

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПОЛУЧЕНИЕ, СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ХИМИЧЕСКИХ НИТЕЙ

Методические указания к лабораторным работам по курсу «Материаловедение»
для студентов специальности 1-50 01 01

Витебск
2009

677.017

Получение, строение и свойства химических нитей: методические указания к лабораторным работам по курсу «Материаловедение» для студентов специальности 1-50 01 01 дневной и заочной формы обучения

Витебск: Министерство образования Республики Беларусь, Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет», 2009

Составители: ст. преп. Иваненков Д.А., д.т.н., проф. Кузнецов А.А.

В методических указаниях рассмотрены получение, строение, свойства и области применения искусственных гидратцеллюлозных (вискозных, лиоцелл, полилактидных) и синтетических (полиамидных, полиэфирных, полиакрилонитрильных, полиолефиновых, полиуретановых, арамидных) нитей.

Одобрено кафедрой ткачества УО «ВГТУ»
«27» мая 2009 г., протокол № 12

Рецензент: ст. преп. каф. «Ткачество» Акиндинова Н.С.
Редактор: к.т.н., доц. каф. «Ткачество» Невских В.В.

Рекомендовано к опубликованию редакционно-издательским Советом УО «ВГТУ»

«___» _____ 2009 г., протокол № ____

Ответственный за выпуск: Тищенко О.А.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»

Подписано к печати _____ Формат _____ Уч-изд. лист _____

Печать ризографическая. Тираж _____ экз. Заказ № _____ Цена _____

Отпечатано на ризографе учреждения образования «Витебский государственный технологический университет». Лицензия № 02330/0494384 от 16 марта 2009 г.

210035, Витебск, Московский пр-т, 72.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Лабораторная работа «Получение, строение и свойства химических нитей»	5
1. Основные этапы получения химических нитей и волокон	5
2. Получение, строение и свойства искусственных нитей и волокон	9
2.1. Вискозные нити и волокна	9
2.2. Волокна лиоцелл	11
2.3. Полилактидные волокна	13
3. Получение, строение и свойства синтетических нитей и волокон	14
3.1. Полиамидные нити и волокна	14
3.2. Полиэфирные нити и волокна	17
3.3. Полиакрилонитрильные нити и волокна	19
3.4. Полиолефиновые нити и волокна	21
3.5. Полиуретановые нити и волокна	22
3.6. Арамидные нити и волокна	23
3.7. Углеродные волокна	24
3.8. Стекланные волокна	26
4. Модификация текстильных нитей и волокон	27
4.1. Физическая (структурная) модификация волокон и нитей	27
4.2. Химическая модификация нитей и волокон	28
Литература	30

Введение

Методические указания предназначены для оказания помощи студенту при выполнении лабораторной работы и изучении раздела текстильного материаловедения, посвящённого получению, строению и свойствам химических нитей и волокон. Также они будут полезны студентам-дипломникам, работающим над созданием новых артикулов текстильных изделий.

Рассмотрены получение, строение, свойства и области применения искусственных гидратцеллюлозных (вискозных, лиоцелл, полилактидных) и синтетических (полиамидных, полиэфирных, полиакрилонитрильных, полиолефиновых, полиуретановых, арамидных) нитей.

Приведены торговые марки, под которыми химические волокна выпускаются в странах Европы и США.

Лабораторная работа

Тема. Получение, строение и свойства химических нитей

Цели работы:

1. Рассмотреть современные способы получения химических нитей
2. Освоить методы микроскопического исследования волокон. Изучить строение основных видов химических нитей.
3. Изучить свойства и области применения искусственных и синтетических нитей.

Порядок выполнения работы:

1. Приготовить препараты продольного вида текстильных волокон: вискозных, лиоцелл, полилактидных, полиамидных, полиэфирных, полиакрилонитрильных, полиолефиновых, полиуретановых, арамидных.
2. Рассмотреть под микроскопом готовые препараты поперечных срезов перечисленных волокон и зарисовать их.
3. Описать особенности строения рассмотренных волокон.
4. Рассмотреть современные способы получения химических нитей.
5. Изучить свойства, отметить области применения химических волокон.

1. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПОЛУЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ НИТЕЙ И ВОЛОКОН

Химическими называют волокна, полученные путём переработки природных и синтетических высокомолекулярных соединений (полимеров). В зависимости от происхождения волокнообразующего полимера химические волокна разделяют на две основные группы: **искусственные** волокна (если полимер имеет природное происхождение) и **синтетические** (если полимер получают в результате химического синтеза из низкомолекулярных соединений-мономеров). В свою очередь, особенности химического строения волокнообразующих полимеров позволяют разделить химические волокна на два основных класса: **карбоцепные** волокна, основная цепь макромолекулы полимера в которых построена только из атомов углерода, и **гетероцепные** волокна, у которых в основной полимерной цепи наряду с углеродными связями имеются также связи между атомами углерода и так называемыми гетероатомами.

Возможность получения химических волокон из различных веществ (клей, смолы) предсказывалась ещё в 17-18 веках, но только в 1853 году англичанин Аудемарс впервые предложил формовать бесконечные тонкие нити из раствора нитроцеллюлозы в смеси спирта с эфиром, а в 1891 году французский инженер И. де Шардонне впервые организовал выпуск подобных нитей в промышленном масштабе. С этого времени началось быстрое развитие произ-

водства химических волокон. В 1893 году освоено производство медноаммиачного волокна из растворов целлюлозы в смеси водного аммиака и гидроокиси меди. В 1893 году англичанами Кроссом, Бивеном и Бидлом предложен способ получения вискозных волокон из водно-щелочных растворов ксантогената целлюлозы, осуществлённый в промышленном масштабе в 1905 году. В 1918-20 годах разработан способ производства ацетатного волокна из раствора частично омыленной ацетилцеллюлозы в ацетоне, а в 1935 году организовано производство белковых волокон из молочного казеина. Производство синтетических волокон началось с выпуска в 1932 году поливинилхлоридного волокна (Германия). В 1940 году в промышленном масштабе выпущено наиболее известное синтетическое волокно – полиамидное (США). Производство в промышленном масштабе полиэфирных, полиакрилонитрильных и полиолефиновых синтетических волокон осуществлено в 1954-60 годах.

Анализ мирового потребления различных видов волокон показывает, что имеет место устойчивая тенденция снижения объемов потребления шерстяных и хлопковых волокон, целлюлозных волокон и нитей, полиамидных штапельных волокон, стабилизация объемов потребления акриловых волокон, полиамидных нитей и резкое увеличение потребления полиэфирных и полипропиленовых штапельных волокон и нитей. Удельный вес химических волокон в общем мировом душевом потреблении волокон составляет 62%. С учетом долгосрочного прогноза развития к 2015 г. доля их потребления увеличится до 80%. Темпы развития производства химических нитей в 2010–2025 гг. окажутся опережающими по сравнению с химическими волокнами. В странах СНГ удельный вес потребления химических волокон и нитей в сырьевом балансе текстильной и легкой промышленности в 2008 г. составил около 29 %.

Волокнообразующих полимеров известно много (более ста), но используется для производства химических волокон небольшая часть этих полимеров. Несмотря на то, что все волокна получаются из разных по химическому составу полимеров, обладающих разными свойствами, в их производстве много общего. Это позволяет выделить основные этапы в производстве любого химического волокна.

Получение сырья и его первичная обработка. Для получения исходных волокон необходимо выделить полимер из природных продуктов или из древесины целлюлозу или из белков растительного и животного происхождения. Для получения синтетических волокон необходимо получить полимер путём реакции синтеза (полимеризации или поликонденсации) из продуктов переработки природного газа, нефти, каменного угля. Полимеры, полученные из природных веществ, иногда требуют ещё дополнительной обработки другими соединениями.

Приготовление прядильного раствора или расплава. Макромолекулы полимера в волокнах и нитях должны располагаться вдоль оси нити или волокна. Поэтому необходимо создать возможность перемещения для макромолекул. Для этого приготавливают раствор полимера или расплав. Раствор приготавливают в том случае, если имеется дешёвый и доступный растворитель. Расплав можно приготавливать только в том случае, если температура плавления ниже температуры разложения. Чаще всего при нагревании до плавления полимер начинает разрушаться. Одновременно с приготовлением прядильного раствора и расплава выполняются следующие операции:

- а) смешивание нескольких партий раствора для получения большей партии по объёму, чтобы получалось больше однородных по свойствам волокон или нитей;
- б) многократная фильтрация для удаления мелкого сора и нерастворившихся кусочков полимера;
- в) обезвоздушивание. Для этого раствор в течение длительного времени выдерживают при обычных условиях, или некоторое время под вакуумом, когда пузырьки воздуха очень быстро поднимаются на поверхность и лопаются.

