клеевым, прокладочным, подкладочным и отделочным материалам.

Особое место в учебнике отведено стандартным методам определения и оценки качества материалов.

В целом учебник содержит систематизированные сведения о современном уровне науки о материалах для одежды, способах получения, особенностях строения и свойствах основных видов материалов, применяемых в швейном производстве, методах оценки их качества.

Первая глава содержит сведения о классификации текстильных волокон, строении и свойствах натуральных и химических волокон, способах получения и строения текстильных полотен (тканей, трикотажных и нетканых полотен, вязанотканых), об отделке текстильных полотен.

Во второй главе рассматриваются свойства текстильных материалов:

геометрические: ширина, длина, толщина;

механические: при растяжении, изгибе, трении;

физические: поглощение, проницаемость, теплофизические, оптические, электризуемость;

изменение размеров при действии влаги и тепла;

износостойкость.

Учебный материал излагается по следующей методической схеме: основные положения, характеристики свойств и их теоретическое обоснование, методы и средства испытаний.

В третьей главе приводятся сведения об основных видах тканей, трикотажных и нетканых полотнах, дана их общая характеристика.

Четвертая глава посвящена оценке качества текстильных материалов.

В пятой главе рассматривается натуральный и искусственный мех: классификация, строение шкурки, изменчивость натураль-

ного меха, основы технологии и свойства меха, характеристика основных видов меха.

В шестой главе приведены сведения об основных видах швейных ниток, технологических и эксплуатационных требованиях к ним; о клеевых материалах и основных теориях склеивания.

Утепляющие, подкладочные и прокладочные материалы описаны в седьмой главе, где приведены основные виды этих материалов и дана их характеристика.

В восьмой главе рассматриваются способы получения, основные виды и характеристика натуральной и искусственной кож.

В девятой главе даны описание отделочных материалов, характеристика лент, тесьмы, шнуров, кружев. Приводятся общие сведения о фурнитуре.

Учебник написан на основе ранее изданного учебника Б. А. Бузова, Т. А. Модестовой, Н. Д. Алыменковой «Материаловедение швейного производства» (1986 г.). При подготовке настоящего издания учтен опыт преподавания дисциплины материаловедения швейного производства в Московском государственном университете дизайна и технологии.

## ВВЕДЕНИЕ

Материаловедение — прикладная наука (дисциплина), изучающая строение и свойства материалов.

Развитие материаловедения шло от простого к сложному: от общего описания внешних признаков материалов к современным характеристикам их структурных параметров и свойств на микро- и макроскопическом уровнях; от методов органолептической оценки качества к физическим и химическим методам контроля материалов, основанным на использовании современных средств измерительной техники; от принципов оценки качества готового материала к принципам контроля и формирования необходимого качества материала в процессе его изготовления, к управлению качеством продукции.

Объем современного материаловедения чрезвычайно велик и охватывает все области техники и производства. Любая технология начинается с решения ряда материаловедческих задач: установления критериев выбора материалов с учетом назначения изделия и реальных условий его производства и эксплуатации, определения допустимых параметров и режимов обработки материала. Только на основе глубоких и всесторонних знаний строения и свойств материалов можно разработать современную технологию, изготавливать изделия высокого качества.

Успехи в развитии химии, физики, математики и других фундаментальных наук, создание совершенных и высокоточных средств измерительной техники существенно обогащают материаловедение и создают условия для постоянного развития этой прикладной науки. Используя современные средства анализа структуры и измерения свойств, материаловеды расширяют свои познания о материалах, открывают новые их качественные стороны, выдают обоснованные рекомендации по рациональному использованию существующих материалов и разрабатывают новые материалы с улучшенными свойствами.

Материаловедение играет важную роль в решении задач, связанных с улучшением качества выпускаемых изделий, снижением материалоемкости продукции.

Возникновение и развитие массового производства швейных изделий, решение комплекса сложных научных и практических материаловедческих задач, возникающих при изготовлении этих

изделий, привели к выделению из общего материаловедения новой его области — материаловедения швейного производства.

Материаловедение швейного производства изучает строение и свойства материалов, используемых для изготовления швейных изделий; изменения, происходящие в строении и свойствах материалов под воздействием различных факторов производства швейных изделий и их эксплуатации, а также основные виды материалов и стандартные методы оценки их качества; дает рекомендации по рациональному и экономному использованию материалов в швейном производстве.

Все материалы, используемые в швейном производстве, в зависимости от целевого назначения принято подразделять на группы: основные материалы, используемые в качестве верха швейных изделий (ткани, трикотажные и нетканые полотна, натуральные и искусственные меха и кожи, комплексные, пленочные материалы); подкладочные и прокладочные материалы; утепляющие материалы, применяемые в качестве теплоизоляционных прокладок (вата, ватин, поролон, натуральный и искусственный мех); материалы для скрепления деталей одежды (швейные нитки, пряжа, клеевые материалы); прикладные материалы, используемые для укрепления или отделки деталей швейных изделий (ленты, тесьма, шнуры, кружева и др.); фурнитура — вспомогательные изделия, которые служат для застегивания одежды (пуговицы, застежки-молнии, текстильные застежки, кнопки, крючки, петли, пряжки).

Значительная часть ассортимента швейных изделий изготавливается из текстильных материалов: тканей, трикотажных и нетканых полотен с применением швейных ниток, пряжи, лент, ваты, ватина и др. Основой всех этих материалов являются текстильные волокна. Поэтому в курсе материаловедения швейного производства определенное внимание обращено на изучение особенностей строения и свойств волокон и нитей, принципы их получения.

Улучшение качества продукции неразрывно связано с повышением роли стандартов — документов, обеспечивающих широкое внедрение новейших достижений науки и техники в производство. Только на основе комплексного подхода к проблеме качества и прежде всего к согласованию требований к качеству сырья, материалов, комплектующих изделий, технических средств производства можно успешно решать задачи повышения качества продукции.

Материаловедение швейного производства как научная дисциплина образовалась сравнительно недавно, одновременно с организацией в 30-е гг. XX в. новой тогда специальности в высших учебных заведениях — технологии швейного производства.

Материаловедение швейного производства берет свое начало в текстильном материаловедении, пользуется его методами изучения строения и свойств текстильных и других материалов. Вместе с

тем за прошедшие десятилетия разработаны и внедрены в практику многие новые методы и средства исследования материалов для одежды, которые включены в стандарты и другую нормативную документацию.

