МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования

«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор УО «ВГТУ»
_____С. И. Малашенков

«_____»_____ 2011 г.

ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Курс лекций

для студентов специальности 1-25 01 09
«Товароведение и экспертиза товаров»

РЕКОМЕНДОВАНО
Редакционно-издательским
советом УО «ВГТУ»
«_____»_____ 20 г.
протокол № ____

Витебск
2012

Витебский государственный технологический университет

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования

«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Витебский государственный технологический университет

ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Курс лекций

для студентов специальности 1-25 01 09
«Товароведение и экспертиза товаров»

Витебск
2012

УДК 658.62 (075.8)

Рецензенты:

Грошев И.А., кандидат технических наук, начальник ЦЗЛ ОАО «Витебскдрев»»;

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ» 2011г., протокол №

Буркин, А.Н **Основы материаловедения**: конспект лекций / А.Н. Буркин,Е. А. Шеремет, Е.А. Егорова – Витебск : УО «ВГТУ», 2012. – с.

ISBN

В конспекте лекций изложены общие теоретические и методологические основы материаловедения, описаны свойства и структуры сырья и материалов, применяемых в производстве товаров народного потребления.

Предназначен для студентов, обучающихся по специальности «Товароведение и экспертиза товаров» (специализация «Товароведение и экспертиза непродовольственных товаров»), а также могут быть использованы студентами других специальностей, которые изучают товары народного потребления.

УДК 658.62(075.8)

ISBN 978-985-481-25-2

© Буркин А.Н.,
Шеремет Е.А.,
Егорова Е.А.
© УО «ВГТУ», 2012

Витебский государственный технологический университет

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования

«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Витебский государственный технологический университет

ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Курс лекций

для студентов специальности 1-25 01 09
«Товароведение и экспертиза товаров»

Витебск
2012

УДК 620.22 (075.8)
ББК 30.03
О – 75

Рецензенты:

Грошев И.А., кандидат технических наук, начальник ЦЗЛ ОАО «Витебскдрев»;

Шеверинова Л.Н., кандидат технических наук, начальник испытательного центра УО «ВГТУ».

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ», протокол № 8 от 30 ноября 2011 г.

О75 **Основы материаловедения** : курс лекций / А. Н. Буркин [и др.]. – Витебск : УО «ВГТУ», 2012. – 186 с.

ISBN 978-985-481-25-2

В курсе лекций изложены общие теоретические и методологические основы материаловедения, описаны свойства и структуры сырья и материалов, применяемых в производстве товаров народного потребления.

Предназначен для студентов, обучающихся по специальности «Товароведение и экспертиза товаров» (специализация «Товароведение и экспертиза непродовольственных товаров»), а также может быть использован студентами других специальностей, которые изучают товары народного потребления.

УДК 620.22(075.8)
ББК 30.03

ISBN 978-985-481-25-2

© Буркин А.Н.,
Шеремет Е.А.,
Егорова Е.А.,
Коновалов К.Г., 2012
© УО «ВГТУ», 2012

Витебский государственный технологический университет

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4
1 Теоретические и методологические основы материаловедения 9

Лекция 1.1 Структура материалов 11
1.1.1 Атом и молекула 12
1.1.2 Фазовое состояние вещества 18
1.1.3 Агрегатное состояние вещества 20
Лекция 1.2 Свойства материалов 26
1.2.1 Физические свойства 26
1.2.2 Механические свойства 33
1.2.3 Технологические и эксплуатационные свойства 38
Лекция 1.3 Технические материалы 51
1.3.1 Наноматериалы и нанотехнологии 55
2 Металлы и сплавы 64

Лекция 2.1 Чугуны 64
Лекция 2.2 Стали и сплавы 70
Лекция 2.3 Алюминий и сплавы на его основе 77
Лекция 2.4 Медь и сплавы на его основе 81
Лекция 2.5 Специальные сплавы 83
Лекция 2.6 Порошковая металлургия 88
3 Неметаллические материалы 94

Лекция 3.1 Пластмассы 94
Лекция 3.2 Каучуки и резины 98
Лекция 3.3 Натуральные и искусственные кожи 106
Лекция 3.4 Текстильные материалы 118
Лекция 3.5 Материалы на основе древесины 133
Лекция 3.6 Минералы и материалы на их основе 147
4 Композиционные материалы 158

Лекция 4.1 Структура композитов 158
Лекция 4.2 Композиционные пластики 166
Лекция 4.3 Композиты на металлической матрице 174
Лекция 4.4 Композиты на керамической матрице 176
Лекция 4.5 Композиционные материалы на основе отходов производства 177
Лекция 4.6 Материалы для покрытий 178
Литература 184

Витебский государственный технологический университет

ВВЕДЕНИЕ

Материалы — совокупность предметов труда, которые человек преобразует в трудовом процессе, превращая их в продукты труда (предметы потребления и средства производства). Материалами являются как исходные вещества для производства продукции, так и вспомогательные вещества для проведения производственных процессов. В зависимости от количества затраченного труда и функции материалов в производственном процессе различают следующие разновидности материалов. Сырье, или сырые материалы, – предметы труда, подвергнутые ранее воздействию труда и подлежащие дальнейшей переработке, например, железная руда на металлургическом заводе, хлопок на текстильной фабрике и т. д. Сырье имеет животное, растительное, минеральное или другое происхождение. Первичное сырье – предмет, на который впервые затрачен труд; вторичное сырье – отходы производства, физически или морально устаревшие предметы потребления, подлежащие переработке. Полуфабрикат – продукт переработки материалов, который должен пройти одну или несколько стадий обработки, прежде чем стать изделием, пригодным для потребления. Готовая продукция одного производства может служить полуфабрикатом для другого.

Техническое значение материалов зависит от их строения и выражается в их свойствах. Строение материалов характеризует их *структура* – совокупность устойчивых связей материала, обеспечивающих его целостность и сохранение основных свойств при внешних и внутренних воздействиях. *Свойство* – философская категория, которая отражает различие или общность материалов и обнаруживается при их сравнении.

Материаловедение – наука, изучающая связь между структурой и свойствами материалов, а также их изменения при внешних воздействиях (тепловом, механическом, химическом и т. д.). Задача материаловедения – установление закономерностей взаимосвязи структуры и свойств материалов для того, чтобы целенаправленно воздействовать на них при переработке в изделия и при эксплуатации, а также для создания материалов с заданными свойствами и прогнозирования срока службы материалов. По словам выдающегося советского ученого академика П. А. Ребиндера, «разработка путей активного вмешательства в строение материалов вытесняет созерцательное направление в материаловедении».

Задача материаловедения изделий легкой промышленности — изыскание оптимальных структуры и технологии переработки материалов при изготовлении изделий. *Технология* — совокупность методов обработки, изготовления, изменения состояния, свойств, формы сырья, полуфабриката или материала, осуществляемых в процессе производства. Рациональный выбор материалов и технологии их переработки в из-

Витебский государственный технологический университет

делия предопределяет возможность эксплуатации изделий в течение заданного времени. Материаловедение позволяет составлять научно обоснованный прогноз изменения свойств материалов при эксплуатации изделий.

Условия эксплуатации материалов стали более жесткими вследствие повышения рабочих параметров машин, загрязнения и увеличения агрессивности окружающей среды. Рост объемов производства и активное вмешательство человека в природные процессы обусловили внимание науки к защите окружающей среды, выявлению и использованию вторичных ресурсов. Решение этой проблемы средствами материаловедения имеет определенную техническую, экономическую и общественную направленность.

История совершенствования материалов диалектически связана с историей развития общества. Стремление открывать новые материалы во все исторические эпохи было вызвано желанием людей улучшить свою жизнь. Наименование исторических этапов по названиям «сделавших эпоху» материалов (древний, средний и новый каменные века, медный, бронзовый, железный века) отражает их значение в развитии человечества. Гораздо позже возникли прядение и ткачество, технологии обработки древесины и выделки шкур животных.

Возрастание спроса на машины, прежде всего текстильные, привело к возникновению в развитых европейских странах в середине XVIII в. машиностроения как отрасли промышленности. Уровень материаловедения того времени ограничивал возможности развития машин немногочисленной группой материалов, освоенных мануфактурным производством. Промышленная революция XVIII–XIX вв. привела к превращению ручных мануфактур в фабричную систему использования машин, кардинально изменила уровень техники и технологии материалов.

В 1861 г. русский химик А.М. Бутлеров создал и обосновал теорию химического строения веществ, а позднее разработал основные принципы получения полимеров из низкомолекулярных органических соединений. В 1909 г. С.В. Лебедев синтезировал из бутадиена полимер, сходный с натуральным каучуком. В начале XX в. бельгийский химик Л. Бакеланд, изучив реакции между фенолом и формальдегидом, получил новый материал, названный бакелитом, который стал первым продуктом промышленности пластических масс.