Формование нитей и волокон. При этом прядильный раствор или расплав продавливается через фильеры (мельчайшие отверстия специальных колпачков). Струйки затвердевают, превращаясь в нити.

Формование нитей и волокон из раствора по мокрому способу.

В этом случае (рисунок 1) струйки раствора попадают в раствор осадительной ванны, где между струйками и раствором происходят физико-химические и химические процессы, в результате которых струйки затвердевают. Таким способом формуют: вязкие волокна и нити, медно-аммиачные, нитроновые волокна, хлоринные волокна и нити и др.

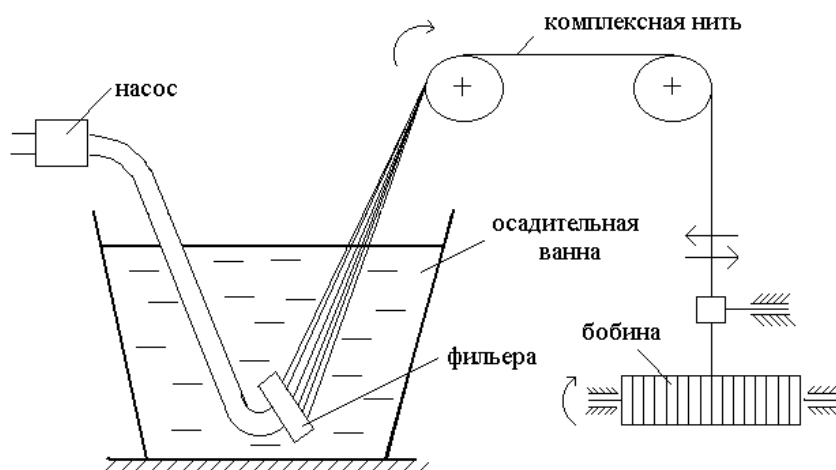


Рисунок 1 – Формование волокон из раствора по мокрому способу

Формование нитей и волокон из раствора по сухому способу.

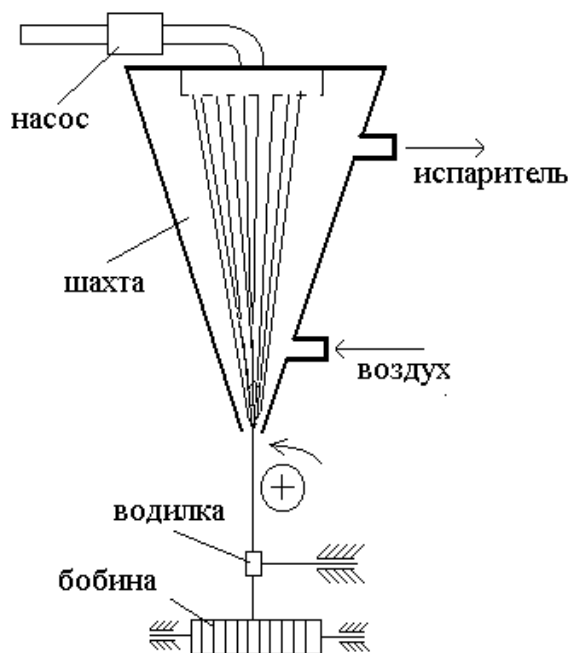


Рисунок 2 – Формование волокон из раствора по сухому способу

В этом случае струйки раствора поступают в шахту (рисунок 2), где обдуваются горячим воздухом или инертным газом и застывают в результате испарения их растворителя (ацетатные нити, триацетатные волокна и нити, нитроновая комплексная нить). При формовании волокон и нитей по сухому способу скорость высыхания нитей в 1,5..2 раза выше, формование производится из более концентрированных растворов, нити не требуют последующей промывки (нет сточных вод). Но волокно более выгодно выпускать по мокрому способу, т.к. число отверстий в фильере может быть гораздо больше, чем при сухом способе формования. С одного ра-

бочего места можно получить до 15 тысяч элементарных нитей.

Формование волокон из расплава.

Струйки расплава попадают в шахту, где обдуваются струйками холодного воздуха или инертного газа и затвердевают в результате охлаждения (капроновые, лавсановые, полиэтиленовые, полипропиленовые нити).

Полученные нити подвергают отделке, включающей в себя следующие операции.

Термофиксация и вытягивание нитей. Сформованные нити имеют очень большое удлинение и непригодны для переработки, поэтому нити вытягивают. При этом макромолекулы распрямляются и ориентируются вдоль оси нити – межмолекулярные нити при этом возрастают и нить делается прочнее, а её удлинение при этом резко снижается. Для того чтобы несколько увеличить удлинение нити подвергают термообработке, при этом макромолекулы несколько изгибаются при сохранении ориентированного положения вдоль оси.

Отделка волокон и нитей. Отделка включает промывку нитей, нанесение на поверхность реагентов для придания мягкости, эластичности, снижения электризуемости, блеска, придания белизны, окрашиваемости.

Текстильная переработка волокон и нитей. Включает в себя, по необходимости, окончательное кручение, термофиксацию, перемотку, текстурирование, гофрирование, резку жгута, маркировку, упаковку.

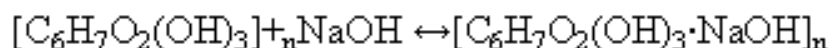
В последнее время получают распространение такие способы формования, как прямое формование из расплава в аэродинамическом или центробежном поле, формование плёночных и фибриллированных нитей.

2. ПОЛУЧЕНИЕ, СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ИСКУССТВЕННЫХ НИТЕЙ И ВОЛОКОН

2.1. Вискозные нити и волокна

Основным видом исходного материала для получения вискозного волокна является древесная целлюлоза ели, пихты, сосны, бука. Технологический процесс выделения целлюлозы из древесины состоит из подготовки древесины, ее варки, промывки, отбели, промывки и сушки.

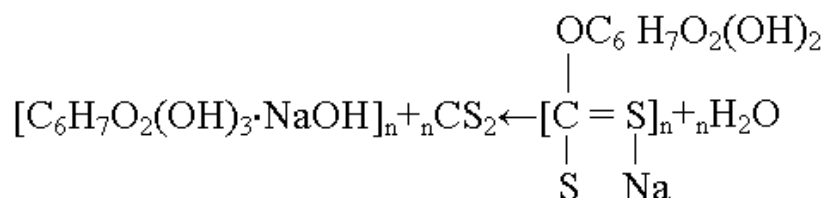
На заводы искусственного волокна целлюлоза поступает в виде плотных листов. Древесная целлюлоза обрабатывается 18%-ным раствором едкого натра (процесс мерсеризации). В результате образуется химическое соединение – щелочная целлюлоза.



Щелочная целлюлоза отжимается и измельчается для повышения скорости и равномерности протекания реакций при последующей обработке.

Измельченная целлюлоза проходит процесс предсозревания, т.е. выдерживания в течение 10..30 часов при температуре 25..30⁰С. В это время в результате окисления щелочной целлюлозы кислородом воздуха значительно понижается степень полимеризации целлюлозы, что обеспечивает в последующем необходимую вязкость раствора. Степень полимеризации исходной целлюлозы 800..1200, после процесса предсозревания – 300..375.

Затем щелочную целлюлозу обрабатывают сероуглеродом, при этом образуется натриевая соль сложного кислого эфира целлюлозы и дитиоугольной кислоты, т.е. ксантогенат целлюлозы.



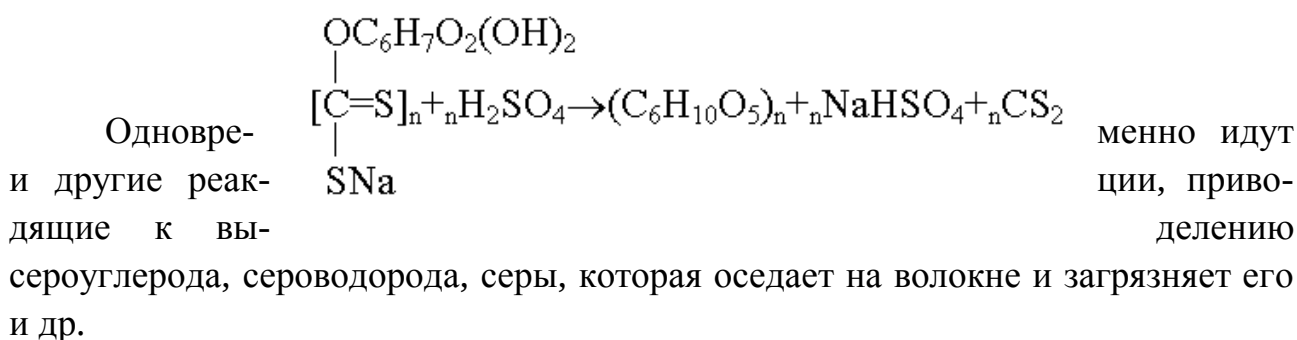
Затем ксантогенат целлюлозы растворяют в растворе щелочи (4÷5% NaOH), при этом образуется вязкий прядильный раствор – вискоза.