Одним из основоположников отечественного швейного материаловедения по праву считается проф. Н. А. Архангельский, который, будучи первым заведующим кафедрой технологии швейного производства и читая курс лекций по швейному материаловедению, впервые сформулировал основные направления этой дисциплины, а затем они были реализованы в его учебнике «Материаловедение (материалы для одежды)».

Значительный вклад в становление и развитие отечественного швейного материаловедения кроме Н. А. Архангельского внесли ученые-материаловеды Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьев, Т. А. Модестова, М. И. Сухарев, П. А. Колесников, К. Г. Гущина, С. А. Беляева, В. П. Склянников, Н. Н. Пожидаев, А. И. Павлов, В. И. Стельмашенко, А. В. Куличенко и др.

Большое значение для развития швейного материаловедения имели фундаментальные работы в области физики и химии полимеров, физики твердого тела, механических и физических свойств материалов, трения и износа. Среди них следует указать работы В. А. Каргина, Г. Л. Слонимского, С. Н. Журкова, К. Е. Перепелкина, Ю. В. Зеленева, А. А. Аскадского, И. В. Крагельского и др.

В настоящее время более чем в 15 высших учебных заведениях и на факультетах профиля легкой промышленности имеются кафедры материаловедения, на которых и ведется преподавание дисциплины материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство), проводятся научные исследования в области швейного материаловедения, готовятся научно-педагогические кадры через докторантуру, аспирантуру, магистратуру. Все это создает хорошие условия для дальнейшего развития швейного материаловедения.



## Глава 1

# ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СТРОЕНИИ И ПОЛУЧЕНИИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

### 1.1. Строение и свойства текстильных волокон и нитей

Структурными элементами всех текстильных материалов (тканей, трикотажных и нетканых полотен, лент, тесьмы, кружев, швейных ниток и др.) являются текстильные волокна и нити. Согласно ГОСТ 13784—94 *текстильное волокно (textile fibre)* — это протяженное тело, характеризующееся гибкостью, тониной и пригодное для изготовления нитей и текстильных изделий. *Элементарное волокно (elementary fibre)* представляет собой единичное неделимое текстильное волокно. *Штапельное волокно (staple fibre)* — это элементарное волокно ограниченной длины. На практике штапельным называют в основном химическое волокно, а натуральным — просто волокно. *Элементарная текстильная нить (filament)* отличается от штапельного волокна практически неограниченной длиной, рассматриваемой как бесконечная. *Комплексное волокно (complex fibre)* состоит из продольно соединенных между собой элементарных волокон.

Для изготовления текстильных материалов используют большое количество волокон и нитей, различающихся по химическому составу, строению и свойствам.

Вид и свойства текстильного волокна — важнейшие факторы, определяющие основные физико-механические свойства, внешний вид, износостойкость текстильных материалов и влияющие на параметры технологического процесса изготовления швейных изделий.

#### 1.1.1. Классификация текстильных волокон и нитей. Основные характеристики их свойств

**Классификация текстильных волокон.** В основу классификации положены их происхождение (способ получения) и химический состав (схема 1.1). По происхождению все волокна подразделяют на натуральные и химические.

К *натуральным* относят волокна растительного, животного и минерального происхождения, которые образуются в природе без

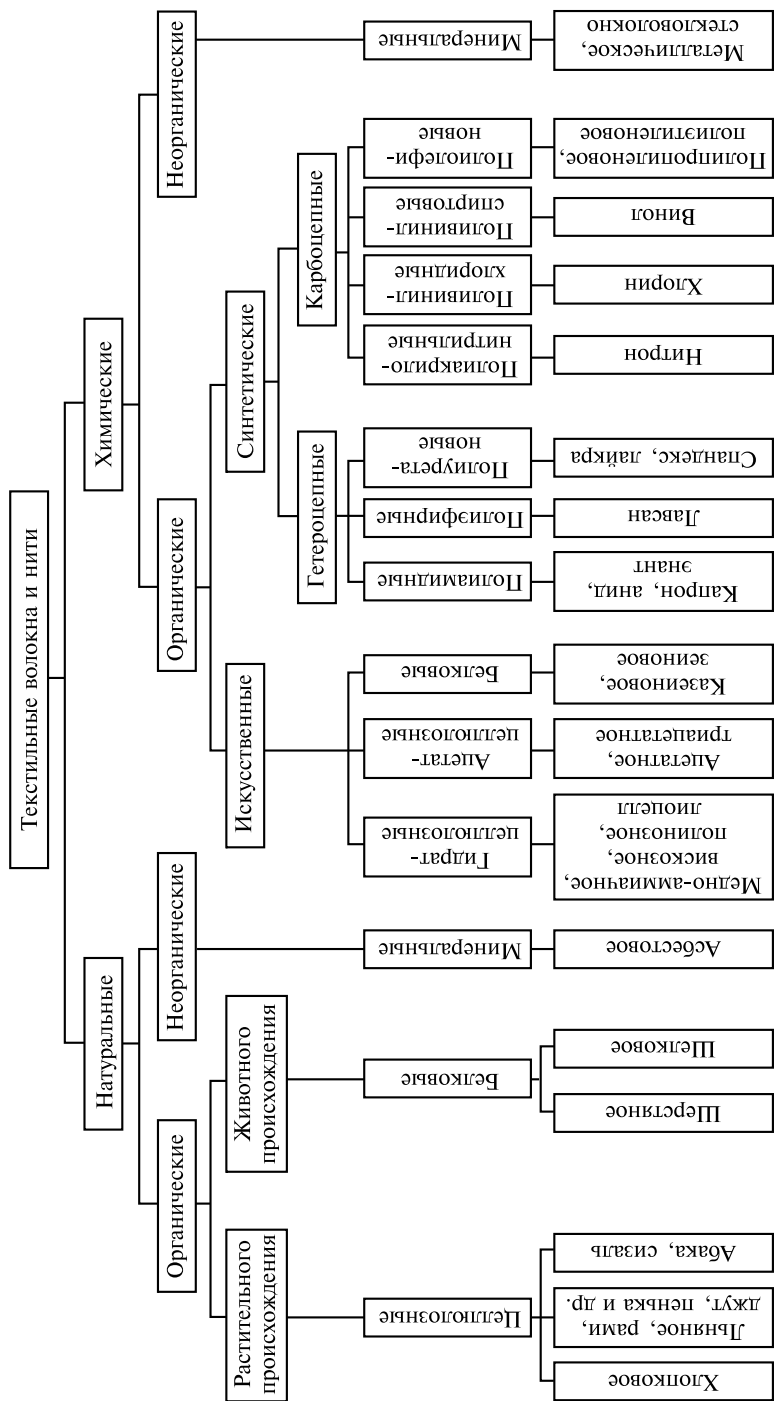


Схема 1.1. Классификация текстильных волокон и нитей

непосредственного участия человека. Натуральные растительные волокна состоят из целлюлозы; их получают с поверхности семян (хлопок) и плодов (койр), из стеблей (лен, рами, пенька, джут и др.) и листьев (абака, или манильская пенька, сизаль) растений. Натуральные волокна животного происхождения состоят из белков — кератина (шерсть различных животных) или фиброина (шелк тутового или дубового шелкопряда).