Развиваются исследования в области синтеза и переработки полимеров, направленные на улучшение их механических свойств, повышение стойкости к воздействию сред и высоких температур. Долгое время верхняя граница термостойкости пластмасс не превышала 100–120 °С, что существенно ограничивало их применение. Основы создания термостойких полимеров были заложены К.А. Андриановым (1904–1978), показавшим в 1937 г., что система атомов Si - O может быть использована

Витебский государственный технологический университет

для построения главной цепи полимерных молекул. Аналогичные исследования В.В. Коршака (1908–1988) привели в 40-х годах к синтезу термостойких фенольных смол. Основатель отечественной школы физико-химии полимеров В.А. Каргин (1907–1969) исследовал связь между их структурой и свойствами, разработал методы структурного модифицирования полимерных материалов. Существенное расширение номенклатуры пластмасс и промышленных технологий их получения достигнуто благодаря развиваемым российскими учеными представлениям о механизме цепных реакций окисления углеводородов и ионной полимеризации. Значительный вклад в различные области материаловедения полимеров внесли зарубежные ученые Ф. Джейл, Л. Мандельнерн, Х. Марк, Дж. Ферри, П. Флори, Р. Хувинк, Т. Хайяши и др.

Одним из главных направлений материаловедения последней четверти XX в. стало получение композиционных материалов путем сочетания разнородных компонентов. Прогресс технологий обработки и модифицирования материалов позволил применить традиционные природные материалы (базальты, диабазы, древесину) в жестких условиях эксплуатации современной техники. Перед учеными поставлена задача разработки материалов нового поколения: обладающих неизвестными ранее сочетаниями свойств, активно воздействующих на сопряженные среды и материалы, направленно изменяющих свои структуру и свойства в соответствии с условиями эксплуатации. Тенденцией материаловедения XXI в. стала разработка наноструктурных материалов или наноматериалов, которые содержат кристаллы, волокна, поры или другие структурные элементы размером 0,1–100 нм. Итак, на современном этапе развития материаловедения за ничтожно малый по сравнению с историей человечества промежуток времени в технике освоено большинство известных материалов.

Композиционные материалы — одно из самых значительных достижений материаловедения. Ужесточение технико-экономических требований к материалам и ограниченность сырьевых ресурсов Земли обусловили рост потребления природных материалов на новом технологическом уровне — в сочетании с усиливающими их элементами из более прочных материалов. Использование таких материалов, получивших название композиционных, способствует повышению работоспособности техники, снижению себестоимости продукции, организации гибких производств. Символом XXI в. стали нанокомпозиты. Не все предпосылки к росту потребления композиционных материалов благоприятны. Производство некоторых из них связано с опасностью для здоровья людей на рабочих местах, создает дополнительные проблемы защиты окружающей среды. В связи с этим является актуальной разработка и внедрение стратегий, позволяющих извлекать максимальную выгоду из этого направления материаловедения.

Сегодня знание материаловедения необходимо практически лю-

Витебский государственный технологический университет

бому специалисту предприятия легкой промышленности. Это вызвано прежде всего тем, что в главном экономическом критерии производства — себестоимости изделия — более 80% составляют расходы на материалы. Следовательно, правильный выбор материалов для изделий, рациональное, малоотходное их использование с применением прогрессивной технологии, высокопроизводительного оборудования и совершенной организации труда обеспечат высокую эффективность производства.

Изделия легкой промышленности служат для удовлетворения потребностей человека. При этом изделие должно обладать определенным комплексом полезных свойств, которые принято называть потребительскими.

На первой стадии развития материаловедения изделий из кожи в основном изучались свойства материалов, определяющие возможность изготовления изделий. В последние годы большое внимание стало уделяться свойствам, обеспечивающим нормальное функционирование человека, пользующегося изделием.

Несмотря на то, что изделия из кожи используются человеком многие десятки веков, материаловедение изделий из кожи как наука возникло лишь в начале XX века, когда основополагающие открытия физики и химии позволили четко представить структуру материалов, что в свою очередь открыло возможность поиска закономерностей во взаимосвязях структуры и свойств.

Систематическое изучение технологии производства кожи и изделий из нее было начато в середине прошлого века профессором Казанского университета М.Я. Киттарой.

Началом развития научных основ материаловедения кожи принято считать второе десятилетие XX века. В 1914 году Н.И. Егоркиным и Г. Г. Поварниным была открыта температура сваривания кожи — важнейший показатель структурной устойчивости коллагена, связанный с изменением основных свойств кожи.

Под руководством Н.И. Егоркина разработана методика определения температуры сваривания кожи, определено влияние влагосодержания кожи на ее термостойкость, изучены релаксационные явления в кожах.

В работах Г.Г. Поварнина, кроме температуры сваривания кожи, изучалась также зависимость механических свойств кожи от ее влагосодержания.

Н.В. Черновым была разработана теория ориентации волокон кожи, объясняющая ее механические свойства, а А.Н. Михайловым изучены физико-механические основы технологии кожи, которые явились фундаментом многих последующих теоретических изысканий и практических решений в производстве и оценке качеств кожи.

Использование рентгеноструктурных методов исследования кожи

Витебский государственный технологический университет

(С.И. Соколов, А.Н. Михайлов, А.Л. Зайдес) позволило описать ее структуру, которая позднее получила более полную оценку при применении сканирующей электронной микроскопии.

В результате этих работ удалось связать изменения свойств кожи с изменениями ее структуры, что создало основу для дальнейших расширенных исследований.

В 1956 году Г.И. Кутянин развил теорию термофлуктуационного разрушения подошв обуви при изнашивании.

Комплекс свойств коллагена кожного покрова животных и выделанной кожи детально изучен в трудах Ю.Л. Кавказова, А.Н. Михайлова, Г.И. Кутянина, И.Г. Манохина, И.П. Страхова, К.М. Зурабяна, А.И. Метелкина, И.С. Шестаковой и др.

Высокий уровень развития химии и физики высокополимеров позволил разработать основы создания искусственных материалов для обуви и кожгалантерейных изделий. В этой области известны труды А.Д. Зайончковского, С А. Павлова, Н.К. Барамбойма, А.П. Писаренко, А.А. Авилова, В.И. Алексеенко, М.Х. Бернштейна, Б. В. Саутина и др.

В настоящее время материаловедческие исследования проводятся в Центральном научно-исследовательском институте кожевенно-обувной промышленности (ЦНИИКП), научно-исследовательском институте промышленности искусственной кожи и пленочных материалов (ЦНИИПИК), на кафедрах материаловедения вузов текстильной и легкой промышленности, в лабораториях предприятий России.

Важную роль в систематизации знаний в области материаловедения сыграл вышедший в 1968 г. первый учебник для вузов «Материаловедение изделий из кожи», написанный Ю.П. Зыбиным, А.А. Авиловым, Ю.М. Гвоздевым и Н.В. Черновым.

В Московском технологическом институте легкой промышленности (МТИЛП) на кафедре материаловедения под руководством Б.А. Бузова проведен комплекс работ по изучению свойств материалов в широком интервале температур, при воздействии рентгеновских лучей, акустических колебаний и т.п.

На кафедре технологии изделий из кожи МТИЛП (под руководством проф. Ю.П. Зыбина) детально изучались деформационные свойства кожи и систем материалов для верха обуви.

В ЦНИИКП изучаются разработанные в стране материалы для изготовления обуви и методы их испытаний, создаются новые клеи и отделочные материалы.

Глубокие знания основ материаловедения, использование результатов новейших исследований приведут к повышению качества и улучшению ассортимента изделий.

Витебский государственный технологический университет

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Создатели техники всегда стремились, чтобы новые изделия по эффективности и качеству превосходили известные. В настоящее время эта тенденция проявляется особенно ярко, поскольку в лучших образцах техники реализованы последние достижения науки. Стремление создателей машин увеличить рабочие давление, скорости и температуры, снизить удельную массу изделий обусловило тесную зависимость эффективности машин от достижений материаловедения.

Ниже кратко изложены наиболее актуальные вопросы современного материаловедения и успехи на пути их решения.

Повышение прочности материалов — важнейшая задача материаловедения во все времена. Развитие многих областей современной техники связано с применением высокопрочных материалов. К началу XXI в. прочность известных основных машиностроительных материалов возросла в 8-10 раз, напряжения, при которых происходит разрушение высокопрочных сталей, превышают 100 МПа. Производятся нитевидные монокристаллы в виде «усов» с совершенной структурой, которые не разрушаются при напряжении 104 МПа. Перед наукой стоит проблема сделать высокопрочные материалы столь же надежными и недорогими, как традиционные.

Производство и потребление сверхтвердых материалов, к которым относят многие твердые сплавы, карбиды, бориды, технические алмазы и др., в значительной мере характеризуют промышленный потенциал и техническую мощь страны. Эти материалы настолько тверды и хрупки, что не поддаются обработке традиционными методами. Технологические трудности удалось преодолеть только во второй половине XX в., используя явление «сверхпластичности», когда заготовкам из твердых материалов стало возможным придавать нужную форму путем деформирования под давлением 103–105 МПа.

Современные требования к сложнотехническим товарам обуславливают необходимость разработки материалов, в которых высокая прочность сочетается с малой плотностью. Примером таких материалов служат сплавы магния, лития и бериллия, изделия из которых по сопротивлению деформированию превосходят конструкции той же массы из стали и титана. В качестве легких заполнителей силовых конструкций, демпфирующих, тепло- и звукоизолирующих элементов в современной технике используют большую группу газонаполненных материалов.