Прядильный раствор выдерживают в течение 18..30 часов – процесс созревания. Во время созревания происходит комплекс химических и физико-хи-

мических процессов, приводящих к снижению ее устойчивости к действию химических реагентов и увеличению способности к коагуляции (затвердеванию).

Одновременно с процессом созревания осуществляются такие операции, как фильтрование и обезвоздушивание (выдерживание под вакуумом в течение 20..24 часов).

Формование вискозного волокна производится из раствора по мокрому способу. В состав осадительной ванны входят: вода, серная кислота, сульфаты натрия и цинка. В результате взаимодействия ксантогената целлюлозы и серной кислоты выделяется гидратцеллюлоза:



Струйки вискозы коагулируют неравномерно по толщине, что приводит к образованию так называемой оболочки и ядра волокна.

Наиболее прочной является оболочка ($\approx$ в 3,5 раза). Поэтому для получения высокопрочных волокон необходимо создать такие условия коагуляции, которые позволили бы сформировать волокно, имеющее по всему поперечнику структуру оболочки. Формование обычного вискозного волокна отличается от формования нитей лишь применением фильер со значительно большим (5000..12000) числом отверстий.

Отделка включает в себя следующие операции:

Промывка. В результате многократной промывки водой с поверхности нитей удаляется серная кислота и соли.

Десульфурация (удаление серы). Свежесформованные волокна удерживают на своей поверхности 1..1,5% серы от массы сухого волокна. Наличие серы придает ему желтоватый оттенок, затрудняет текстильную переработку. После промывки остается 0,25..0,30% серы. При обработке раствором едкого натра, сульфита или сульфида натрия образуются полисернистые соединения, которые растворяются в воде.

Отбелка. Заключается в обработке нитей перекисью водорода или гипохлорида натрия.

Кисловка. Обрабатывают 1%-ным раствором серной кислоты для перевода в растворимое состояние солей кальция и железа, магния.

Авиваж. Обработка растворами для придания свойств, необходимых для дальнейшей переработки (мягкости, снижения электризуемости и т.д.).

Вискозные нити и волокна имеют плотность $\gamma = 1,52 \text{ мг/мм}^3$, среднюю относительную разрывную нагрузку $P_o = 16..20 \text{ сН/текст}$ и удлинение $\epsilon_p = 18..24 \%$, по сравнению с хлопком обладают лучшей гигроскопичностью, при нормальных условиях поглощают $\approx 13 \%$ влаги ($W_n = 13 \%$; $W_k = 18..24 \%$), имеют хорошую светостойкость, среднюю стойкость к истиранию. Волокно не обладает термопластичностью. При повышении температуры до $100..120^\circ\text{C}$ прочность не только не снижается, но даже возрастает в результате удаления влаги.

Изделия могут в течение небольшого времени эксплуатироваться при температуре $100..120^\circ\text{C}$ без потери прочности. К недостаткам следует отнести большую потерю прочности в мокром состоянии ($45..50 \%$), усадку при набухании, достигающую $12..16 \%$, высокую сминаемость и невысокие упругие свойства. Волокна обладают невысокой стойкостью к действию кислот и щелочей.

Главный недостаток, во многом определяющий спад производства вискозных волокон – экологически грязная технология, основанная на применении сероуглерода. При разложении ксантогената помимо сероуглерода в значительном количестве выделяется ядовитый газ сероводород. Для создания нормальных санитарно-гигиенических условий машины для получения волокон герметизируют, производственные помещения оснащают мощными системами вентиляции и улавливания вредных газов, остатки которых выбрасываются в атмосферу через трубы высотой до 120 м . Производство вискозного волокна требует большого расхода электроэнергии и химических материалов (более $1,5 \text{ кг}$ на 1 кг волокна).

2.2. Волокна лиоцелл

Альтернативой вискозному производству стал технологический процесс прямого растворения древесной целлюлозы (без химической модификации) в сильно полярном органическом растворителе – N-метилморфолин-N-оксиде (NMMO). Экологическая чистота процесса обусловлена тем, что этот растворитель практически полностью регенерируется и не образует вредных продуктов распада. На рынке текстильных материалов такие волокна получили название "лиоцелл". Процесс их производства экономичен, так как включает гораздо меньше стадий, чем вискозный процесс. Общими для выработки волокон лиоцелла и вискозы остались только исходное сырье и химический состав получаемых волокон.

В отличие от вискозной технологии, основанной на химических реакциях целлюлозы со щелочью и сероуглеродом, растворение целлюлозы в NMMO – прямой, чисто физический процесс. Остальные стадии получения лиоцелла: формование, коагуляция, сушка – также имеют физическую природу. Эта технология позволяет сократить расход химических материалов в сотни раз в сравнении с производством вискозы. Относительно простой способ получения

формовочных растворов, высокоскоростной процесс формования волокна обеспечивают высокую производительность. Ткани и изделия из лиоцелла хорошо окрашиваются, не усаживаются при стирке, они приятные и мягкие на ощупь, внешне напоминают хлопок.

Прочность и упругость волокон лиоцелла как в сухом, так и в мокром состоянии выше, чем вискозных, а усадка при стирке меньше. Такие разительные отличия в свойствах во многом обусловлены тем, что технология производства лиоцелла не приводит к значительному уменьшению длины макромолекул целлюлозы. При растворении целлюлозы в NMMO степень полимеризации (число элементарных звеньев в макромолекуле) снижается всего на 10-15%, тогда как вискозу подвергают специальной обработке, чтобы снизить степень полимеризации с 1000-1200 единиц в исходном сырье до 350-550 в готовом продукте.

Волокно лиоцелл и материалы на их основе близки по свойствам к вискозным, но имеют и свои особенности: вследствие высокой ориентации макромолекул волокно обладает пониженной изнosoустойчивостью и деформативностью.

Целлюлозные волокна с новыми, улучшенными свойствами обладают следующими характеристиками:

- новый характер грифа;
- блеск, присущий натуральному шелку;
- быстрое и глубокое крашение с высокой степенью поглощения красителя;
- специфическая форма поперечного сечения волокна;
- высокий модуль во влажном состоянии, следовательно, высокая стабильность размеров;
- высокая прочность в крученой пряже;
- высокая относительная прочность во влажном состоянии.

Одним из наиболее важных физических свойств волокна лиоцелл является фибриллизация, что означает тенденцию индивидуальных волоконцев расщепляться вдоль поверхности волокна (при этом один конец связан с его телом), благодаря набуханию и механическому напряжению (изгибанию) волокна во время мокрой отделки. Основной причиной появления эффекта фибрилляции считается повышенная кристалличность и соответственно высокий модуль упругости этих волокон. К снижению же фибрилляции может привести некоторое увеличение доли аморфной составляющей волокна, что одновременно приводит к возрастанию его деформационной способности и устойчивости к механическому истиранию. Фибриллизация усиливается при высокой температуре, в щелочной pH среде, а также в условиях сильного механического напряжения.

Торговые названия: лиоцелл (Австрия), тенцелл (Великобритания), ньюцелл (Германия), Альцеру (Швейцария), Орцелл (Россия).

2.3. Полилактидные волокна

Полилактидные волокна получают из возобновляемого сырья, получаемого из крахмалосодержащих растительных отходов. Исходным сырьем для биохимического процесса служит крахмал (маисовый, кукурузный, картофельный) или меласса, получаемая при производстве сахара из сахарной свеклы или сахарного тростника, а также некоторые другие растительные продукты, содержащие гексозаны. Эти исходные материалы подвергаются гидролизу с образованием глюкозы и других гексоз, которые подвергаются ферментации и трансформируются в молочную кислоту. Дилактид, полученный путём очищения молочной кислоты, полимеризуется с получением полилактида, являющегося плавким полимером (температура плавления 175...190°C). Формуют волокна и нити из расплава с последующими операциями вытягивания и релаксации.

Производство полилактидных волокон по сравнению с другими технологиями получения химических волокон имеет ряд существенных преимуществ – наличие возобновляемого исходного сырья (сельскохозяйственные отходы), пониженное энергопотребление, минимизация вредных отходов и др.

Полилактидные волокна по своим свойствам приближаются к полиэфирным и предназначены для производства высококачественных текстильных материалов и изделий бытового, медицинского и санитарно-гигиенического назначения, изготовления технических материалов.