К *химическим* относят волокна, создаваемые в заводских условиях путем формования из органических природных или синтетических полимеров или из неорганических веществ. *Искусственные* волокна получают из высокомолекулярных соединений, встречающихся в готовом виде (целлюлоза, белки). *Синтетические* волокна производят из высокомолекулярных соединений, синтезируемых из низкомолекулярных соединений. Они подразделяются на гетероцепные и карбоцепные волокна. Гетероцепные волокна образуются из полимеров, в основной молекулярной цепи которых кроме атомов углерода содержатся атомы других элементов. Карбоцепными называют волокна, которые получают из полимеров, имеющих в основной цепи макромолекул только атомы углерода.

**Развитие производства текстильных волокон.** С древних времен и до конца XIX в. единственным сырьем для производства текстильных материалов служили натуральные волокна растительного или животного происхождения. Огромные успехи химии на рубеже XIX и XX вв. создали необходимые условия для получения и промышленного производства химических волокон.

Идея создания искусственных волокон, подобных натуральному шелку, была высказана еще в XVII—XVIII вв., однако практическое осуществление этой идеи началось лишь в середине XIX в. Первые искусственные волокна из нитрата целлюлозы (нитрошелк) были получены в 1883 г. Несколько позднее появились другие виды целлюлозных волокон: медноаммиачные, вискозные и ацетатные. В середине 30-х гг. XX в. значительным сдвигом в производстве химических волокон явилось получение первых синтетических волокон (полиамидных), которое ознаменовало начало нового этапа — создание волокон с заданными свойствами. С тех пор мировое производство химических волокон непрерывно и быстро растет. Если в 1913 г. в мире вырабатывалось 11,8 тыс. т химических волокон, или менее 0,2 % всего объема текстильного сырья, то к началу третьего тысячелетия их производство составило примерно 31,3 млн т, а их доля в общем объеме — 54,2 %. По прогнозам на ближайшие годы ожидается повышение доли химических волокон и нитей до 62 %. Среднегодовой прирост производства текстильных волокон за последние 20 лет составил 2,5 %, прежде всего за счет выпуска химических волокон. Это связано с тем, что, во-первых, сырье для производства химических волокон доступно и дешево и име-

ется в достаточном количестве: это продукты переработки древесины, угля, нефти и природного газа. Во-вторых, химические волокна, задуманные вначале как заменители натуральных волокон, в дальнейшем приобрели ряд специфических свойств, превосходящих свойства натуральных волокон: высокую прочность, упругость, износостойкость, термостойкость, эластичность и т. д. Кроме того, современные технологии позволяют создавать волокна и нити с заранее заданными свойствами, что расширяет области использования текстильных волокон в основном технического назначения.

В классе химических волокон объем производства и темпы развития их групп различны (табл. 1.1). Удельный вес выпуска искусственных и синтетических волокон существенно изменился в сторону увеличения синтетической группы (91,4 %). Преимущество синтетических волокон и нитей по сравнению с искусственными — для их производства используется более дешевое и доступное сырье, и они обладают ценными и разнообразными свойствами. Среди всех видов текстильных волокон лидируют полиэфирные: их выпуск к 2000 г. достиг примерно 18,9 млн т, что составило свыше 60 % объема выпуска химических волокон или почти 32 % всего количества натуральных и химических волокон.

Темпы роста производства полиамидных волокон (некогда самого популярного и исторически первого вида синтетических волокон) значительно ниже по сравнению с полиэфирными волокнами, причем рост идет преимущественно за счет выпуска нитей. В последние годы практически на одном уровне остается производство полиакрилонитрильных волокон. К числу быстро развивающихся относится производство полипропиленовых волокон и нитей в силу малой энергоемкости и стоимости сырья. В основном они используются для технических целей, однако делаются попытки расширить их применение и в производстве бытовых текстильных материалов.

Производство целлюлозных волокон в отличие от синтетических не имеет заметной динамики роста, несмотря на явные преимущества (возобновляемая база сырья, высокие гигиенические свойства). Важнейший недостаток современных технологий их производства — проблемы, связанные с защитой окружающей среды, для чего требуются дополнительные расходы.

В 2000 г. объем мирового производства натуральных волокон составил около 26,5 млн т, 74,2 % которых приходится на долю хлопка, 7,2 % — шерсти и шелка, остальное — на долю лубяных волокон. Однако объем производства природных волокон снижается, что связано с большой трудоемкостью их получения и с вытеснением их с посевных площадей продовольственными сельскохозяйственными культурами, которые дают бóльшую прибыль.

## Мировое производство основных видов химических волокон

Волокна	Объем, млн т, и удельный вес, % объема выпуска, по годам					
	1996		1998		2000	
	Объем	Удельный вес	Объем	Удельный вес	Объем	Удельный вес
Полиэфирные:						
нити	6,7	28,4	10,3	34,7	10,8	34,6
волокна	5,6	23,7	7,6	25,6	8,1	26,0
Полиамидные:						
нити	3,2	13,6	3,4	11,4	3,6	11,5
штапельные волокна	0,6	2,5	0,5	1,7	0,5	1,6
Полипропиленовые (нити и штапельные волокна)	2,0	8,5	2,7	9,1	2,8	9,0
Полиакриловые	2,4	10,2	2,4	8,1	2,5	8,0
Целлюлозные	3,0	12,7	2,6	8,8	2,7	8,6
Прочие (эластомерные, арамидные, углеродные и др.)	0,1	0,4	0,2	0,7	0,2	0,6
<i>Всего</i>	23,6		29,7		31,2	

По прогнозам на ближайшее десятилетие расширение ассортимента и увеличение производства текстильных волокон будут происходить по нескольким направлениям:

совершенствование свойств волокон для широкой области применения за счет их модификации — повышения комфортности и механических свойств;

создание суперволокон со специальными свойствами более узкого назначения (сверхпрочные, сверхэластичные, ультратонкие и т. п.);

создание интерактивных волокон, активно «откликающихся» на изменение внешних условий (тепло, освещение, механическое воздействие и т. д.);

разработка новых технологий получения синтетических волокон из воспроизводимого (природного) сырья, чтобы уменьшить зависимость от снижения запасов нефти и газа;

использование биотехнологий для синтеза новых видов волоконобразующих полимеров и улучшения качества натуральных волокон.