В некоторых металлических сплавах при тепловом воздействии обнаруживается «эффект памяти» — восстановление первоначальной формы пластически деформированного образца в результате нагревания. Механизм этого явления обусловлен структурными превращения-

Витебский государственный технологический университет

ми материала. Основную группу материалов этого класса составляют полимеры и сплавы на основе титана.

Актуальна проблема создания материалов, сохраняющих исходную прочность при высоких температурах. Резервы высокотемпературной прочности сплавов на основе железа, никеля, алюминия и других металлов ограничены и фактически исчерпаны. Это породило проблему, связанную с тем, что температура эксплуатации многих деталей двигателей сложнотехнических товаров достигает +1200°С и приближается к температурам плавления упомянутых сплавов. Так. верхний предел рабочих температур рядовых сталей не превышает +770°С, сплавов никеля и кобальта +1100°С и т. д. В настоящее время эта проблема решается путем переработки металлов в гранулы методом высокоскоростной кристаллизации и последующего прессования гранул в изделия. Высокоскоростная кристаллизация, происходящая в процессе быстрого охлаждения расплава, приводит к образованию кристаллов исключительно малых размеров (нано- и микрокристаллов) или даже аморфных материалов. При высоких температурах прочность мелкокристаллических и аморфных сплавов в 1,5 раза выше, чем сплавов, полученных по традиционной технологии.

Изучаются перспективы использования керамических деталей в двигателях внутреннего сгорания. Целью такого применения керамики является возможность повышения рабочей температуры в камере сгорания при одновременном снижении массы агрегата, что приводит к повышению КПД двигателя.

Стабильность свойств материалов в экстремальных условиях эксплуатации приобретает все большую актуальность в связи с прогрессом техники и ужесточением условий работы машин.

Криогенная техника, обеспечивающая получение и использование температур ниже -150°С, решает многие проблемы производства, связанные со сжижением газов и распределением газовых смесей, прежде всего воздуха. Она обязана своими достижениями группе машиностроительных материалов, которые при понижении температуры не утрачивают своих механических характеристик и не становятся хрупкими. Благодаря криогенной технике возникла криоэлектроника, использующая явления, которые имеют место в твердых телах при криогенных температурах (в присутствии электрических, магнитных и электромагнитных полей), для создания электронных приборов. Успехи криогенной техники обусловили разработку сверхпроводящих материалов, которые применяются при изготовлении высокоэффективных и электрических машин. Чистота материалов во многих случаях является необходимым условием стабильности их свойств, поэтому требования к чистоте материалов резко возросли. До недавнего времени чистые материалы соответствовали определениям «технически чистые» (содержание основного компонента — 99,9 %) или «химически чистые» (99,99 %). Вы-

Витебский государственный технологический университет

соки требования к чистоте материалов в полупроводниковой технике: норма примесей в большинстве материалов – не более 10^{-11} %. У многих сверхчистых материалов обнаружены неожиданные свойства. Так, железо и цинк, которые легко поддаются коррозии, в очищенном виде успешно противостоят ей; считавшиеся твердыми и хрупкими хром, титан, вольфрам, молибден и другие тугоплавкие металлы после глубокой очистки становятся податливыми и их можно прокатывать в фольгу.

Проблема стабильности свойств материалов решается в технике в нескольких направлениях, из которых важнейшими являются следующие. Актуальной стала защита материалов от химического взаимодействия с окружающей средой, агрессивность которой существенно возросла вследствие активизации производственной деятельности человека. Колоссальных размеров достигли затраты на ликвидацию последствий изнашивания материалов в машинах. Знание закономерностей старения материалов, т. е. происходящего во времени изменения их структуры и свойств, необходимо для принятия мер по стабилизации свойств материалов и прогнозирования работоспособности объектов техники.

Композиционные материалы — одно из самых значительных достижений материаловедения. Ужесточение технико-экономических требований к материалам и ограниченность сырьевых ресурсов Земли обусловили рост потребления природных материалов на новом технологическом уровне — в сочетании с усиливающими их элементами из более прочных материалов. Использование таких материалов, получивших название композиционных, способствует повышению работоспособности техники, снижению себестоимости продукции, организации гибких производств. Даже краткое описание современных достижений и проблем материаловедения и технологии производства материалов свидетельствует, что эти научные дисциплины находятся в стадии значительных перемен и входят в число ключевых факторов научно-технического прогресса.

Лекция 1.1 Структура материалов

Знания о строении материалов и процессах, протекающих в них при переработке и эксплуатации, необходимы для научно обоснованного использования материалов. Структура последних определяется множеством факторов, от которых зависит равновесное состояние материалов: строением атомов, ионов, молекул, распределением в них электронов, типом связей между частицами и т. д. Количество информации, накопленной в этой области, огромно и продолжает увеличиваться по мере развития естественных наук. В материаловедении принято рассматривать три уровня строения материалов: атом-молекула-фаза. Строение атомов, природа связей в веществе, фазовые переходы и фазовая структура материалов являются предметом специальных дисциплин, входя-

Витебский государственный технологический университет

щих в программу высшей школы, поэтому ниже кратко приведены лишь те сведения о строении вещества, которые использованы при дальнейшем изложении курса основы материаловедения. Основное внимание уделено твердым материалам, имеющим наибольшее значение в технике. Они характеризуются стабильностью формы, а также тем, что образующие их атомы совершают тепловые колебания вокруг фиксированных положений равновесия. Энергия взаимодействия частиц твердого материала (атомов, молекул, ионов) мала по сравнению с энергией, которую надо затратить на разрушение самой частицы. Особенность поверхностного слоя твердых тел, соприкасающегося с окружающей средой, состоит в отличии его структуры от структуры вещества в объеме материала. Это оказывает существенное влияние на реализацию свойств твердых материалов в технических изделиях.

1.1.1 Атом и молекула

Атом – наименьшая частица химического элемента, обладающая его свойствами. Он состоит из элементарных частиц, которым на современном уровне научных представлений отводится роль первичных кирпичиков мироздания. В настоящее время известно несколько сотен таких частиц. Протоны и нейтроны составляют положительно заряженное ядро атома, а электроны движутся вокруг ядра. Электрон – первая из открытых человеком элементарных частиц, имеет массу покоя $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-28}$ г и является носителем наименьшего электрического заряда (кванта электричества) $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Ядро атома и окружающие его электроны находятся в электростатическом и электромагнитном взаимодействии, образуя устойчивую (равновесную) пространственную систему. Изолированный атом нейтрален, т. е. не имеет заряда. В результате удаления или присоединения электронов к атому образуется положительно или отрицательно заряженный ион.

Энергия атома может принимать лишь определенные (дискретные) значения, называемые *уровнями энергии.* Они соответствуют устойчивым состояниям атома и изменяются скачкообразно путем квантовых переходов. Последние инициируют воздействие на атомные частицы (атомы, ионы) электромагнитного излучения. Кванты электромагнитного поля – *фотоны* – являются носителями минимально возможных при данной частоте поля энергии и импульса. Поглощая фотоны, атомные частицы переходят в возбужденное состояние, из которого, испуская фотон, могут перейти в состояние с меньшей энергией (на более низкий уровень энергии). Уровень, соответствующий минимальной энергии атома, назван основным, остальные – возбужденными. Совокупность уровней энергии образует энергетический спектр атома. Спектры оптического излучения свободных или слабосвязанных атомов со-

Витебский государственный технологический университет

стоят из отдельных спектральных линий (узких полос в спектрах испускания), которые характеризуются определенной длиной волны и (для простых атомов) группируются в спектральные серии. Они несут информацию об атомной структуре вещества.

Атомы разных химических элементов отличаются *электронной конфигурацией,* т. е. распределением электронов по уровням энергии. Квантовое состояние электрона в атоме характеризуют четырьмя квантовыми числами: главным n, определяющим энергию различных состояний атома (n = 1,2, 3,...); орбитальным l, определяющим момент импульса электрона относительно ядра (l = 0, 1, 2,..., n - 1): магнитным m_l и спиновым m_s. Энергия электрона в атоме зависит в основном от чисел n и l. Она возрастает с увеличением n сильнее, чем с увеличением l, и слабо зависит от чисел m_l и m_s.

Согласно одному из законов квантовой механики, названному принципом Паули, в одном атоме любые два электрона должны находиться в различных квантовых состояниях, т. е. отличаться хотя бы одним из четырех квантовых чисел. Совокупность электронов, имеющих одинаковые значения главного квантового числа n, образует *электронный слой,* заполненный не более чем $2n^2$ электронами, который состоит из оболочек, характеризуемых значениями l. Слои и оболочки, в зависимости от значений n и l, обозначают символами: слои *K L M N O PQ...* оболочки *spdf...;* n 1 2 3 4 5 6 7...; l 0 1 2 3...

Атомы элементов периодической системы не имеют оболочек с l >3. Ближе к ядру расположен *K*-слой, затем *L*-слой и т. д. Чем слабее электрон связан с ядром, тем выше уровень его энергии в соответствующей оболочке.

Сложные атомы характеризуются нормальной и возбужденными электронными конфигурациями. Первая соответствует наиболее прочной связи всех электронов в атоме, вторые – положению, когда один или несколько электронов связаны слабее, т. е. находятся на возбужденных уровнях энергии.