Благодаря нетоксичности исходных, промежуточных и готовых продуктов и возможности их рециклинга производство полилактидных волокон не вызывает сложных экологических проблем и не наносит урон окружающей среде. Основные свойства гидратцеллюлозных волокон представлены в таблице 1. Таблица 1 – Основные показатели физико-механических свойств гидратцеллюлозных волокон

Показатели	Вискозные обычные	Вискозные высокомолекулярные	Лиоцелл
Доля целлюлозы, %	100	100	100
Влажность, %	13..14	12..13.5	11..13
Модуль деформации, ГПа	3..5	5..6,5	8..10
Прочность, сН/текс	20..26	32..36	35..47
Удлинение, %	18..25	12..15	11..16
Сохранение прочности в петле, %	30..40	20..30	30..40
Сохранение прочности в мокром состоянии, %	50..55	60..65	60...0
Модуль деформации в мокром состоянии, ГПа	0,6..1	1,5..2	3..4.5

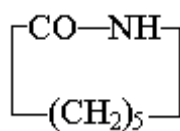
3. ПОЛУЧЕНИЕ, СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА СИНТЕТИЧЕСКИХ НИТЕЙ И ВОЛОКОН

3.1. Полиамидные нити и волокна

Полиамид (нейлон) был самым первым синтетическим волокном. Он был изобретен в США в 1938 году доктором Уильямом Крузерсом в исследовательских лабораториях фирмы «Дюпон». Самыми первыми готовыми изделиями, в которых был использован полиамид, в 1940 году были чулки. Чулочные изделия, изготовленные из нейлона, обладали явными преимуществами перед аналогичными товарами из натуральных волокон: нейлон обеспечивал чулкам легкость, прочность и изнosoустойчивость. В период с 1960 по 1982 г. полиамидные нити были основным видом химических нитей. Народное имя «синтетика» долгое время относилось исключительно к материалам из ПА нитей. Капроновые волокна и нити являются наиболее распространенными из полиамидных.

Мономером для получения капрона является лактам ϵ - аминокaproновой кислоты, иначе называемой капролактамом, или капроамид, который синтезируется из фенола и бензола.

Структурная формула капролактама:



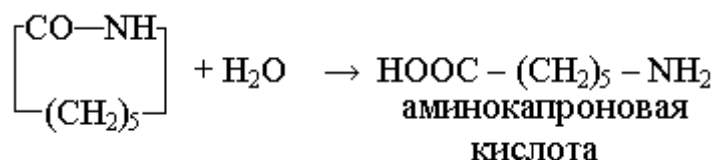
Капролактамы – белое кристаллическое вещество, растворяется почти во всех растворителях и плавится при температуре 69-71⁰С.

Синтез капролактама состоит из следующих операций:

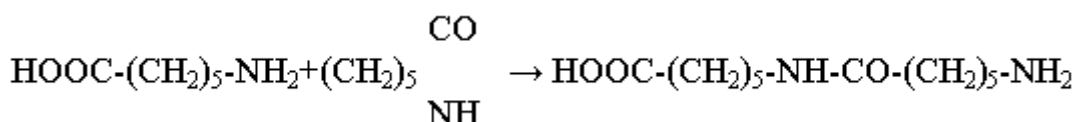
- плавление капролактама;
- полимеризация капролактама;
- получение поликапролактамовой ленты;
- измельчение ленты в крошку;
- экстракция низкомолекулярных соединений из гранулята;
- сушка гранулята.

Плавление капролактама осуществляется в среде азота при температуре 85..95⁰С. Капролактамы через фильтр под давлением подаются в автоклав. Полимеризация капролактама проводится под давлением в среде азота (наличие кислорода может привести к сшивке макромолекул и получению неплавкого полимера).

В качестве стабилизатора (регулирует молекулярный вес полимера) применяется уксусная или адипиновая кислота. В качестве активатора – водный раствор соли АГ. Полимеризация происходит при температуре 250-260⁰С и носит ступенчатый характер. Сначала в результате взаимодействия капролактама и воды образуется аминокaproновая кислота:



Затем она взаимодействует с молекулой капролактама с образованием димера:



Далее образуется тример и так далее до получения продукта со степенью полимеризации, определяемой условиями проведения реакции. Полученный полимер под давлением вытекает через щелевидное отверстие в виде ленты и поступает для охлаждения в ванну с водой. После охлаждения полученная лента поступает на рубильный станок и измельчается в крошку. Для удаления мономера и низкомолекулярных примесей крошку обрабатывают горячей водой ($t = 95..100^\circ\text{C}$), после чего она отжимается и высушивается при температуре $110..125^\circ\text{C}$.

Формование капроновых нитей и волокон осуществляется из расплавов. Крошку загружают в бункер прядильной машины, бункер герметически закрывают и пропускают азот для удаления следов кислорода.

Крошка плавится на плавильной решетке и расплав стекает в приемный конус под решеткой (так называемое «болото»). Температура плавления $260..270^\circ\text{C}$. Перед поступлением в фильеру расплав фильтруется, проходя через три слоя кварцевого песка. Вытекающие струйки расплава поступают в шахту прядильной машины, где они обдуваются потоком холодного воздуха и застывают, превращаясь в нити. Дальнейшая обработка заключается в вытягивании с одновременным кручением, термофиксации для уменьшения последующей усадки, сушке, кондиционировании и перемотке нитей на выпускные паковки.

Волокно имеет высокую прочность, самую высокую устойчивость к истиранию: в 10 раз выше, чем у хлопка, 20 раз – чем у шерсти, 50 раз выше вискозного волокна. Волокно обладает очень высокой стойкостью к многократным деформациям растяжения и изгиба, устойчиво к действию микроорганизмов. Прочность в мокром состоянии снижается не более, чем на 10 %.

К недостаткам следует отнести следующие свойства: низкая гигроскопичность, при нормальных условиях поглощает 3,5..4 % влаги ($W_k = 5\%$), низкая светостойкость и термостойкость. Уже при температуре 65°C начинает необратимо терять прочность, имеет низкий начальный модуль упругости, темпе-

ратура размягчения – 170..235°C, плавления – 215..255°C. Имеет плохой гриф, т.е. недостаточно упруго на ощупь, повышенную гладкость, нестойко к действию щелочей и концентрированных минеральных кислот.

Наиболее известные производители фирменных полиамидных волокон: BASF, DuPont (производит из нейлона 6.6 волокно Antron®, антрон), Solutia. Отличие фирменного волокна заключается в его антистатичности и грязеотталкивающих свойствах. Для решения этих задач волокно либо покрывается грязезащитным составом (тефлоном), либо для придания волокну антистатических свойств на молекулярном уровне в него добавляются графитовые добавки, либо металлическое волокно. Различные формы сечения волокна позволяют достичь эффекта «незаметности» грязи, а также «световой игры» самого покрытия.

Капроновые нити и волокна широко применяются для производства чулочно-носочных и трикотажных изделий, для производства швейных ниток и галантерейных изделий (кружева, тесьмы, ленты), канатов, рыболовных сетей, конвейерных лент, корда, тканей технического и бытового назначения.

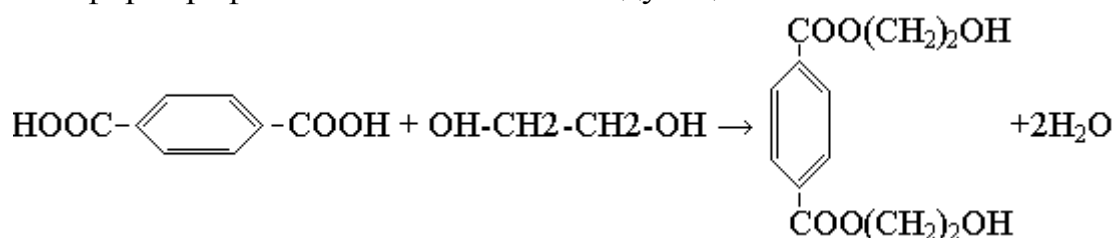
Большое распространение получили текстурированные (высокообъемные) нити из полиамидных волокон. Использование профилированных волокон позволяет придавать тканям различные эффекты, а также способствует лучшей сцепляемости волокон в нитях. Широко применяется штапельное полиамидное волокно в смеси с другими волокнами (хлопком, шерстью, вискозным волокном). Добавление полиамидных волокон в смеску обычно не превышает 10-15%, что почти не ухудшает гигроскопических свойств изделий, но позволяет значительно увеличить срок их службы.

Торговые названия: капрон, анид, найлон, номекс, перлон, дедерон, амилан, ниплон, силон, стилон, лилион.