Текстильные волокна широко используются во многих отраслях промышленности. В данной работе рассматриваются основные виды волокон, применяемые в производстве материалов для бытовой одежды.

### Основные сведения о строении волокнообразующих полимеров.

Текстильные волокна имеют сложное строение, которое складывается из молекулярной, надмолекулярной и морфологической структуры. Большинство текстильных волокон состоит из высокомолекулярных соединений — полимеров. Волокнообразующие полимеры, пригодные для создания текстильных волокон, имеют определенные особенности строения и свойств.

Макромолекулы волокнообразующего полимера представляют собой длинные гибкие образования, состоящие из большого числа повторяющихся звеньев, соединенных между собой химическими связями. Число звеньев, называемое степенью полимеризации, в макромолекулах колеблется в широких пределах — от нескольких сотен до десятков тысяч. Длина макромолекул в сотни и тысячи раз превышает их поперечные размеры. В пределах одного полимера макромолекулы имеют довольно широкий диапазон колебаний по длине.

Макромолекулы волокнообразующих полимеров различаются не только по химическому составу, но и по строению (рис. 1.1). Структура макромолекул отличается по виду звеньев и порядку их расположения. В линейных или цепных полимерах звенья одного вида расположены по длине макромолекулы. В линейных сополимерах имеет место регулярное, нерегулярное, блочное чередования звеньев двух или более видов. Некоторые виды полимеров имеют макромолекулы с боковыми ответвлениями различной длины и сложности. Если между соседними макромолекулами возникают химические связи, образуется трехмерная сетчатая структура.

Отдельные группы и звенья макромолекул могут поворачиваться относительно друг друга. Степень подвижности звеньев макромолекул определяется их химическим составом, структурой, нали-

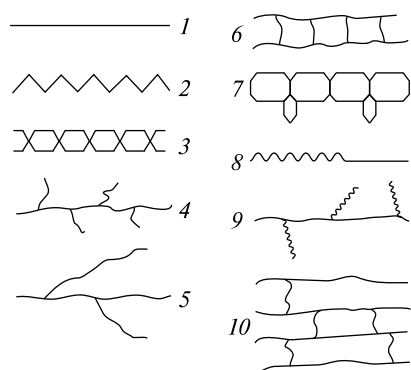


Рис. 1.1. Схемы структур макромолекул (по данным Л. М. Пыркова): 1—3 — линейная с прямой цепью (1), с зигзагообразной цепью (2), циклоцепная (3); 4, 5 — разветвленная с короткими (4) и длинными (5) ответвлениями; 6 — лестничная; 7 — плоская; 8 — блочная линейная (блок-сополимер); 9 — разветвленная с привитыми блоками; 10 — сетчатая (трехмерное «сшивание»)

нием функциональных групп и т. д. Подвижность придает макромолекулам гибкость, способность принимать различную форму расположения в пространстве. В зависимости от внешних воздействий, например тепловых, силовых, форма расположения макромолекул может меняться. Гибкостью макромолекул во многом определяется весь комплекс свойств полимера.

Макромолекулы в полимере не существуют изолированно, они находятся во взаимодействии с соседними макромолекулами. Характерная особенность высокомолекулярных соединений — резкое различие в характере связей вдоль цепи макромолекулы и межмолекулярных связей. Энергия межмолекулярных связей (водородных, солевых, химических, сил Ван-дер-Ваальса) значительно слабее энергии внутримолекулярных химических связей. В определенных условиях при воздействии влаги, тепла, усилий межмолекулярные связи могут ослабевать, даже разрушаться и восстанавливаться вновь. Их вид, количество, суммарная энергия зависят от химического состава, длины и взаимного расположения макромолекул. Межмолекулярное взаимодействие тем больше, чем длиннее и распрямленнее макромолекулы.

Волокнообразующие полимеры по своей надмолекулярной структуре относятся к фибриллярным соединениям. Согласно современным представлениям развернутые макромолекулы благодаря действию межмолекулярных сил объединяются в линейные пачки, в которых они располагаются последовательно-параллельно относительно друг друга. Отдельные пачки и пучки макромолекул образуют микрофибриллы, на основе которых формируются более крупные агрегаты надмолекулярной структуры — фибриллы. Для микрофибрилл характерны небольшие поперечные размеры, равные нескольким межмолекулярным расстояниям, и длина, превышающая длину макромолекул. Микрофибриллы по своему строению неоднородны и имеют кристаллические и аморфные участки, чередующиеся вдоль оси микрофибриллы. Переход от кристаллической области к аморфной происходит постепенно через ряд промежуточных форм упорядоченности. Соотношение кристаллических и аморфных областей в полимере характеризуется степенью кристалличности. Характер чередования, размеры и степень упорядоченности областей в микрофибриллах зависят от вида полимера и условий его получения. Длинные цепные макромолекулы могут проходить через ряд кристаллических и аморфных областей и даже переходить из одной микрофибриллы в другую, соседнюю, прочно соединяя их в структуре фибриллы. Известно несколько вариантов надмолекулярной структуры микрофибрилл, характерных для полимеров различной химической природы (рис. 1.2).

Морфологическая структура, или микроструктура, текстильных волокон представляет собой более низкий уровень и включает в себя внешнюю и внутреннюю структуру. К внешней структуре от-

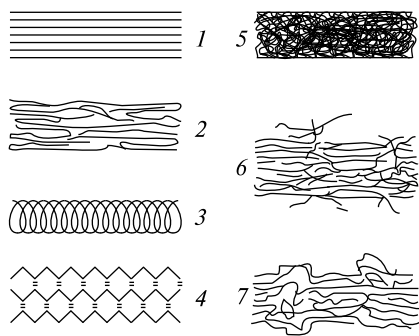


Рис. 1.2. Схемы структур микрофибрилл (по данным Л. М. Пыркова):

1 — модель Громова — Слуцкера идеальной кристаллической структуры; 2 — модель Хоземана — Бонара для кристаллизующихся полимеров с гибкими цепями; 3 — модель для фибриллярных белков (макромолекулы в  $\alpha$ -форме); 4 — то же (макромолекулы в  $\beta$ -форме); 5 — модель для аморфно-ориентированного волокна; 6 — модель бахромчатой фибриллы Хирла для жесткоцепных полимеров; 7 — модель Гесса

носятся толщина, длина, форма поперечного сечения, извитость, характер поверхности; к внутренней структуре — слоистость, пористость, наличие каналов или сердцевины, комбинация различных полимеров. Наиболее сложной морфологической структурой обладают природные волокна, например шерсть. В последние годы среди химических волокон все чаще появляются волокна со сложной морфологической структурой (полые, слоистые, комбинированные).