Большинство химических и физических свойств атома обусловлено структурой его внешних электронных оболочек, в которых электроны связаны друг с другом сравнительно слабо. Информацию о строении внутренних оболочек атома, электроны которых связаны более прочно, получают, изучая взаимодействие атомов и быстрых частиц или фотонов с высокой энергией.

При сближении атомов может произойти перекрытие их электронных оболочек. Электростатическое взаимодействие атомов проявляется в их поляризуемости (способности приобретать в электрическом поле дипольный момент), которая обусловлена смещением электронов относительно ядер. Наибольшая степень поляризуемости атомов имеет место во внешних электрических полях и под действием электромагнитного излучения. При последовательной ионизации атома (т. е. при

Витебский государственный технологический университет

последовательном отрыве его электронов, начиная с внешних) соответственно меняются его свойства, определяемые электронной оболочкой: уменьшается поляризуемость, увеличивается разница между уровнями энергии и т. д.

Под *химической связью* понимают взаимодействие между атомными частицами, обусловленное совместным «использованием» их электронов. Считая движение электронов независимым от движения ядер, можно представить образование химической связи как результат притяжения положительно заряженных ядер к электронному «облаку», сконцентрированному в межъядерном пространстве.

Химическая связь – общее определение сил и взаимодействий, обусловливающих существование двух- и многоатомных соединений — молекул, ионов, радикалов, кристаллов. Главные особенности химической связи: значение полной энергии многоатомной системы меньше, чем сумма энергий несвязанных атомных частиц, из которых она образована; электронные плотности (вероятные количества электронов в элементарном объеме) заметно отличаются в поле сил химической связи и между несвязанными атомными частицами, сближенными на расстояние связи.

Природа химической связи определяется электрическим кулоновским взаимодействием ядер и электронов, однако распределение электронов при образовании химической связи подчиняется законам квантовой механики. При образовании связи электроны распределяются так, что силы, стремящиеся сблизить и оттолкнуть ядра, уравновешиваются. Это происходит, когда ядра находятся на некотором равновесном расстоянии друг от друга, соответствующем длине химической связи.

С учетом двойственной природы химических связей приняты два типа их классификации.

Согласно классической теории валентности каждой связи между атомами соответствует одна пара электронов. В зависимости от способа ее образования различают несколько видов химической связи.

Ковалентную связь образуют атомы или группы атомов, на валентных орбиталях которых имеются неспаренные электроны. Обобществление последних ведет к формированию электронной пары, общей для связывающихся атомов. Важнейшие свойства ковалентной связи: насыщенность — существование некоторого предельного количества двухцентровых двухэлектронных связей, образуемых атомом; направленность — строго определенная пространственная структура молекул, ионов, радикалов с ковалентной связью.

Координационная связь (донорно-акцепторная) — химическая связь, реализуемая в координационных (комплексных) соединениях. Последние образуются путем присоединения к центральному атому (комплексообразователю) молекул и ионов — так называемых лигандов. Возникновение такой связи обусловлено передачей электронной

Витебский государственный технологический университет

пары с целиком заполненной орбитали лиганда на вакантную орбиталь центрального атома и образованием общей молекулярной орбитали. В комплексных соединениях количество связей центрального атома превышает его формальную высшую валентность. Частным случаем координационной связи является *водородная связь,* которая образуется в соединениях типа X-H...Y, где центральный атом водорода H соединен ковалентной связью с электроотрицательным атомом X (C, N, O, S) и дополнительно связан с атомом Y (N, O, S), имеющим направленную вдоль линии этой связи неподеленную электронную пару. Многообразие координационных связей обусловливает огромное разнообразие структурных типов молекул координационных соединений, а также кристаллической структуры твердых тел.

Ионная связь – тип химической связи, энергия которой определяется преимущественно кулоновскими силами притяжения противоположно заряженным ионам. Ее образование можно представить как предельный случай поляризации ковалентной связи, т. е. смещения электронов к одному из связанных атомов.

По степени смещения связывающих электронов химические связи подразделяют на *неполярные* (электроны равноудалены от обоих атомных центров) и *полярные* (промежуточные между неполярными и ионными). Ковалентные и координационные связи подразделяют по числу образующих их электронных пар на *простые* (одинарные) и *кратные* – двойные, тройные и четвертные электронные слои с оболочками *l=3.*

Многоцентровая связь – тип химической связи, в которой связывающие электронные пары распределены в пространстве трех или большего числа атомных центров. Она характерна для ненасыщенных соединений с сопряженными связями. *Сопряжение связей* – тип электронного взаимодействия, когда простые связи чередуются с *кратными,* т. е. образованными более чем одной электронной парой. Предельный случай делокализации электронных орбиталей — *металлическая связь,* обусловленная перемещением валентных электронов металла во всем пространстве, занятом его положительными ионами. Металлы можно представить в виде ионного упорядоченного каркаса, который погружен в «электронный газ», состоящий из обобществленных электронов. «Газ» компенсирует отталкивание ионов и связывает их в каркас.

Прочность химической связи определяется ее энергией. В двухатомной молекуле энергия связи равна теплоте, выделяющейся при диссоциации молекулы на отдельные атомы. Значение энергии химических связей в расчете на одну связь составляет от 10–20 кДж/моль (связи в молекулах и ионах, слабые водородные связи) до 1000 кДж/моль и более (тройные связи в молекулах).

Молекула — наименьшая частица вещества, обладающая всеми его химическими свойствами и состоящая из атомов, соединенных химическими связями. Она электрически нейтральна и, как правило, не

Витебский государственный технологический университет

имеет неспаренных электронов. *Молекулярный ион* возникает в результате присоединения к молекуле или отщепления от нее электрона. *Молекулярный радикал* – молекула, имеющая неспаренные электроны.

В состав молекул входит от двух до многих сотен и тысяч атомов (молекулы полимеров – *макромолекулы).* Соответственно молекулы имеют размеры порядка 10^{-1}-10^{-6} нм. Структура молекулы каждого вещества не зависит от способа его получения. Состав молекул передает брутто-формула (H_2O, CH_4, HC1 и т. п.), которую устанавливают химическим анализом на основании атомного соотношения элементов в веществе и молекулярной массы. Структурные формулы отражают последовательность и порядок связей между атомами.

Вследствие того, что электронные орбитали молекул обычно строго ориентированы в пространстве, каждая молекула имеет определенную форму, которая обусловливает индивидуальные свойства вещества. Форма молекул ионных соединений определяется значениями электрического заряда и размерами ионов. Форма молекул с ковалентными связями зависит от конфигурации электронных орбиталей, поэтому молекулы с ковалентными связями обладают специфической геометрией (рисунок 1.1).

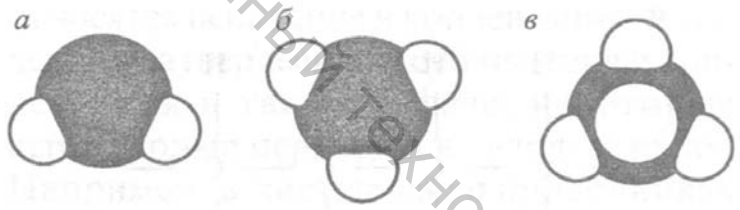


Рисунок 1.1 – Полусферические модели молекул с ковалентной связью между атомами:
а – вода H_2O; б – аммиак NH_3; в – метан CH_4

Молекулы с одинаковой брутто-формулой могут различаться расположением атомов в пространстве. *Изомерия* – явление, заключающееся в существовании химических соединений, одинаковых по составу и молекулярной массе, но отличающихся строением и вследствие этого физическими и химическими свойствами. Такие соединения называют *изомерами.* Различают структурные и пространственные изомеры. Первые отличаются порядком связей между атомами в молекуле. Например, молекулы нормального бутана и изобутана имеют соответственно линейное и разветвленное строение (рисунок 1.2).

Витебский государственный технологический университет

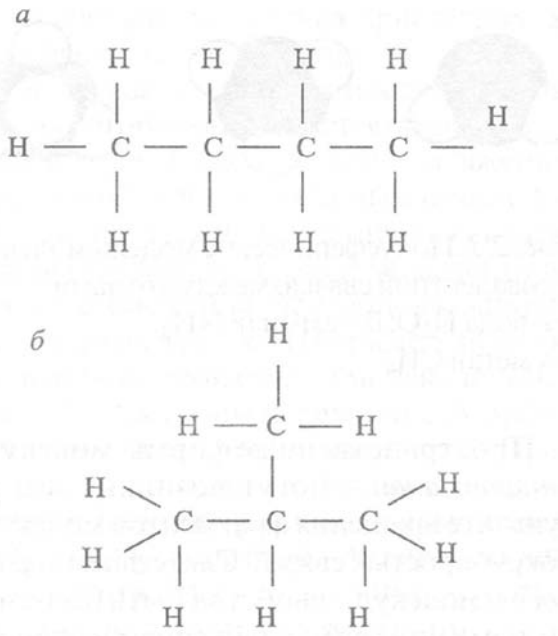


Рисунок 1.2 – Структурные изомеры: а –бутан; б– изобутан

Явление, когда два (или более) структурных изомера самопроизвольно переходят друг в друга и между ними существует неустойчивое равновесие, называют *таутомерией.* Молекулы пространственных изомеров (*стереоизомеров*) отличаются расположением атомов в пространстве при одинаковом порядке связей между ними. Одним из видов пространственной изомерии является геометрическая, свойственная соединениям, в молекулах которых имеются двойные связи или циклы (рисунок 1.3).