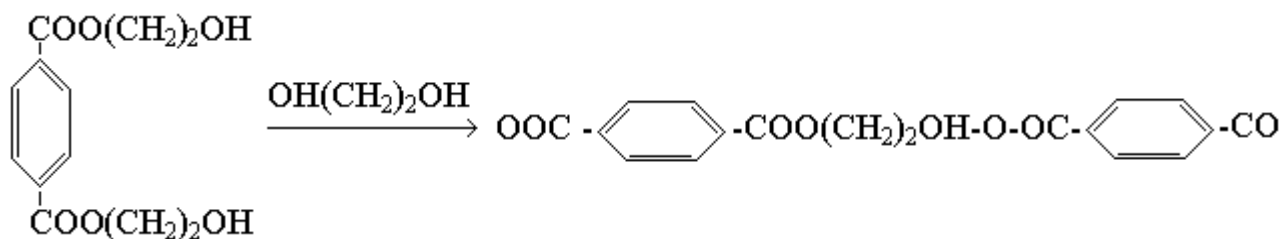
3.2. Полиэфирные нити и волокна

Первое промышленное производство полиэтилентерефталатного (ПЭТ) волокна организовано в США в 1953, первое сополиэфирное волокно (дакрон Т-64) получено в США в 1962.

Полиэфиры образуются путем поликонденсации гликолей и дикарбоновых кислот. Полиэтилентерефталатными называются волокна, полученные из терефталевой кислоты и этилен гликоля $\text{OH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$, сырьем для которых служит ксилол (из каменноугольной смолы) или толуол (получаемый при крекинге нефти). При взаимодействии терефталевой кислоты и этиленгликоля получается эфир терефталевой кислоты по следующей схеме:



При поликонденсации дигликолевого эфира терефталевой кислоты образуется полиэтилентерефталат и выделяется этиленгликоль.



Реакция является обратимой, поэтому для получения высокомолекулярного полиэфира (лавсана) процесс проводят в глубоком вакууме. В качестве стабилизатора применяется фосфорная кислота. Процесс поликонденсации проводится в глубоком вакууме при температуре $t = 270..275^\circ\text{C}$ и интенсивном перемешивании реакционной массы. Полученный полимер так же, как и при получении капрона, выдавливается через щель в виде ленты на движущийся транспортер, который охлаждается снизу водой. Лента измельчается в дробильных мельницах. Для получения волокна высокого качества, гранулят должен содержать не более 0,01% влаги. Сушку гранулята производят при температуре $110..130^\circ\text{C}$.

Нити и волокна формуют из расплава при температуре $270..275^\circ\text{C}$. ($T_{\text{плавл}} = 260^\circ\text{C}$, $T_{\text{деструкц}} = 290^\circ\text{C}$). Струйки расплава поступают в шахту, где обдуваются воздухом ($t = 20^\circ\text{C}$), охлаждаются, затвердевают и превращаются в нити.

Свежесформованные нити наматываются на цилиндрические патроны с массой нити на одной бобине 5..13 кг. Нити хранят на бобинах при комнатной температуре и относительной влажности воздуха 70..80% не более 2..3 суток. Затем подвергаются ориентационному вытягиванию при $t = 100..150^\circ\text{C}$.

Полиэфирные волокна получают также из полигликолида и полилактида (используют как рассасывающийся шовный материал в хирургии), поликарбонатов (мол. м. 30000-50000), перспективны волокна из жидкокристаллических полиэфиров.

Плотность волокна $\gamma = 1,38 \text{ мг/мм}^3$. Лавсан является прочным волокном $R_p = 40..50 \text{ сН/текс}$, (высокопрочное $R_p = 60..80 \text{ сН/текс}$), $\varepsilon_p = 20..25\%$. Обладает высокой устойчивостью к смятию (в 2 раза выше, чем шерсть), волокно упругое (при удлинении 5..6% деформация является полностью обратимой), формоустойчиво (хорошо сохраняет приданную форму плиссе, гофре). Волокно стойко к истиранию (хотя эта устойчивость меньше, чем у капрона в 4..4,5 раза). Волокно обладает высокой светостойкостью (по этому показателю уступает только полиакрилонитрильным волокнам), имеет шерстоподобный внешний

вид, устойчиво к действию бактерий и микроорганизмов. Лавсан теплостоек и превосходит по этому свойству все натуральные и химические волокна, кроме термостойких волокон (небольшая потеря прочности наблюдается лишь при $t = 160..170^{\circ}\text{C}$).

Основными недостатками является низкая гигроскопичность, при нормальных условиях поглощает 0,6% влаги, $W_k = 1\%$, электризуемость, плохая окрашиваемость, склонность к пиллингу, жесткость изделий, плохая драпируемость. Волокно устойчиво к действию кислот (кроме азотной и серной), нестойко к действию щелочей.

Недостатки ПЭТ волокна во многом устраняются химической модификацией, например алифатическими и ароматическими дикарбоновыми кислотами или их эфирами, гидроксикислотами, диолами, содержащими также другие функциональные группы. Модифицирующие добавки вводят на стадии синтеза ПЭТ. Сополиэфирные волокна (дилана, велана, тесил, викрон, грилен и др.) получают по тем же технологическим схемам, что и ПЭТ, которым они близки также по свойствам и областям применения, хотя имеют и ряд особенностей. Например, волокно, модифицированное добавкой 6-10% по массе смеси диметилизофталата и диметилортофталата, отличается повышенной усадкой (25-70%), что делает его ценным для получения высокообъемной пряжи в смеси с другими малоусадочными волокнами, а также для получения нетканых материалов и основы искусственной кожи. Волокно из продукта поликонденсации терефталевой кислоты или ее диметилового эфира и 1,4-бмс-(гидроксиметил)циклогексана плавится при более высокой температуре (около 295°C), обладает меньшими пиллингом и плотностью ($1,22\text{ г/см}^3$), лучшей окрашиваемостью, более высокой теплостойкостью, чем волокно из ПЭТ. Волокно из полибутилентерефталата имеет меньшую плотность ($1,32\text{ г/см}^3$), чем из ПЭТ, хорошо окрашивается дисперсными красителями, отличается высокой хемостойкостью. Текстильные нити из полиэтиленоксибензоата, получаемого поликонденсацией этилового эфира п-гидроксibenзойной кислоты, стойки к УФ облучению. По сравнению с волокном из ПЭТ они более устойчивы в воде, кислотах и щелочах, обладают высокой усадкой в кипящей воде (до 30%), лучшей окрашиваемостью, однако размягчаются и плавятся (соотв. при 185 и 223°C) при более низких температурах; модуль деформации растяжения 4-8 ГПа. Волокна из полиэтиленнафталата - продукта поликонденсации 2,6-нафталиндикарбоновой кислоты и алифатических гликолей с числом групп CH_2 от 2 до 6 отличаются высокими прочностью (80 сН/текс), модулем деформации растяжения (30 ГПа) и термостойкостью. Они сохраняют до 100% прочности при нагревании в течение 96 ч при 200°C , устойчивы в горячей воде в течение 10 суток, их усадка в кипящей воде менее 2%.

Комплексные полиэфирные нити используются для изготовления транспортерных лент, приводных ремней, канатов, парусов, рыболовных сетей и тралов, бензо- и нефтестойких шлангов, электроизоляционных и фильтровальных материалов и др. Из монопнити вырабатывают сетки для бумагоделательных машин, щетки для хлопкоуборочных комбайнов и зерноочистительных машин, застежки "молния", струны ракеток, фильтры и т. д. Комплексные нити низкой линейной плотности (40 - 50 дтекс) применяют для обмотки электропроводов малого сечения и в медицине (синтетические кровеносные сосуды и хирургические нити).

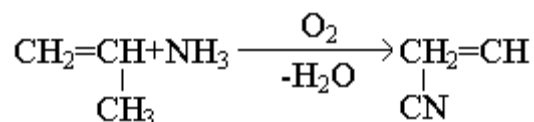
Из гладких текстильных нитей вырабатывают трикотаж, ткани типа тафты, жоржета, крепа, пике, твида, атласа, фасонные ткани (трико-кружево), гардинно-тюлевые изделия, плащевые и зонтичные ткани, из текстурированных – плательные и костюмные ткани, трикотажные изделия, мужские и дамские сорочки, детскую одежду, чулки, носки и мн. др.

Волокна применяют в основном в смеси с шерстью, хлопком или льном (33-67%). Присутствие полиэфирного волокна повышает износостойкость и прочность, понижает сминаемость и усадочность ткани, позволяет сохранить красивый внешний вид и устойчивость формы готовых изделий при эксплуатации. Из полиэфирного волокна в чистом виде или в смеси с другими природными и химическими волокнами выпускают костюмные, пальтовые, сорочечные, плательные ткани, технические сукна, нетканые материалы.

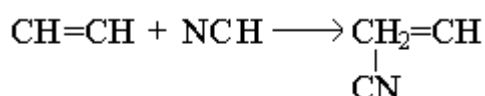
Торговые названия: лавсан, терилен (Великобритания), дакрон (США), теторон (Япония), диолон (ФРГ), элана (ПНР), тергаль (Франция).