Структурные элементы не полностью заполняют объем волокна, между ними располагаются микропустоты, поры. Причины возникновения и размеры пор могут быть различными. Поры, возникшие из-за неплотного расположения макромолекул, имеют радиусы порядка 1—2 нм; радиусы пор, появившиеся из-за неплотной упаковки микрофибрилл, колеблются в пределах 3—5 нм, а радиусы пор между крупными элементами структуры — фибриллами — достигают 10—15 нм. Возможны и более крупные образования (пустоты, поры, трещины, каналы), связанные с морфологическими особенностями строения волокон. Пористостью структуры определяется ряд физико-механических свойств волокон, их прочность, способность к поглощению жидкостей, набуханию, окрасиванию и т. д.

**Основные характеристики свойств волокон и нитей.** Свойство — объективная особенность продукции, которая проявляется при ее создании, эксплуатации или потреблении. Различают качественные и количественные характеристики (признаки) свойств, имеющие размерность. Показатель (параметр) — количественное (численное) выражение характеристики свойств продукции.

Текстильные волокна характеризуются геометрическими, механическими, физическими и химическими свойствами.

**Характеристики геометрических свойств волокон.** Основными геометрическими свойствами волокон являются длина, толщина и формы поперечного сечения и продольной оси, которые имеют соответствующие характеристики. Форму поперечного сечения определяют при описании структуры волокна и ее распознавании.



*Длина волокна*  $L$ , мм, — расстояние между концами распрявленного волокна.

Непосредственное измерение толщины волокон и нитей затруднено, так как формы поперечного сечения весьма разнообразны и сложны. Поэтому толщину волокон характеризуют косвенными величинами.

*Линейная плотность*  $T$ , текс, выражается массой единицы длины волокна и определяется по формуле

$$T = m/L,$$

где  $m$  — масса волокна, мг;  $L$  — длина волокна, м.

*Площадь поперечного сечения*  $S$ , мм<sup>2</sup>, также является характеристикой толщины волокна или нити и рассчитывается по формуле

$$S = 0,001 T/\gamma,$$

где  $\gamma$  — плотность вещества волокна, мг/мм<sup>3</sup>.

Если принять поперечное сечение волокна близким к круглой форме, можно определить его *условный диаметр*  $d_{\text{усл}}$ , мм,

$$d_{\text{усл}} = 0,0357 \sqrt{T/\gamma}.$$

Продольная форма волокна характеризуется извитостью — числом витков на 1 см длины, подсчитанной при натяжении, соответствующем массе 10 м волокна.

**Характеристики механических свойств.** Механические свойства волокон проявляются при приложении внешних сил, среди которых растягивающие и изгибающие силы имеют наибольшее значение. При приложении растягивающего усилия до полного разрушения волокна определяют следующие характеристики.

*Разрывное усилие (нагрузка)*  $P_p$ , сН (гс), — наибольшее усилие, испытываемое волокном к моменту его разрыва.

*Разрывное напряжение*  $\sigma_p$ , МПа, характеризует разрывную нагрузку, приходящуюся на единицу площади поперечного сечения; оно определяется по формуле

$$\sigma_p = 0,01 P_p/S.$$

*Удельное разрывное усилие (нагрузка)*  $P_y$ , сН/текс (гс/текс), характеризует разрывную нагрузку, приходящуюся на единицу толщины:

$$P_y = P_p/T.$$

При приложении растягивающей нагрузки волокно деформируется, изменяя свои размеры. Деформация оценивается следующими характеристиками.

*Абсолютное разрывное удлинение*  $l_p$ , мм, показывает увеличение длины волокна к моменту разрыва:

$$l_p = L_p - L_0,$$

где  $L_p$  — длина образца к моменту разрыва, мм;  $L_0$  — начальная длина образца волокна, мм.

*Относительное разрывное удлинение*  $\varepsilon_p$ , %, показывает, какую часть от первоначальной длины образца составляет его абсолютное удлинение к моменту разрыва:

$$\varepsilon_p = 100l_p/L_0.$$

При приложении растягивающих усилий меньше разрывных и последующей разгрузке и отдыхе определяют полную деформацию и ее составные части (компоненты).

*Полная деформация*  $\varepsilon_{\text{пол}}$ , %, — деформация, которую приобретает волокно к концу периода нагружения.

*Упругая деформация*  $\varepsilon_y$ , %, — часть полной деформации, которая практически мгновенно (за десятитысячные доли секунды) исчезает при прекращении действия внешней силы. Она является следствием действия небольших изменений средних расстояний между звеньями и атомами макромолекул при сохранении связей между ними.

*Эластическая деформация*  $\varepsilon_z$ , %, — часть полной деформации, которая возникает при нагружении и исчезает после разгрузки постепенно. Она связана с перегруппировкой и изменением конфигурации макромолекул, что, как известно, протекает во времени с различной скоростью.

*Пластическая деформация*  $\varepsilon_n$ , %, — неисчезающая часть полной деформации. Она обусловлена необратимыми смещениями структурных элементов волокон и отдельных макромолекул, а также возможным разрывом макромолекул под действием внешних сил.

Упругая деформация и часть эластической деформации с очень высокой скоростью проявления составляют *быстрообратимую* компоненту полной деформации, пластическая и часть эластической с очень малой скоростью исчезновения — *остаточную* компоненту, остальная часть деформации — *медленнообратимую*.

*Эластичность* волокна показывает, какую долю в полной деформации составляет ее обратимая часть; чаще всего она выражается в процентах.

***Характеристики физических свойств.*** К основным физическим свойствам волокон относятся гигроскопические, термические свойства, устойчивость к светопогоде и др. Гигроскопические свойства — способность текстильных волокон к поглощению влаги — оцениваются фактической, кондиционной, максимальной влажностью.