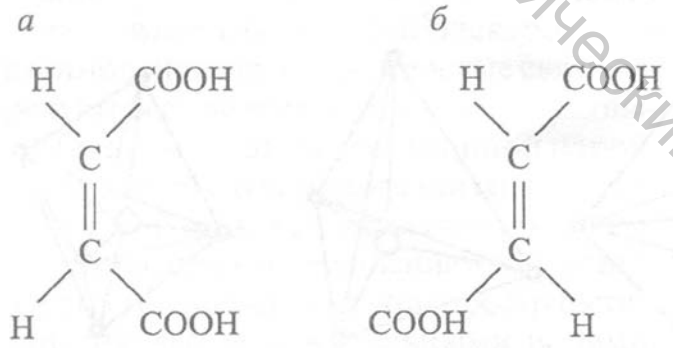


Рисунок 1.3 – Структура молекул геометрических изомеров кислот: а –малеиновой; б – фумаровой

Пространственные формы молекул – *конформации* – могут возникнуть в результате вращения фрагментов молекулы вокруг простых связей.

Одним из крупнейших достижений естествознания 1940-х годов было создание методов исследования, позволяющих установить про-

Витебский государственный технологический университет

странственную структуру молекул. Геометрию молекул с равновесным расположением атомных ядер характеризуют длиной связей и величиной валентных углов. Эти параметры находят экспериментально с помощью методов физико-химического анализа или рассчитывают квантово-химическими методами.

Молекулы находятся в непрерывном движении. Энергия молекулы складывается в основном из энергий ее поступательного движения и вращения, взаимодействия электронов и атомных ядер, колебательного движения ядер. Эти составляющие, кроме энергии поступательного движения, меняются дискретно. При переходе молекулы из одного квантового состояния в другое испускается или поглощается квант энергии порядка 10–100 кДж/моль. Такой переход может произойти в результате вращения фрагментов молекулы, разрыва связей и по другим механизмам. Усреднение энергии молекулы по всем возможным квантовым состояниям дает ее среднюю энергетическую характеристику, называемую иногда *энергией диссоциации* молекулы на атомы.

Молекулы электронейтральны, однако, если «центры тяжести» положительных и отрицательных зарядов не совпадают, они полярны. В этом случае они обладают собственным электрическим дипольным моментом. Молекулам свойственна поляризуемость – свойство приобретать дополнительный дипольный момент во внешнем электрическом поле. В подавляющем большинстве они диамагнитны, т. е. не обладают постоянным магнитным моментом.

В результате взаимодействия одинаковых или близких по природе молекул возникают более сложные образования — *ассоциаты* (димеры, тримеры и т. п.), существующие, как правило, в газообразном состоянии и в растворах. Молекулы связаны в ассоциатах ван-дер-ваальсовыми, диполь-дипольными и другими силами взаимодействия с переносом заряда, включая водородную связь. При образовании молекулярных агрегатов вещество переходит чаще всего в твердое состояние. Типичными агрегатами являются сростки минералов различной структуры и формы.

Изучение структуры и свойств молекул имеет фундаментальное значение для естествознания в целом и особенно для материаловедения.

1.1.2 Фазовое состояние вещества

С позиций термодинамики физические свойства всех веществ, в том числе материалов, можно изучать на основе анализа происходящих в них преобразований энергии. Состояние термодинамической системы, в которое она самопроизвольно приходит в течение достаточно большого промежутка времени при неизменных внешних условиях, называют *равновесным. Фаза* – термодинамически равновесное состояние вещества, отличающееся свойствами от других возможных равновесных состояний того же вещества. Иногда неравновесное (метастабильное) со-

Витебский государственный технологический университет

стояние вещества также называют фазой (метастабильной). Любой однофазный материал характеризуется отсутствием поверхностей раздела между составляющими его структурными образованиями, т. е. является гомогенным. Гетерогенный материал содержит, как минимум, две фазы.

Фазовый переход – переход вещества из одной фазы в другую при изменении внешних условий. Значение температуры, давления, напряженности электрического, магнитного полей или другой физической величины, при котором происходит фазовый переход, называется *точкой перехода.* Различают фазовые переходы двух родов.

Фазовые переходы I рода сопровождаются скачкообразным изменением термодинамических характеристик вещества (плотности, концентрации компонентов и др.) при непрерывном изменении его внешних параметров. В веществе выделяется или поглощается определенное количество теплоты, называемое *теплотой фазового перехода.* К переходам I рода относятся испарение и конденсация, плавление и затвердевание, сублимация и конденсация в твердой фазе, некоторые структурные переходы в твердых телах. Например, в чистых сверхпроводниках сильное магнитное поле вызывает фазовый переход I рода из сверхпроводящего состояния в нормальное.

В отсутствие внешних полей и химических реакций состояние фазы, содержащей k компонентов, определяется $(k+1)$ независимыми параметрами: температурой, давлением и $(k-1)$ молекулярными долями компонентов. Функции этих параметров, характеризующие фазу, называются *термодинамическими потенциалами.* К последним относится так называемый изобарно-изометрический потенциал, или потенциал Гиббса:

$$G = H - TS, \tag{1.1}$$

где H – энтальпия (теплосодержание): $H=U+pV$ (U– внутренняя энергия системы, p – давление, V – объем системы), T – температура; S – энтропия или мера необратимой рассеянной энергии: $dS = \delta Q/T$, dS – дифференциал энтропии, δQ – количество теплоты, сообщенной системе в изотермическом процессе.

При температуре абсолютного нуля и фиксированном давлении термодинамически равновесной является фаза с минимальным значением G. В точке перехода фазы с одинаковыми значениями G находятся в равновесии.

При фазовых переходах I рода может возникать метастабильная фаза, в которой вещество находится на протяжении длительного времени, не переходя в более устойчивую при данных условиях фазу. Например, жидкость можно нагреть выше точки кипения или переохладить ниже точки замерзания. Существование метастабильных фаз связано с особенностями кинетики фазовых переходов. Последние начинаются с возникновения зародышей новой фазы — появления пузырьков пара

Витебский государственный технологический университет

при кипении жидкости, микрокристалликов при переходе жидкости в твердую фазу и т. п. Для образования зародышей требуется энергия, которая расходуется на создание поверхностей раздела фаз. Это может задержать переход материала из метастабильной фазы в абсолютно устойчивую при данных условиях.

При фазовых переходах II рода плотность и термодинамические функции веществ непрерывны, а скачок испытывают производные этих функций по давлению и температуре, например теплоемкость при постоянном давлении, сжимаемость и т. д. Теплота такого перехода равна нулю. Примеры фазовых переходов II рода — переход материалов из немагнитного состояния в магнитное, сопровождаемый появлением макроскопического магнитного момента; переход металлов и сплавов из нормального состояния в сверхпроводящее; переход изотопов ^{3}He и ^{4}He в сверхтекучее состояние и др.

Состояния вещества, переходы между которыми сопровождаются скачкообразным изменением ряда физических свойств, т. е. являются фазовыми переходами I рода, называют *агрегатными.* В зависимости от физических условий, главным образом от температуры T и давления p, вещества могут существовать в твердом, жидком и газообразном агрегатных состояниях. Об условности выделения агрегатных состояний свидетельствуют возможность непрерывных переходов в веществах (фазовых переходов II рода), одновременное существование в некоторых материалах структур, которые обладают свойствами разных агрегатных состояний, и т. д. Признаком того или иного агрегатного состояния считают значение величины $\varepsilon\ (p,\ T)$ — отношения средней потенциальной энергии взаимодействия молекул в веществе к их кинетической энергии.

1.1.3 Агрегатное состояние вещества

Газ – агрегатное состояние вещества, в котором частицы не связаны или слабо связаны силами взаимодействия и хаотически движутся, заполняя весь возможный объем. Для газов $\varepsilon\ (p,\ T) << 1$. Ионизированный газ, в котором плотности положительных и отрицательных зарядов практически одинаковы, – *плазму* – часто считают четвертым агрегатным состоянием вещества.

В газах межмолекулярные расстояния велики, молекулы слабо взаимодействуют и вследствие теплового движения перемещаются практически свободно. Газ, силами взаимодействия молекул которого можно пренебречь, называют *идеальным.*

Температура вещества зависит от кинетической энергии его молекул, поэтому, расширяясь, газ охлаждается. При достаточно сильном сжатии газы превращаются в жидкости. Однако при температурах выше некоторой критической сжижение газа посредством одного только уве-

Витебский государственный технологический университет

личения давления оказывается невозможным, так как кинетическая энергия молекул газа достаточна, чтобы преодолеть межмолекулярное притяжение. По этой причине для сжижения газов используют эффект охлаждения, происходящий при их расширении без теплообмена с окружающей средой.