3.3. Полиакрилонитрильные нити и волокна

Основным исходным сырьем для получения нитронового волокна является акрилонитрил. В настоящее время наибольшее распространение получил способ синтеза акрилонитрила из пропилена и аммиака. Реакция, основанная на окислении пропилена и аммиака кислородом воздуха, протекает при температуре 450-470⁰ С:



или другим способом:



Акрилонитрил представляет собой легколетучую бесцветную ядовитую жидкость $t_{\text{кип}} = 78^0\text{C}$. Полимеризация акрилонитрила проводится в растворе-

ле, в котором растворяется мономер и образующийся полимер. Таким растворителем является диметилформамид $\text{HCON}(\text{CH}_3)_2$. Полученный концентрированный раствор полимера используется непосредственно для формирования волокон. Предварительно прядильный раствор подвергается смешиванию, фильтрации и обезвоздушиванию. Нитроновое волокно формуется, как правило, по мокрому способу. В качестве осадительной ванны может служить водный раствор диметилформамида.

Сухой способ формирования используется преимущественно для комплексных нитей. Однако, в промышленности в основном выпускается нитроновое волокно ($\approx 99,5\%$), а комплексная нить выпускается в очень малых количествах ($\approx 0,5\%$). Последующая обработка состоит из следующих операций: промывка, вытягивание, термофиксация, дополнительное вытягивание для получения высокоусадочных волокон, кручение, перемотка.

Плотность волокна $1,16..1,18 \text{ г/см}^3$. Волокно имеет среднюю прочность $P_r = 35..40 \text{ сН/текс}$ (высокопрочное $50..60 \text{ сН/текс}$) $\epsilon_p = 22..35\%$. По упругим свойствам волокно обладает самой высокой стойкостью (кроме фторлона), по термостойкости не уступает лавсану (непродолжительное время может эксплуатироваться при температуре $180..200^\circ\text{C}$). Шерстоподобно, имеет хороший и теплый гриф, по теплопроводности приближается к шерсти, легко подвергается очистке, не изменяет свои свойства в мокром состоянии.

К недостаткам следует отнести легкую электризуемость волокон, низкую гигроскопичность (при нормальных условиях поглощает $0,9..1\%$ влаги, $W_k=2\%$), трудность окрашивания, горючесть, малую стойкость к истиранию. Волокно недостаточно стойко (по сравнению с другими карбоцепными волокнами) к действию кислот и щелочей. Растворители, применяемые для стирки и чистки одежды (бензин, ацетон, четырёххлористый углерод, дихлорэтан и др.), не влияют на прочность волокна, фенол, м-крезол и формалин разрушают волокно.

Нитрон выпускается в виде штапельных волокон. Их применяют для изготовления верхнего трикотажа, ковров, плательных и костюмных тканей. Кроме того, нитрон используют для изготовления белья в смеси с хлопком и вискозным волокном, гардин, брезентов, обивочных и фильтровальных тканей. Большую часть ПАН волокон используют в чистом виде или смесях с шерстью для изготовления верх. трикотажа. При этом существенно, что деформационные (кривая нагрузка - удлинение) и теплозащитные свойства ПАН волокон в большей степени, чем у других химических волокон, близки к шерсти. Кроме того, ПАН волокна применяют при производстве искусственного меха и ковров, а в смесях с шерстью – одежных и драпировочных тканей. ПАН волокна технического назначения применяют в качестве армирующих добавок при получении специальных бетонов, взамен асбеста при изготовлении волокнисто-

цементных кровельных плит, труб и подобных материалов. Быстро развивается производство волокон, предназначенных для переработки в различные виды углеродных волокон. Ткани из ПАН волокон используют для фильтрации горячих (до 150 °С) газов.

Волокна легко поддаются модификации, что дает возможность устранять их отрицательные свойства.

Торговые названия: нитрон, акрилан, аиилана, вольприла, воннел, долан, дралон, зефран, кашмилон, куртель, орлон, тореилон, экслан и др.

3.4. Полиолефиновые нити и волокна

К полиолефиновым относятся полиэтиленовые (ПЭ) и полипропиленовые (ПП) волокна. Наибольшее распространение получили полипропиленовые волокна. Они являются вторыми среди всех химических волокон по темпам роста производства и объему выпуска. Выпуск полипропиленовых волокон в 2008 г. составил 17% от суммарной продукции всех видов синтетических волокон.

Полиолефиновые волокна получают главным образом из изотактического полипропилена, полиэтилена путём формования из расплава экструзионным методом. Выпускают в виде комплексных нитей, монопитей, нитей из ориентированной пленки (плоской и фибриллированной) и резаного волокна. Ориентационное вытягивание сформованных волокон (в 5-10 раз) осуществляют на обогреваемой металлической поверхности или в воздушной среде при температуре на 20-30 °С ниже температуры плавления полимера. Фибриллированные нити изготавливают из ориентир. полосок пленки шириной 1-50 мм и толщиной 25-80 мкм, пропуская их через вращающийся валок-фибриллятор, на поверхности которого размещены иглы (6-64 на 1 см). При контакте с ними на поверхности пленки образуются надрезы, увеличивающиеся в размерах.

Исключительной особенностью ПП волокон является их очень низкая плотность 0,91-0,92 г/см³. Это самые легкие из всех известных волокон. Гигроскопичность нитей практически равна нулю. Поэтому изделия из них не тонут в воде. ПП волокно по эластичности, устойчивости к двойным изгибам, как правило, превосходит полиамидные волокна, но уступает им по стойкости к истиранию. Обладает хорошими теплоизоляционными свойствами, имеет высокую стойкость к действию кислот, щелочей, органических растворителей. ПП волокно имеет высокое сопротивление к бактериям, насекомым и плесени.

Недостатки – довольно низкая термостойкость (110-115С), поэтому изделия с использованием ПП волокон не должны подвергаться действию высоких температур. Термо- и светостойкость в значительной мере определяются эффективностью вводимых стабилизаторов. Значительная часть ПП волокон выпускается физически и химически модифицированными, с существенно повышенными эксплуатационными свойствами.

Для повышения устойчивости полиолефиновых волокон к УФ облучению в полиолефины на стадии их синтеза или грануляции вводят стабилизаторы (фенолы, ароматические амины, аминифенолы).

Применяют ПП нити в производстве изделий бытового и технического назначения, как в чистом виде, так и в смеси с другими волокнами. Комплексные нити и монопилы используют для изготовления нетонущих канатов, сетей, фильтровальных и обивочных материалов. ПП нетканые полотна, получаемые методом аэродинамического формования, используются в качестве фильтрующих, укрывающих материалов. Пленочные и фибриллированные волокна используются в качестве упаковочного шпагата и мягкой тары. Текстурированный ПП жгут используется в ковровом производстве. ПП текстильные нити, в том числе и текстурированные, оказались прекрасным материалом для изделий, контактирующих с кожей человека.

Штапельное ПП волокно используется для получения текстильных материалов в смесях с другими волокнами. Оптимальным является создание двухслойных материалов из ПП и целлюлозных волокон: например, нижний слой из ПП волокон, верхний – из гигроскопичных целлюлозных волокон. Нижнее белье, спортивные изделия благодаря низкой гигроскопичности нижнего слоя и плохой его смачиваемости влагой оказываются все время сухими, и в то же время эти качества способствуют капиллярному транспорту влаги в наружный слой. В смесях с целлюлозными волокнами ПП волокна используются для изготовления чулочно-носочных изделий с повышенными гигиеническими характеристиками. Благодаря ПП волокнам такие трикотажные изделия быстро сохнут и имеют очень высокую изнаноустойчивость.

Торговые названия: геркулон, ульстрен, найден, мераклон и др.

ПЭ сверхпрочные термостабилизированные нити используются главным образом для технических целей, имеют следующие названия: спектра, дайнема, текмилон.

3.5. Полиуретановые волокна

Полиуретановыми (ПУ) называют волокна, формируемые из растворов по сухому способу или расплавов полиуретанов.

По механическим показателям ПУ волокна резко выделяются среди других видов химических и натуральных волокон и во многом сходны с резиновыми нитями. ПУ нити – эластомерные нити, способные к очень большим обратимым, так называемым высокоэластическим, деформациям. Для них характерны высокое удлинение (разрывное удлинение 800 %), низкий модуль упругости, способность к упругому восстановлению в исходное состояние за очень короткое время (доля упругой деформации 90-92%). Именно эта особенность определяет область применения ПУ нитей, они придают текстильным материа-

лам высокую эластичность, упругость, формоустойчивость и несминаемость. ПУ нити обладают большой устойчивостью к истиранию (в 20 раз больше, чем резиновая нить), устойчивостью к химическим реагентам. ПУ волокна довольно устойчивы к действию гидролитических агентов во время отделки, стирки, крашения; стойки в маслах, хлорсодержащих органических растворителях, кислотах, щелочах.