*Фактическая влажность*  $W_{\text{ф}}$ , %, показывает, какую часть от массы сухого волокна составляет влага, содержащаяся в нем при данных атмосферных условиях:

$$W_{\phi} = 100 (m - m_c)/m_c,$$

где  $m$  и  $m_c$  — соответственно масса, г, волокна до и после сушки до постоянной массы.

*Кондиционная влажность*  $W_k$ , %, — влажность волокна при нормальных атмосферных условиях (температуре воздуха 20 °С и относительной влажности воздуха 65 %).

*Максимальная влажность (гигроскопичность)*  $W_{100}$  — это влажность волокна при относительной влажности воздуха, близкой к 100 %, и температуре 20 °С.

Термические свойства волокон характеризуют их поведение при изменении температуры. Они оцениваются по изменению механических свойств волокон.

*Теплостойкость* — максимальная температура нагрева, при которой наблюдаются обратимые изменения механических свойств волокон; с понижением температуры эти изменения исчезают.

*Термостойкость* — температура, выше которой происходят необратимые изменения в структуре и свойствах волокон.

*Устойчивость к светопогоде* характеризует способность волокон сопротивляться разрушающему действию света, кислорода воздуха, влаги и тепла. Обычно она оценивается по изменению показателей основных механических свойств после длительных воздействий всех факторов светопогоды.

**Характеристики химических свойств.** Химические свойства волокон характеризуются их устойчивостью к действию кислот, щелочей и различных химических реагентов, которые используются при производстве текстильных материалов (например, в процессе отделки) и при эксплуатации изделий (стирка, химчистка и др.).

### 1.1.2. Строение и свойства натуральных волокон

**Волокна растительного происхождения.** Основным полимером, из которого состоят природные волокна растительного происхождения, является  $\alpha$ -целлюлоза, относящаяся к классу полисахаридов. Элементарные звенья целлюлозы —  $C_6H_{10}O_5$  — с помощью глюкозидной связи — O — соединяются в линейные циклоцепные макромолекулы (см. рис. 1.1). Число звеньев в макромолекулах природных волокон достаточно велико и достигает у хлопка 5000 — 6000, у льна 20 000 — 30 000. Целлюлоза представляет собой сравнительно жесткоцепной полимер и благодаря действию межмолекулярных сил (водородных связей и сил Ван-дер-Ваальса) образует довольно высокоориентированную структуру. Степень кристалличности целлюлозы хлопковых волокон составляет 70 %, а элементарных льяных — 80 — 85 %. Макромолекулы целлюлозы группируются в микрофибриллы бахромчатого типа (см. рис. 1.2), из которых, в свою очередь, строятся более крупные структурные образования —

фибриллы. Характерная особенность целлюлозы — наличие в каждом элементарном звене трех гидроксильных групп; эта особенность определяет основные физико-химические свойства целлюлозных волокон.

Из существующих видов целлюлозных волокон наиболее распространенными для производства одежды в нашей стране являются хлопковые и льняные волокна.

*Хлопковые волокна* покрывают поверхность семян однолетнего растения хлопчатника. Развитие хлопковых волокон начинается после цветения хлопчатника в период образования плодов (коробочек). В это время на поверхности семян отдельные клетки оболочки начинают интенсивно расти в длину, образуя тонкостенные трубочки с протоплазмой, состоящей из простых углеводных соединений (рис. 1.3, *а*). В период созревания, когда коробочки хлопчатника раскрываются, рост волокон в длину прекращается и в результате процесса фотосинтеза из протоплазмы выделяется  $\alpha$ -целлюлоза. В течение всего периода созревания хлопчатника фибриллы целлюлозы отлагаются на стенках волокна, образуя суточные концентрические слои. Фибриллы в отдельных слоях располагаются спирально под определенным углом ( $20-40^\circ$ ) к оси волокна.

Как отмечалось ранее основным полимером хлопка является  $\alpha$ -целлюлоза (96%); кроме нее волокна имеют в своем составе небольшое количество низкомолекулярных фракций целлюлозы (1,5%), жиры и воски (около 1%) и др. Сопутствующие вещества располагаются между пачками макромолекул и фибриллами.

В конце периода созревания протоплазма в канале высыхает, стенки спадают, а волокна приобретают вид скрученных сплюснутых ленточек, имеющих определенной толщины стенки и канал (рис. 1.3, *б*). Наружный слой (или первичная стенка) волокна на 50% состоит из  $\alpha$ -целлюлозы и покрыт жировосковыми веществами. Этот слой играет защитную роль. Вторичная стенка волокна состоит из суточных слоев фибрилл. Природная извитость хлопка связана со спиральным расположением фибрилл в слоях.

Толщина стенок и степень извитости зависят от зрелости волокна, оказывающей влияние на его качество. Незрелые тонкостенные волокна имеют вид плоских или свернутых ленточек, обладают малой прочно-

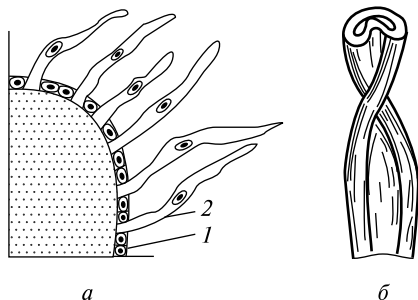


Рис. 1.3. Хлопковое волокно:

*а* — волокна на поверхности семян: 1 — оболочка семени; 2 — клетка волокна; *б* — вид волокна в конце созревания

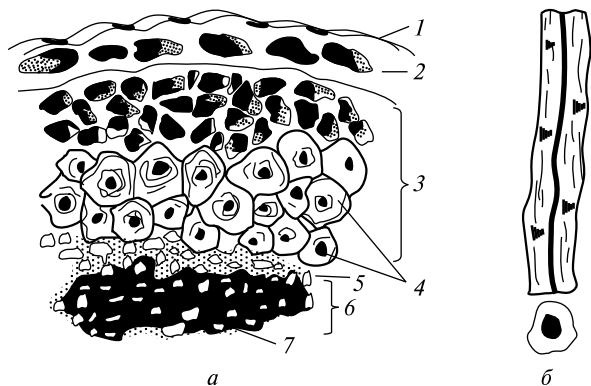


Рис. 1.4. Льняное волокно:

*a* — поперечный срез стебля льна: 1 — кутикула; 2 — кожица; 3 — кора; 4 — элементарные волокна; 5 — камбий; 6 — древесина; 7 — сердцевина; *б* — продольный вид и поперечный срез элементарного волокна льна

стью, низкой эластичностью, плохо окрашиваются. Перезрелые волокна имеют толстые стенки, повышенную прочность, прямую (неизвитую) форму и сравнительно большую жесткость. Ни те, ни другие волокна к текстильной переработке непригодны. По степени зрелости, которая оценивается исходя из соотношения наружного и внутреннего диаметров волокна, хлопковые волокна подразделяются на 11 групп: от 0 (незрелое волокно) до 5 (предельно зрелое волокно) с интервалом 0,5. Наиболее пригодны для изготовления текстильных материалов волокна со степенью зрелости 2,5—3,5.