Газообразное состояние обозначают термином *пар,* если газовая фаза находится в равновесии с жидкой или твердой фазой того же вещества. Во многих случаях понятия «пар» и «газ» эквивалентны. Пар, находящийся в равновесии с жидкой или твердой фазой того же вещества, называют насыщенным. Если пар имеет при заданном давлении температуру выше температуры насыщенного пара, он называется перегретым.

Жидкости – вещества, сочетающие свойства газов и твердых тел. Для них $\varepsilon(p,T) \approx 1$. Тепловое движение молекул (атомов) жидкости представляет собой сочетание малых колебаний около положений равновесия и перескоков из одного положения равновесия в другое. Этим обусловлена *текучесть*— свойство жидкости (и газа) пластически или вязко деформироваться под действием механической нагрузки. Давление в любой точке покоящейся жидкости одинаково во всех направлениях, поэтому жидкости, подобно газам, не обладают упругостью формы и практически несжимаемы. Их испарение относится к фазовым переходам I рода и характеризуется энергией, затрачиваемой на испарение, — *теплотой парообразования.* По мере охлаждения движение молекул жидкости замедляется, а когда они фиксируются в определенных положениях, жидкость превращается в твердое тело. Количество теплоты, которое нужно подвести к твердому кристаллическому веществу при постоянном давлении, чтобы полностью перевести его в жидкое состояние, называют *теплотой плавления.*

Внутри жидкости каждая молекула испытывает притяжение со стороны окружающих молекул, равнодействующая этих сил равна нулю. Силы притяжения, приложенные к молекуле, находящейся на поверхности жидкости, не скомпенсированы притяжением сверху, поэтому поверхность жидкости на границе с газом подобна натянутой пленке. *Поверхностное натяжение* жидкости — характеристика сил межмолекулярного взаимодействия, численно равная работе, которую нужно затратить, чтобы при постоянной температуре увеличить на единицу площадь поверхности раздела жидкости и ее насыщенного пара, т. е. перевести соответствующее число молекул из объема жидкости в поверхностный слой. При отсутствии внешних воздействий благодаря поверхностному натяжению жидкости принимают форму шара с минимальной площадью поверхности. *Смачивание* — явление, возникающее при соприкосновении жидкости с поверхностью твердого тела или другой жидкости. Оно является результатом молекулярного взаимодействия на границе раздела фаз, которое проявляется в растекании жидкости

Витебский государственный технологический университет

по поверхности сопряженного тела, искривлении ее свободной поверхности вблизи границы соприкосновения *(мениск),* пропитывании жидкостью пористых твердых тел и порошков и т. д.

Вязкость, или *внутреннее трение,* – свойство текучих веществ (жидкостей, газов) оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой. *Текучесть* – величина, обратная вязкости. Основной причиной вязкости жидкостей является взаимодействие молекул, ограничивающее их подвижность.

Вещество в твердом агрегатном состоянии, или *твердое тело*, характеризуется стабильностью формы, так как образующие его атомы совершают лишь малые (тепловые) колебания вокруг фиксированных положений равновесия. Для твердых веществ $\varepsilon\ (p,T)>1$.

Энергия взаимодействия частиц твердого тела соизмерима с энергией их теплового движения, но значительно меньше энергии, которая требуется, чтобы разрушить саму частицу. Твердые тела относят к системам сильновзаимодействующих частиц. Физические свойства твердых тел в значительной мере определяются степенью пространственного упорядочения их частиц.

Кристаллы – твердые тела с трехмерной периодической атомной структурой, имеющие при равновесных условиях образования естественную форму правильных симметричных многогранников. Кристаллизация, т. е. образование кристаллов, происходит при нарушении термодинамического равновесия в так называемой маточной среде: жидкостях (раствор или расплав), газовой фазе (пар) или твердом теле. Равновесные условия кристаллизации соответствуют протеканию равновесного процесса, который сопровождается столь медленным изменением термодинамических параметров состояния кристаллизующегося вещества, что все промежуточные состояния можно считать равновесными.

Кристаллическая решетка – регулярное расположение в кристаллах частиц (атомов, ионов, молекул), характеризующееся периодической повторяемостью в трех измерениях. При трехмерной периодичности частиц достигается уравновешивание сил притяжения и отталкивания между ними, соответствующее минимуму потенциальной энергии твердого тела. Для веществ в конденсированном состоянии (находящихся в жидком и твердом агрегатных состояниях) характерна согласованность в расположении соседних частиц – *ближний порядок,* который проявляется на расстояниях, сравнимых с межатомными. Кристаллические вещества имеют *дальний порядок* – строгую повторяемость во всех направлениях одного и того же структурного элемента на протяжении сотен и тысяч периодов кристаллической решетки.

Витебский государственный технологический университет

Представление о строении кристаллов дает *элементарная ячейка*– часть атомной структуры кристалла, путем трансляции которой (т. е. переноса в пространстве параллельно самой себе) можно построить всю кристаллическую решетку. Ребра элементарных ячеек обозначают буквами *a, b, c* и называют *периодами кристаллической решетки,* или (в векторной форме) *векторами трансляций* (рисунок 1.4).

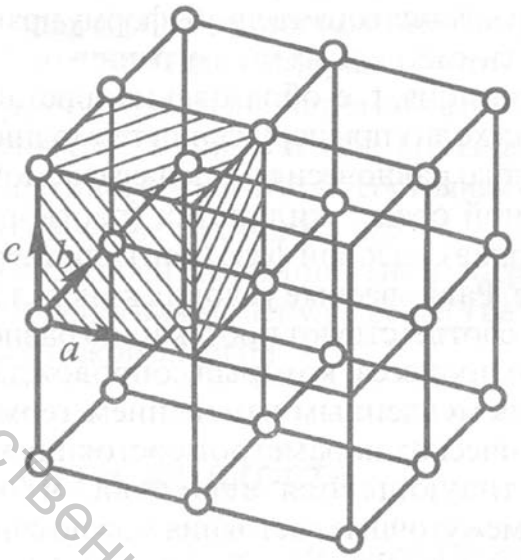


Рисунок 1.4 – Элементарная ячейка (заштрихована) кристаллической решетки

Каждая атомная плоскость кристаллической решетки, пересекаясь с осями координат, отсекает на них отрезки, соответствующие периодам решетки. Величины, обратные длине этих отрезков, обозначают буквами *h, k, l* и называют *кристаллографическими индексами* граней и атомных плоскостей. Большинство кристаллов имеет грани со значениями индексов от 0 до 3, например (100), (110), (311). Выбор осей координат производят по особым правилам в соответствии с *симметрией кристаллов* – их свойством, заключающемся в том, что кристалл может быть совмещен с самим собой путем так называемых преобразований симметрии – поворотов, отражений, параллельных переносов и др.

Твердые материалы являются, как правило, поликристаллическими, т. е. состоят из множества беспорядочно ориентированных мелких кристаллических зерен – *кристаллитов.* Крупные одиночные кристаллы называют *монокристаллами.* При неравновесных условиях кристаллизации форма кристаллов может отклоняться от формы правильного многогранника. Эту особенность используют для выращивания монокристаллов, повторяющих форму технических изделий – труб, стержней и т. д.

Некоторые кристаллические фазы являются метастабильными (относительно устойчивыми). *Полиморфизм* – свойство некоторых ве-

Витебский государственный технологический университет

ществ существовать в нескольких кристаллических модификациях с разной структурой. Наоборот, различные по химической структуре вещества могут иметь полное подобие кристаллического строения. *Изоморфизм* – свойство разных, но родственных по химическому составу и с одинаковым типом химической связи веществ кристаллизоваться в структурах, имеющих полное подобие атомно-кристаллического строения.

Устойчивость кристаллической структуры зависит от типа связи между частицами в кристалле. *Ковалентные кристаллы* с локализованными на прочных связях электронами — алмаз, кристаллы кремния, германия и др. – имеют высокие твердость и показатели преломления, малую электропроводность. В *металлических кристаллах* связь между положительными ионами осуществляется электронами проводимости, образующими в кристаллической структуре металла так называемый электронный газ. Кристаллы меди, алюминия, натрия и других металлов хорошо проводят электрический ток и теплоту, пластичны, непрозрачны.

Ионные кристаллы (с ионными связями между частицами) — галогениды, карбиды, сульфиды, оксиды металлов и др. — по свойствам занимают промежуточное положение между ковалентными и металлическими кристаллами. В *молекулярных кристаллах* действуют наиболее слабые ван-дер-ваальсовы силы, т. е. силы взаимодействия, возникающие между электрически нейтральными атомами и молекулами. Примерами молекулярных кристаллов являются кристаллы инертных газов и многих органических соединений. Они легкоплавки, механические характеристики их низки. Особую группу молекулярных кристаллов составляют кристаллы с водородными связями — лед, кристаллы фтористого водорода и др.

Для кристаллов каждого класса можно указать симметрию свойств. Так, кубические кристаллы изотропны (т. е. их свойства не зависят от направления) в отношении прохождения света, электро- и теплопроводности, но обладают анизотропией (т. е. зависимостью от направления) упругих, электрооптических, пьезоэлектрических свойств. Наибольшая степень анизотропии характерна для кристаллов низких сингоний. Не являются кристаллами, но обладают некоторыми их свойствами так называемые *жидкие кристаллы* — жидкости с анизотропией свойств (в частности, оптических), связанной с упорядоченностью в ориентации молекул.