Под воздействием высокой температуры свойства волокна значительно ухудшаются. При 120°C, особенно в растянутом состоянии, происходит значительная потеря прочности. Под действием света ПУ волокна желтеют (этого в значительной степени можно избежать применением светостабилизаторов), а их механические свойства изменяются незначительно.

Эластомерные нити на основе полиуретанов в последнее время приобрели очень важное значение. ПУ нити редко применяются в чистом виде, они чаще являются каркасными нитями, вокруг которых навиваются другие нити. Изделие из таких нитей характеризуется повышенной комфортностью за счет высокой эластичности и при этом сохраняет все лучшие свойства и полное ощущение того вида волокна, которое использовалось для внешней обмотки. Из них изготавливают эластичные ткани и трикотаж разнообразных видов. Эластичные нити и эластичные полотна – незаменимый материал для облегających тело текстильных изделий широкого ассортимента, в том числе трикотажных спортивных, галантерейных и медицинских.

ПУ волокна и нити известны под торговыми названиями: эластан, лайкра, вайрин, спандекс, эспа, неолан, спанцель, ворин, линел, дорластан и др.

3.6. Арамидные нити и волокна

Арамид — полипарафенилентерефталамид, синтетическое волокно высокой механической и термической прочности. Состоит из бензольных колец, соединённых друг с другом через группу $-NH-CO-$, между водородными и кислородными отростками соседних молекул образуются прочные межмолекулярные связи, обеспечивающие высокую механическую прочность всего волокна.

Впервые арамидное волокно было получено в 60-х годах в лаборатории компании «DuPont» командой специалистов во главе со Стефани Кволек. На рынок оно было выпущено в 1975-м году под торговой маркой Kevlar. Несколько позже, но совершенно независимо, аналогичное волокно было получено в СССР и стало известно под названием «ТСВМ» (позднее — «СВМ»). В наше время выпуск арамидного волокна налажен по всему миру под самыми различными торговыми марками.

Главным отличием арамидного волокна является его высочайшая механическая прочность. В зависимости от марки, разрывная прочность волокна может колебаться от 280 до 550 кг/мм² (у стали, для сравнения, этот параметр на-

ходится в пределах 50-150 кг/мм², лишь самые высокопрочные сорта стали со специальной обработкой приближаются по прочности к наименее прочным сортам арамида). Наибольшую прочность имеет российское волокно, выпускаемое под маркой «Армос», его прочность 500—550 кг/мм². Такая высокая прочность сочетается с относительно малой плотностью — 1400—1500 кг/м³ (плотность чистой воды 1000 кг/м³, плотность стали порядка 7800 кг/м³).

Кроме того, арамидное волокно отличается высокой термической стойкостью. Оно способно длительное время работать при температуре 250 °С, на короткое время температура может повышаться до 400 °С, а при достаточном запасе прочности — ещё выше. Арамид, как и подавляющее большинство других органических соединений, горит в атмосфере кислорода, но концентрации кислорода в воздухе недостаточно для устойчивого горения — волокно быстро самостоятельно гаснет, если находится вне пламени.

Изначально арамидное волокно было создано для армирования автомобильных шин, оно и сейчас с успехом применяется для этого, но за счёт своих высоких характеристик оно нашло самое широкое применение в самых различных отраслях. Чистое арамидное волокно применяется для изготовления сверхпрочных тросов и тканей, оплётки оптических и иных кабелей. Композиты на основе арамида имеют высокую прочность при малой массе, что делает их незаменимыми в производстве авиационной и космической техники, спортивных снарядов, бронежилетов и огнезащитной одежды.

При намокании в волокне нарушаются водородные связи, что снижает его механическую прочность почти в два раза (при высыхании арамидное волокно восстанавливает свои качества). Кроме того, со временем механическая прочность волокна теряется безвозвратно. Практически полного устранения двух последних недостатков можно добиться, применяя различные способы обработки.

Также к недостаткам арамидных волокон следует отнести их плохую окрасиваемость. Волокно бывает практически исключительно жёлтого цвета. Это не имеет значения при техническом применении, однако может помешать при изготовлении из него повседневной одежды.

3.7. Углеродные волокна

Углеродные волокна (УВ) получают термической обработкой исходных химических и природных волокон (так называемых прекурсоров), характеризуются высоким содержанием (до 99,5% по массе) углерода. Исходными служат волокна на основе гидратцеллюлозы, сополимеров акрилонитрила, нефтяных и каменно-угольных пеков. Возможно использование и других исходных волокон, например, поливинилхлоридных, поливинилспиртовых, полиоксазольных, фенолоформальдегидных, но они не имеют промышленного значения из-за

сложной технологии получения, низкого качества и высокой стоимости УВ из них.

Получение УВ включает процессы формования исходных волокон, их подготовительную обработку и три стадии термической обработки. В ходе подготовительной обработки меняют химическую структуру волокон или вводят в них вещества, регулирующие процесс пиролиза и обеспечивающие максимальный выход кокса. Первая стадия термической обработки – низкотемпературный пиролиз при температуре до 400° С, когда удаляются низкомолекулярные продукты деструкции, образуются сшитые и циклические структуры. При этом создают такие условия, чтобы возрастающая температура размягчения (плавления) волокна оставалась выше температуры обработки и чтобы сохранялись ориентированное фибриллярное строение и форма волокна до его полного перехода в неплавкое состояние. Затем следуют две стадии высокотемпературной обработки – карбонизация (при 800° С) и графитизация (при 1500-3000° С). В их ходе завершается пиролиз, сопровождающийся удалением водорода и гетероатомов в виде летучих соединений, и происходит образование углеродного полимера с заданной степенью упорядоченности. Варьируя упорядоченность структуры исходных волокон и условия высокотемпературной обработки, можно регулировать степень ориентации и кристалличность УВ, а также их физико-механические свойства (таблица 2).

Таблица 2 – Основные показатели физико-механических свойств углеродных волокон

Показатель	Волокна				
	Угольные низкомо- дульные	Низкомо- дульные	Среднемо- дульные	Высоко- модуль- ные	Высоко- прочные
Плотность, г/см ³	1,5-1,6	1,4-1,6	1,4-1,7	1,6-2,0	1,7-1,9
Модуль упругости, ГПа	30-40	40-60	70-180	300-500	200-300
Прочность на разрыв, ГПа	0,4-1,0	0,6-1,0	1,0-2,5	1,5-3,0	2,0-4,0
Относительное удлинение, %	2,0-2,5	1,5-2,0	1,2-1,5	0,5-0,6	1,0-1,3
Удельное объемное электрическое сопротивление, 10 ⁵ Ом·м	12-25	5-10	3-7	0,7 - 1,0	1-3

УВ и углеволокнистые материалы выпускают в виде волокон, нитей, жгутов, лент, шнуров, тканей, нетканых материалов, бумаги и др. Они имеют различные названия: в странах СНГ – ЛУ, УКН, кулон, урал, углен, грален, эвлон, конкор, актилен, ваулен, ВМН; в США – торнел, целион, фортафил; в Великобритании – модмор, графил; в Японии – торейка, курехалон и др.

УВ применяют для армирования композиционных, теплозащитных, хемостойких и других материалов в качестве наполнителей. Из углеволокнистых материалов изготавливают электроды, термопары, экраны, поглощающие электромагнитное излучение, и другие изделия для электро- и радиотехники. На основе УВ получают жесткие и гибкие электронагреватели, обогреваемую одежду и обувь. Нетканые углеродные материалы служат высокотемпературной изоляцией технологических установок и трубопроводов. Благодаря химической инертности углеволокнистые материалы используют в качестве фильтрующих слоев для очистки агрессивных жидкостей и газов от дисперсных примесей, а также в качестве уплотнителей и сальниковых набивок.

3.8. Стекланные волокна

Стекловолокна выпускают в виде непрерывного и штапельного волокна. Непрерывное стекловолокно формуют вытягиванием из расплавленной стекломассы через фильеры (число отверстий 200—2000) при помощи механических устройств, наматывая волокно на бобину. Диаметр волокна зависит от скорости вытягивания и диаметра фильеры. Технологический процесс может быть осуществлен в одну или в две стадии. В первом случае стекловолокно вытягивают из расплавленной стекломассы (непосредственно из стеклоплавильных печей), во втором используют предварительно полученные стеклянные шарики, штабики или эрклезы (кусочки оплавленного стекла), которые плавят также в стеклоплавильных печах.