В зависимости от длины волокон различают коротковолокнистый хлопок длиной до 27 мм, средневолокнистый длиной 27—35 мм и длиноволокнистый хлопок длиной 35—50 мм. В группе коротковолокнистого хлопка выделяют подпушек (волокна длиной до 20 мм), который используется для получения холстов нетканых полотен и в качестве сырья для производства искусственных волокон.

Для получения *льняного волокна* выращивают специальный вид льна — лен-долгунец, представляющий собой однолетнее травянистое растение с прямым неветвистым стеблем высотой 80—90 см и диаметром 1—2 мм (рис. 1.4, *a*). В лубяном слое коры стебля льна располагаются клетки двух видов: паренхимные и прозенхимные. Тонкостенные равновеликие паренхимные клетки содержат запасы питательных веществ и служат для связывания всех элементов коры. Прозенхимные клетки обладают способностью в процессе роста льна значительно удлиняться, они располагаются вдоль стебля и являются элементарными волокнами льна.

Основным полимером льняного волокна является  $\alpha$ -целлюлоза (80 %); низкомолекулярные фракции составляют 8,5 %, лигнин — 5,2 %, жировосковые вещества — 2,7 %, белковые и зольные — 3,2 %. Таким образом, по сравнению с хлопком в волокне льна содержится большое количество сопутствующих веществ. Присутствие лигнина в составе волокон придает им жесткость, хрупкость и ломкость.

Элементарное волокно льна представляет собой растительную клетку веретенообразной формы с узким каналом и заостренными концами (рис. 1.4, б). Волокно имеет первичную и вторичную стенки, в которых фибриллы расположены по спирали с углом наклона к оси волокна 8—12°. В слоях вторичной стенки по мере приближения к каналу угол наклона фибрилл уменьшается и может достигать 0°. Слоистая структура волокна образуется в результате постепенного отложения целлюлозы на его стенках.

Длина элементарного волокна составляет в среднем 10—38 мм, поперечник — 12—37 мкм, и они зависят от места расположения волокна в стебле: наиболее толстые и короткие располагаются у основания стебля, а в направлении верхушки они становятся тоньше и длиннее. Отдельные элементарные волокна соединяются между собой в пучки с помощью срединных пластинок, состоящих из пектиновых веществ и лигнина. Обычно в пучке содержится 15—30 элементарных волокон, а в стебле — 20—25 пучков. Пучки волокон хорошо развиты по всей длине стебля и благодаря боковым ответвлениям соединяются друг с другом, образуя в стебле сетчатый волокнистый каркас.

Первичная обработка собранного льна состоит из нескольких процессов механических, физических и химических воздействий с целью выделить из стебля пучки волокон. Выделенные волокна подвергают гребнечесанию, в результате чего получают пряжи длинных очищенных комплексных (технических) волокон чесаного льна и короткие волокна — очесы. Из чесаного льна получают гребенную пряжу, идущую на изготовление высококачественных бытовых тканей. Очесы вместе с короткими волокнами, полученными из отходов трепания, используются либо для получения так называемой оческовой пряжи, либо для получения *котонина* — хлопкоподобного льняного волокна. Суть котонизации заключается в уменьшении длины пучков очеса и разделении их до уровня элементарных волокон. В настоящее время применяются несколько способов котонизации: химический (за счет разрушения пектина и лигнина химическими реагентами), механический (путем разрезания или разрыва волокнистой ленты), механохимический и биологический (путем расщепления пектиновых веществ ферментами). Если комплексное волокно чесаного льна имеет длину в среднем 170—250 мм и поперечник 150—250 мкм, то котонизированные волокна получают длиной 25—45 мм и тониной 14—100 мкм.

Это позволяет использовать их в смеси с хлопком, вискозой, шерстью и другими волокнами.

При изготовлении изделий технического назначения (грубые ткани, канаты, сети и т. п.) применяются другие виды целлюлозных волокон. Так, в странах Азии для изготовления бытовых тканей используют *волокно рами*, аналогичное по свойствам льняным волокнам. В последнее время в некоторых странах возобновился интерес к получению *волокон из крапивы*. Она растет практически на всех видах почвы в течение 20 лет и содержит 12—14 % волокон. По данным производителей (Германия), ткани из крапивы выглядят, как льняные, блестят, как шелковые, и обладают теплозащитными свойствами, как шерстяные.

Физико-механические и химические свойства природных целлюлозных волокон определяются их химическим составом и надмолекулярной структурой. Поэтому свойства волокон хлопка и льна, одинаковых по химическому составу, имеют много общего. В то же время особенности в надмолекулярной структуре этих волокон вносят различия в показатели характеристик основных свойств (табл. 1.2).

Из целлюлозных волокон наибольшее относительное разрывное усилие и наименьшее разрывное удлинение имеет элементарное льняное волокно. Это связано с тем, что по сравнению с хлопком лен обладает более плотной и ориентированной структурой. Относительное разрывное усилие комплексного волокна льна несколько ниже элементарного, так как в структуре первого имеются менее прочные срединные пластинки, соединяющие элементарные волокна.

Наличием в целлюлозе гидроксильных групп обуславливаются высокие гигроскопические свойства хлопковых и особенно льняных волокон, что придает материалам из них хорошие гигиенические свойства. При увлажнении целлюлозные волокна набухают, увеличивая свои размеры, особенно поперечные; разрывное удлинение их несколько увеличивается, а прочность повышается на 10—20 %.

При нагревании до температуры 150 °С целлюлозные волокна практически не изменяют своих свойств; при температуре выше 150 °С начинается процесс медленного, а затем быстрого разрушения волокон, сопровождающийся разложением целлюлозы и ее обугливанием. Хлопок и лен относятся к горючим волокнам, они легко загораются в пламени и продолжают быстро гореть после вынесения из него с образованием легко рассыпающегося пепла.