Некристаллические вещества характеризуются отсутствием дальнего порядка в расположении атомов, ионов, молекул. Среди них выделяют *стеклообразные вещества*, отличительным признаком которых является наличие температурной области размягчения и обратимость свойств при реверсивном переходе температуры через эту область. Нагревание стеклообразных высокомолекулярных веществ до температур,

Витебский государственный технологический университет

превышающих верхнюю границу области размягчения, приводит к переходу их в высокоэластическое состояние, при котором доминирующим видом деформаций являются большие (до сотен процентов) упругие деформации. Переход стеклообразного вещества из расплавленного состояния в твердое называют *стеклованием.* Обратимость перехода через область размягчения без фазовых превращений в веществах свидетельствует о том, что стеклообразное состояние метастабильно. При воздействии внешних факторов (электромагнитного поля, ультразвуковых колебаний и т. п.) стеклообразное вещество может перейти в более устойчивое кристаллическое состояние (фазовый переход I рода). Образование в стеклообразном материале кристаллической фазы вызывает, например, помутнение оконных силикатных стекол при длительной эксплуатации.

Другую группу некристаллических веществ составляют *аморфные вещества,* которые из твердого неупорядоченного состояния при нагревании переходят в кристаллическое. Приведем примеры аморфных веществ. Структура аморфных полупроводниковых пленок германия и кремния представляет собой неупорядоченную непрерывную сетку, не тождественную кристаллической решетке этих элементов. В сильнолегированных аморфных полупроводниках (т. е. полупроводниках с большой концентрацией примесей) расстояние между соседними атомами примесей столь мало, что перекрываются силовые поля атомов и искажаются волновые функции локализованных вблизи них электронов. Это обусловливает локальные флуктуации (случайные отклонения) плотности и межатомных расстояний в материале, т. е. нарушение ближнего порядка. Состояние таких аморфных материалов обозначают термином «квазистабильное». Их получают путем сверхбыстрого охлаждения металлических расплавов, когда частицы не успевают «выстроиться» в кристаллическую решетку. Квазистабильность полученных таким образом аморфных металлов, которые иногда неоправданно называют «металлическими стеклами», проявляется в том, что они кристаллизуются при нагревании до температуры, равной примерно половине температуры плавления.

Существуют нестабильные аморфные вещества, например красный аморфный селен, который образуется при сильном переохлаждении («закалке») паров селена, а также при ионной имплантации (введении посторонних атомов внутрь твердого тела путем бомбардировки его ионами кристаллического селена). Красный аморфный селен переходит в устойчивое кристаллическое состояние практически при любой температуре, которая определяет лишь скорость перехода. Вследствие неупорядоченного состояния структуры все аморфные материалы изотропны.

Поверхность – граница раздела между двумя контактирующими средами. Частицы, расположенные вблизи поверхности твердого тела, образуют *поверхностный слой*, свойства которого отличаются от

Витебский государственный технологический университет

свойств вещества в объеме тела. Структура и свойства поверхностных слоев существенно влияют на эксплуатационные и технологические характеристики материалов.

Поверхностные явления — совокупность явлений, связанных с особыми свойствами тонких слоев вещества на границе соприкосновения фаз. Использование этих явлений для улучшения технологии переработки материалов и повышения работоспособности технических изделий — перспективное направление материаловедения.

Лекция 1.2 Свойства материалов

Работоспособность сложнотехнических изделий, а также эксплуатационные свойства изделий легкой промышленности, в значительной мере зависят от применяемых материалов. Показатели свойств материалов первоначально определяют опытным путем, т. е. с помощью измерений, используя специальные технические средства. Теоретические методы расчета свойств также основаны на использовании физических или иных констант, определяемых экспериментально. Объектом измерений являются выполненные из исследуемых материалов стандартные образцы, параметры которых, как правило, установлены в технических нормативных правовых актах (ТНПА). В результате нестабильности процесса измерения (работоспособность оператора, техническое состояние средств измерения, условия процесса и др.) возникает погрешность измерения — отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины. Приближение к истинному значению достигается в результате многократного измерения одного и того же параметра и обработки полученных результатов методами математической статистики. Обязательным условием для включения параметров в банк данных по материалам является оценка достоверности результатов измерений. Названные проблемы составляют предмет метрологии — науки об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства, способах достижения требуемой точности. Ниже приведены данные о некоторых основных свойствах материалов, показатели которых используются при выборе материалов и прогнозировании их свойств при производстве и эксплуатации изделий.

1.2.1 Физические свойства

К физическим свойствам материалов относят их геометрические характеристики (толщину, ширину, длину, площадь) и массу и собственно физические свойства (плотность, пористость, проницаемость, поглощение и отдача влаги и тепла, электрические, оптические, акустические и т. п.).

Витебский государственный технологический университет

Толщина. В производстве изделий используют материалы разной толщины. Для большинства деталей изделий толщина нормируется. От толщины материала зависят его прочность, жесткость, сопротивление истиранию, комплекс гигиенических свойств, масса изделия и т. п.

В процессе изготовления изделия толщина материала под воздействием растягивающих или сжимающих усилий, тепла, влаги может изменяться.

Для определения толщины материалов используют приборы, называемые толщиномерами. Их подразделяют на контактные и бесконтактные. Принцип измерения толщины контактным толщиномером состоит в помещении измеряемого образца между двумя пластинами прибора, связанными с индикатором, показывающим на шкале измеренную толщину. В зависимости от жесткости материалов используют толщиномеры с площадками различных размеров. Бесконтактное измерение толщины основано на радиоактивных, электрических и других принципах.

Ширина. Ширину определяют для материалов, изготовляемых в виде рулонов или пластин. Ширина, как правило, зависит от геометрических размеров (рабочего прохода) оборудования, на котором изготовляют материал (ткацкий станок, пресс, каландр и т. п.).

Площадь. Оценка площади производится лишь для кожи, так как остальные материалы имеют правильные геометрические размеры и при необходимости расчет их площади очень прост.

Масса. Массу материалов определяют разными методами в зависимости от их толщины. Так, для тонких текстильных материалов и искусственных кож определяют поверхностную плотность (массу 1 $м^2$), для картонов и резин — массу пластины, для формованных деталей — их массу. В ряде случаев масса является одним из показателей, по которому можно контролировать правильность проведения технологического процесса производства материала.

Массу материала определяют непосредственным взвешиванием или расчетными методами. Для ряда материалов (текстильных, искусственных кож, картонов) масса нормируется, причем образцы гигроскопичных материалов необходимо предварительно кондиционировать для приведения к нормальной влажности.

Одной из важнейших характеристик структуры материала является его *плотность.* По способу определения плотности все материалы делятся на две группы. К первой относят ткани и трикотаж. Для них плотность характеризуется числом нитей по основе и утку на длине 100 мм. Плотность трикотажа определяют числом петель по горизонтали и вертикали на длине 50 мм. Вторую группу составляют многие материалы для изделий из кожи (натуральная и искусственные кожи, резина, картон и т. д.), плотность которых рассматривается как производная массы, т. е. выражает массу единицы объема.

Витебский государственный технологический университет

По плотности материалы делят на непористые (монолитные) и пористые. Для пористых материалов различают истинную и кажущуюся плотность. *Истинной плотностью* называют отношение массы материала к объему его плотного вещества, т. е. без объема пор.

Кажущейся плотностью называют отношение массы образца к его полному объему, включая объем пор.

Для образцов материалов правильной геометрической формы и неизменной толщины массу определяют взвешиванием, а объем — измерением геометрических размеров.

Знание кажущейся и истинной плотности материала позволяет рассчитывать его *пористость П*.

Пористая структура материалов характеризуется общей пористостью *П*, удельной поверхностью $S_{УД}$ и радиусом *r* пор, распределением пор по радиусам.

Различают открытую (доступную) и закрытую (недоступную), т. е. замкнутую, пористость. *Открытую пористость* $П_{ОТК}$ составляют поры, капилляры, пустоты, сообщающиеся между собой и внешней поверхностью материала. *Закрытая пористость* $П_З$ обусловлена наличием пор, изолированных друг от друга и внешней поверхности, а также от системы открытых пор. Например, в натуральной коже преобладает открытая пористость, а в резине — закрытая.

Параметры пористой структуры определяют различными методами. Наиболее достоверные результаты дают прямые методы: оптической и электронной микроскопии (сканирующая и просвечивающая).

Широко распространены косвенные методы изучения структуры пористых тел: сорбционный, ртутной порометрии и т. д. В названных методах делают допущение, что поры имеют форму цилиндров, и на этом основании рассчитывают их эквивалентный радиус.

От степени пористости материала, характера распределения пор по радиусам зависят многие его свойства, и прежде всего гигиенические (гигроскопичность, паро-, влагопоглощение, паро-, влагоотдача, теплопроводность), а также механические. При наличии только замкнутых пор материал не может обладать высокими гигиеническими свойствами (например, пористая резина).

Способность материала пропускать пары воды, воздух, газы, жидкости называется *проницаемостью*. От проницаемости зависят многие свойства изделия, и прежде всего гигиенические.