Штапельное стекловолокно формуют одностадийным методом путём разделения струи расплавленного стекла паром, воздухом или горячими газами и др. методами.

Свойства стекловолокон определяются главным образом их химическим составом и характеризуются редким сочетанием высокой теплостойкости (например, теплостойкость кварцевого, кремнезёмного, каолинового волокон — выше 1000 °С), высоких диэлектрических свойств, низкой теплопроводности, малого коэффициента термического расширения, высокой хемостойкости и механической прочности.

Стекловолокно в виде жгутов (ровингов), кручёных нитей, лент, тканей различного плетения, нетканых материалов широко применяют в современной технике в качестве армирующего (упрочняющего) материала для стеклопластиков и других композиционных материалов, а также для получения фильтро-

важных материалов и электроизоляционных изделий в электротехнической промышленности.

4. МОДИФИКАЦИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ НИТЕЙ И ВОЛОКОН

Основным направлением технического прогресса в промышленности химических волокон в настоящее время является не столько разработка новых видов волокнообразующих полимеров, сколько модификация уже известных химических волокон, вырабатываемых в промышленных масштабах.

Модификация придает волокнам новые заранее заданные свойства, и тем самым улучшает их качество и расширяет области применения. Все виды модификаций могут быть разделены на две группы: физическая (структурная) и химическая модификация.

4.1. Физическая (структурная) модификация волокон и нитей

Физическая модификация заключается в направленном изменении строения и надмолекулярной структуры волокон.

Ориентация и вытягивание. Эти операции проводятся на стадии формирования и отделки нитей для повышения ее прочности, устойчивости к многократным деформациям и улучшения всего комплекса эксплуатационных свойств. При вытягивании ослабляются межмолекулярные связи, происходит распрямление и переориентация макромолекул и их агрегатов в осевом направлении волокна и образуется более упорядоченная структура.

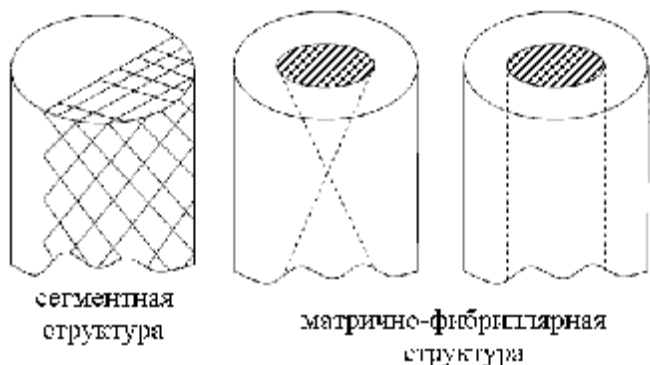
Введение добавок в прядильный раствор или расплав. Метод получает в последнее время все более широкое применение. Небольшие добавки низкомолекулярного вещества могут придать волокну требуемые свойства. Эти низкомолекулярные вещества, не вступая в химическое взаимодействие с основным полимером, располагаются между его макромолекулами, изменяя его свойства. Таким методом можно повысить устойчивость к термической и фотохимической деструкции, изменить блеск волокна и сделать его матированным, можно повысить степень белизны, придать бактерицидные свойства.

Формование волокон и нитей из смеси полимеров. Необходимым условием формования волокон из растворов смесей полимеров является наличие общего растворителя. В результате оба полимера формируют низкомолекулярную структуру волокна, которое приобретает ценные свойства каждого из полимеров.

На этом принципе основано получение волокна из ацетоновых растворов смеси частично омыленного первичного ацетата целлюлозы и хлорированного поливинилхлорида (волокно ацетохлорин); из различных сополимеров акрилонитрила (волокно зефран). Добавка каучука к раствору волокнообразующих полимеров повышает эластичные свойства волокна. Формование волокон из расплавов смесей полимеров менее перспективно.

Получение бикомпонентных волокон. Бикомпонентные волокна по условиям изготовления и свойствам отличаются от волокон, формуемых из смесей полимеров или сополимеров различного состава.

Метод заключается в том, что формование осуществляется через фильеру специальной конструкции растворов или расплавов двух полимеров, которые



соединяются между собой на поверхности раздела. В зависимости от расположения полимеров в волокне различают два типа бикомпонентных волокон: сегментной структуры, при которой полимеры расположены по сечению волокна рядом с друг другом в виде сегментов, и матрично-фбриллярной структуры, при кото-

рой полимеры расположены либо концентрически в виде ядра и внешней оболочки, либо в виде более или менее длинных фибрилл одного полимера, размещенных внутри волокна из другого полимера.

Компоненты обычно отличаются по физико-химическим свойствам (степени усадки при повышенной температуре, набуханию в различных жидкостях, кристалличности).

В результате различной усадки при повышенных температурах в структуре волокна возникают различные по величине внутренние напряжения на разных участках, в результате чего волокно приобретает устойчивую структурную извитость, достигающую 100%.

К физической модификации нитей относятся всевозможные методы текстурирования.

4.2. Химическая модификация нитей и волокон

Химическая модификация заключается в частичном направленном изменении химического состава полимера, в результате чего получается волокно с новыми свойствами. Данные методы получили широкое применение при производстве синтетических волокон.

Синтез волокнообразующих сополимеров. Метод широко применяется при производстве карбоцепных волокон. Как правило, волокна, полученные из сополимеров, отличаются повышенной растворимостью, улучшенной крашиваемостью, увеличенной гигроскопичностью и эластичностью.

В результате синтеза можно получить сополимеры, в которых одного из компонентов содержится 80..85 %, а небольшое количество второго компонента добавляют в процессе сополимеризации для улучшения только некоторых свойств, например, гигроскопичности волокон.

Можно получить сополимеры, в которых оба исходных мономера содержатся примерно в эквивалентных соотношениях. В этом случае существенно изменяется весь комплекс свойств, например, гигроскопичность волокон.

Однако можно получить сополимеры, в которых оба исходных мономера содержатся примерно в эквивалентных соотношениях. В этом случае существенно изменяется весь комплекс свойств. Например, волокно, полученное из сополимера винилиденхлорида (60 %) и акрилонитрила (40 %), называют «Санив».

Синтез привитых сополимеров. Процесс заключается в прививке к боковым реакционноспособным группам основного полимера звеньев сополимера и используется для модификации не только химических, но и натуральных волокон. В результате модифицированное волокно приобретает новые, специфические свойства. Например, прививка ацетильных групп (OSOCH_3) к вискозному волокну придает ему и изделиям из него красивый шерстоподобный вид, уменьшает чрезмерный блеск, повышает гниlostойкость, однако, механические свойства несколько снижаются. Привитой сополимер целлюлозы (60..65 %) и акрилонитрила (40..45 %) называется «Мтилон В». Данное волокно отличается повышенной светостойкостью, устойчивостью к истиранию, имеет шерстоподобный вид.

Ткани, предназначенные для спецодежды нефтяников, смазчиков, слесарей, должны обладать не только водоупорностью, но и маслостойкостью. Их можно получить путем прививки к целлюлозе фторсодержащих полимер.

Сшивание. Сшивание – образование между макромолекулами поперечных химических связей в результате обработки волокон би- или полифункциональными соединениями. Это ведет к повышению термостойкости, выносливости, уменьшению набухаемости и растворимости. Например, обработка полиамидных волокон формальдегидом и его производными (разрывная нагрузка и удлинение при этом несколько снижается).

Литература:

1. Шустов, Ю. С. Основы текстильного материаловедения / Ю. С. Шустов. – Москва : МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2007. – 302 с.
2. Бузов, Б. А. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство) : учебник / Б. А. Бузов, Н. Д. Алыменкова. – Москва : Издательский центр «Академия», 2004. – 448 с.
3. Калмыкова, Е. А. Материаловедение швейного производства : учеб. пособие для вузов / Е. А. Калмыкова, О. В. Лобацкая. – Минск : Вышэйшая школа, 2001. – 412 с.
4. Кукин, Г. Н. Текстильное материаловедение (волокна и нити) / Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьев, А. И. Кобляков. – Москва : Легпромбытиздат, 1989. – 352 с.

Информационные ресурсы сети Интернет

1. Материалы сайта – Режим доступа : www.textile-press.ru/
2. Материалы сайта – Режим доступа : www.aramid.ru
3. Материалы сайта – Режим доступа : www.volokno.ru
4. Материалы сайта – Режим доступа : www.rustm.net
5. Материалы сайта – Режим доступа : www.education.ivanovo.ru
6. Материалы сайта – Режим доступа : www.ditud.ru
7. Материалы сайта – Режим доступа : www.instron.ru
8. Материалы сайта – Режим доступа : www.chemport.ru
9. Материалы сайта – Режим доступа : www.rustm.net