При действии светопогоды активизируется процесс окисления целлюлозы кислородом воздуха, что приводит к снижению механических свойств (прочности, удлинения), повышению жесткости и хрупкости волокон.

Показатели характеристик свойств текстильных волокон

Волокно	Степень полимеризации	Плотность, мг/мм <sup>3</sup>	Линейная плотность, текс	Удельная разрывная нагрузка для волокна	
				сухого, сН/текс	мокрого, % нагрузки для сухого
Хлопковое	5000—6000	1,52—1,56	0,12—0,2	19—36	110—120
Льняное:					
элементарное	20 000—30 000	1,5	0,17—0,3	54—72	110—120
техническое	—	—	5—8	40—60	—
Шерстяное	600—700	1,3—1,32	0,3—1	10,8—13,5	65—75
Шелковое	300	1,37	0,11—0,13	27—31,5	80—90
Вискозное	300—350	1,5—1,56	0,33—0,5	14,5—25	40—50
Полинозное	500—550	1,5—1,56	0,13—0,17	35—40	75—85
Ацетатное	300—400	1,32	0,2—0,5	10,8—13,5	55—60
Триацетатное	300—400	1,28—1,3	0,33—0,67	11—12	80—85



Казеиновое	—	—	0,3—0,6	—	—	—
Полиамидное (капрон, анид)	100—200	1,14	0,17—0,4	35—70	90—95	—
Полиэфирное (лавсан)	100—150	1,38—1,39	0,13—0,44	40—55	100	—
Поливинилхлоридное:						
хлорин	800—1000	1,6	0,17—0,3	18—25	100	—
винитрон	—	1,6—1,75	0,17—0,3	16,2—22,5	100	—
Полиакрилонитрильное (нитрон)	1000—2000	1,16—1,18	0,12—0,3	32—39	100	—
Поливинилспиртовое (винол)	1000—2000	1,31—1,32	0,12—0,3	30—40	75—85	—
Полиэтиленовое	—	0,94—0,96	0,12—0,3	60—70	100	—
Полипропиленовое	1900—5900	0,91—0,92	0,12—0,3	25—45	100	—
Полиуретановое (спандекс, лайкра)	—	1,1—1,25	—	6—8	—	—

Волокно	Удлинение волокна, %		Кондицион- ная влаж- ность, %	Устойчивость к истиранию, циклы	Устойчивость к изгибу, циклы	Термостойкость, °С	
	сухого	мокрого				Температура эксплуатации	Температура разрушения
Хлопковое	7—9	8—10	6	900	50 000	140—150	170—180
Льняное:	2—2,5	2,5—3	11—12	—	—	140—150	170—180
техническое	3	4	11—12	—	—	140—150	170—180
Шерстяное	25—35	30—50	15—17	800	300 000	130—150	170—180
Шелковое	18—24	20—28	10—11	—	—	110—130	170—180
Вискозное	20—30	25—35	12—18	450	16 000	130—150	200—220
Полинозное	11—13	12—15	12—13	—	6 000	130—150	200—220
Ацетатное	22—30	28—35	6—8	409	10 000	100—110	180
Триацетатное	25	28	3,2	160	17 000	—	—
Казеиновое	До 50	До 60	10—11	—	—	150—160	200

Полиамидное (капрон, анид)	20—25	22—28	3,5—4	2200	500 000	120—130	200
Полиэфирное (лавсан)	20—25	20—25	0,2—0,4	1360	30 000	150	230—250
Поливинилхлоридное:							
хлорин	20—24	20—24	0—0,3	200	3600	До 70	80—90
винитрон	20—30	20—30	0—0,2	—	300	—	—
Полиакрилонитрильное (нитрон)	18—22	18—22	0,1—0,9	135	36 000	—	—
Поливинилспиртовое (винол)	30—35	35—43	3,5—5	7000	800 000	—	220
Полиэтиленовое	10—12	10—12	0	—	—	—	127—132
Полипропиленовое	15—30	15—30	0	—	100 000	До 80	—
Полиуретановое (спандекс, лайкра)	600—800	—	1,0—1,5	—	—	—	150—200

Примечание. Прочерк означает, что сведений нет.

Целлюлозные волокна под действием кислот, особенно минеральных, разрушаются, так как происходят разрушение глюкозидных связей и разрыв макромолекул. Более устойчива целлюлоза к действию щелочей. При обработке 18—20%-ным раствором щелочи целлюлозные волокна набухают, распрямляются, сопутствующие низкомолекулярные соединения частично разрушаются, в результате чего повышается прочность волокон, увеличивается их блеск, улучшается способность к окрашиванию и т.п. Подобная обработка используется при мерсеризации хлопчатобумажных тканей.

Присутствие в составе целлюлозы реакционно-способных групп —ОН позволяет ей вступать в соединения с различными веществами, что дает возможность проводить химическую модификацию волокон в процессе специальных отделок текстильных материалов.

**Волокна и нити животного происхождения.** Природные волокна животного происхождения (шерстяное и шелковое) состоят из белков — природных высокомолекулярных соединений, к которым относятся кератин (в шерсти), фиброин и серицин (в шелке).

Макромолекулы природных белков состоят из различных аминокислотных остатков (их около 20), соединенных в длинные полипептидные цепи с помощью ковалентных пептидных связей:



Белки различаются типами аминокислотных остатков, их числом и характером расположения в макромолекулах. В кератине шерсти в большом количестве содержатся остатки аспарагиновой, глутаминовой кислот, цистин, серин, лейцин и др. В состав фиброина и серицина шелка в большом количестве входят глицин, серин и тирозин. Число звеньев в макромолекулах кератина 600—700, в макромолекулах фиброина и серицина — около 300. В настоящее время достоверно неизвестно, в какой последовательности располагаются отдельные виды остатков аминокислот в макромолекулах белков, однако предполагают, что цепи образуются путем многократного повторения различных группировок аминокислот. Радикалы аминокислот в белковых цепях образуют боковые ответвления, размеры которых определяются их химическим составом. Поэтому макромолекулы белков относятся к разветвленному типу (см. рис. 1.1).

Макромолекулы белков натуральных волокон имеют сложную форму  $\alpha$ -спирали, которая закреплена с помощью внутримолекулярных водородных связей между спиралями (см. рис. 1.2). При внешних воздействиях  $\alpha$ -спирали макромолекул могут распрямляться на отдельных участках и переходить в  $\beta$ -спирали.