Паропроницаемость — это способность материала пропускать пары воды. Паропроницаемость — это процесс переноса вещества через мембрану (материал или систему материалов), вызванный перепадом давлений, концентрации или температуры по разные ее стороны.

Для обеспечения высокой паропроницаемости материал должен иметь развитую пористую структуру с большой удельной поверхностью, наличием микропор и сквозных пор, а полимерный каркас мате-

Витебский государственный технологический университет

риала должен быть гидрофилен.

Принято считать, что высокий уровень гигиенических свойств материалов определяется оптимальным соотношением паропроницаемости и пароемкости, называемой также сорбционной емкостью.

Воздухопроницаемость зависит от многих факторов, и прежде всего от структурных (пористости, плотности переплетения волокон или нитей, количества сквозных пор). С увеличением числа сквозных пор и их размеров воздухопроницаемость растет.

Воздухопроницаемость зависит от влажности материалов, с увеличением которой она уменьшается.

В процессе производства изделий и их эксплуатации часто возникает контакт деталей или всего изделия с капельной или паровоздушной влагой. Эти воздействия существенно изменяют свойства материалов и изделий.

Большинство материалов для изделий бытового назначения являются коллоидными капиллярно-пористыми телами. Стенки их капилляров эластичны, при поглощении влаги они меняют свои размеры.

По схеме П.А. Ребиндера все формы связи влаги с материалом делят на три группы: химическая, физико-химическая, физико-механическая.

К химической связи относят ионную и молекулярную. Связь эта очень прочная и нарушается только при химическом взаимодействии или прокаливании.

К физико-химической связи относят адсорбционную, осмотическую и структурную.

Адсорбционная связь влаги с материалом возникает вследствие адсорбции молекул воды поверхностью молекул структурных элементов материала. Эта влага заполняет самые мелкие пространства (например, неплотности между основными цепями белка кожи) и раздвигает их в результате выпрямления изогнутых боковых цепей. Адсорбционная влага поглощается с выделением большого количества тепла.

Дальнейшее проникание влаги в материал происходит вследствие молекулярно-кинетического движения молекул воды, обусловленного осмосом — избирательной диффузией растворимой фракции материала через стенку клетки. Эта влага называется *осмотически связанной*. Поглощение жидкости в данном случае не сопровождается тепловым эффектом, но вызывает увеличение объема, поэтому поглощаемую воду называют *водой набухания*. К осмотически связанной жидкости относят также жидкость, находящуюся внутри клетки — структурную влагу.

Влагу, имеющую физико-механическую связь с материалом, разделяют на *капиллярную и влагу смачивания.*

Влага, заполняющая макрокапилляры, называется *влагой смачивания*.

Наличие *капиллярной влаги* значительно увеличивает площадь и

Витебский государственный технологический университет

толщину капиллярно-пористых тел. Увеличение же *влаги смачивания* не изменяет геометрические размеры материалов. На изменение свойств кожи при растяжении влияет влага микрокапилляров, а при сжатии — адсорбционная влага.

Смачиваемость материала водой характеризуется краевым углом смачивания, зависящим от природы сорбента и характера его поверхности. Ход сорбционных процессов зависит и от характера пористой структуры сорбента — степени пористости, радиуса и удельной поверхности пор и т. п.

При оценке отношения материалов к влаге используют несколько характеристик.

Влажность (влагоемкость) $W_Ф$, %, показывает содержание влаги в материале при фактической влажности воздуха.

Капиллярность — способность продольных капилляров материала поглощать влагу. Она оценивается высотой подъема h, мм, жидкости за 1 ч по образцу, погруженному одним концом в воду.

При непосредственном контакте материалов с влагой фиксируют намокаемость H, % (водопоглощаемость).

Процессы сорбции паров воды или капельной влаги при определенных изменениях внешних условий прекращаются и начинается обратный процесс — *десорбция*, т. е. удаление поглощенной влаги. При десорбции наиболее активно влага удаляется в начальный период, а затем скорость десорбции резко снижается.

Десорбционную способность материалов характеризуют показателем *влагоотдачи* B, %, который измеряется количеством влаги, отданной увлажненным образцом материала после его высушивания при определенных условиях (различных для разных по природе материалов).

Водопромокаемость материалов характеризуется временем, необходимым для сквозного пропитывания водой сухого образца. Водопроницаемость характеризует способность влажного материала пропускать воду. Основное влияние на водопромокаемость и водопроницаемость материалов оказывают способность их смачиваться водой, структура пористости (прежде всего наличие сквозных пор).

Производство изделий легкой промышленности и последующая их эксплуатация связаны с непрерывным действием на материалы внешнего теплового поля. Теплообмен между телом человека и внешним тепловым полем осуществляется через защитную оболочку, т. е. через материалы, из которых изготовлены обувь и одежда. Теплообмен является сложным процессом, который можно разделить на составные: теплопроводность, конвекцию и излучение. Тепловая энергия теплопроводностью передается в материале от частиц (молекул, атомов, электронов) с большей энергией частицам с меньшей энергией. Теплообмен конвекцией возможен только в жидкостях и газах путем переноса теп-

Витебский государственный технологический университет

ловой энергии вещества. Теплообмен излучением происходит путем двойного превращения энергии — тепловой в электромагнитную и электромагнитной в тепловую. Все эти виды теплообмена протекают в материалах, дополняя друг друга, но основное значение имеет теплообмен путем теплопроводности.

Теплопроводность характеризует способность обувных материалов проводить теплоту. Она равна количеству теплоты, прошедшей в единицу времени через единицу площади материала толщиной 1 м при перепаде температур 1 °С.

Температуропроводность характеризует скорость изменения температуры материала при нестационарных тепловых процессах и является мерой его теплоинерционных свойств. Температуропроводность зависит от теплопроводности материала и теплоемкости.

Термическое сопротивление R характеризует способность материалов препятствовать прохождению теплоты и, следовательно, определяет их теплозащитные свойства. Чем выше *R*, тем лучше теплозащитные свойства материала.

При изменении температуры окружающей среды материалы способны поглощать или отдавать теплоту, что ведет к изменению внутренней энергии вещества. Данная способность материалов характеризуется показателем «теплоемкость».

Теплоемкость показывает, какое количество теплоты необходимо подвести к материалу или отвести от него, чтобы изменить его температуру на 1 °С. Теплоемкость единицы массы материала называют удельной теплоемкостью.

Способность материала к образованию и накоплению на его поверхности зарядов статического электричества называется *электризуемостью*. *Электропроводность* характеризует способность материала проводить электрический ток, т. е. отводить заряды с деталей изделий.

Способность материала к генерации электростатических зарядов характеризуется *поверхностной плотностью заряда*. Например, на поливинилхлоридном линолеуме плотность электростатического заряда составляет (1 ... 3)10^{-11} Кл/см^2. Следует указать, что решающую роль в накоплении зарядов играет не способность возникновения заряда на материале, а скорость его рассеяния (стекания). Например, шерсть имеет высокую способность к электризации, однако образовавшиеся заряды быстро стекают. Гидрофобные полимеры обладают высоким электрическим сопротивлением. Способность материала к рассеянию зарядов характеризуется *удельным поверхностным электрическим сопротивлением*.

Принято считать, что предельно допустимым удельным поверхностным электрическим сопротивлением является 10^{12} Ом. У материалов с более высоким показателем стекание электрических зарядов очень длительно.

Витебский государственный технологический университет

Оптическими свойствами материалов называют их способность количественно и качественно изменять световой поток. Свет, отраженный от поверхности материала и попавший в поле зрения глаза, вызывает ощущение цвета, блеска, прозрачности и т. п. Оптические свойства материалов играют важную роль не только в их эстетической оценке, но и в передаче теплового потока, т. е. влияют и на другие физические свойства материалов.

Свет представляет собой один из видов электромагнитных колебаний. Глаз человека чувствителен лишь к небольшой области колебаний волн с длиной от 380 до 750 нм.

При падении на материал световой поток дробится на отраженный и поглощенный, который в свою очередь состоит из диффузионно рассеиваемого и пропущенного.

Доля каждой составляющей общего светового потока зависит от характера поверхности (зеркальная, шероховатая) и структуры (пористости, вида переплетения) материала.

Оптические свойства материалов характеризуются коэффициентами отражения ρ, поглощения α и пропускания τ. Их подсчитывают отношением величины отраженного, поглощенного или пропущенного потоков к падающему потоку излучения.

Оптическую плотность D, лм·с, рассчитывают по зависимости $D=k\cdot b$.

В зависимости от типа освещаемого материала падение на него светового потока вызывает у человека разные цветовые ощущения. Так, при полном поглощении света материал воспринимается черным, при частичном поглощении — серым, при полном отражении — белым. Все эти цвета относятся к группе ахроматических.

Ахроматические цвета определяются основной характеристикой — относительной яркостью — отношением потока света, отраженного или пропущенного образцом, к падающему потоку. Чем ближе относительная яркость потока к единице, тем цвет светлее.

Если световой поток, падающий на материал, поглощается его поверхностью неравномерно, избирательно, то он передается хроматическим цветом.

Хроматические цвета характеризуются яркостью, цветовым тоном и насыщенностью.

Яркость хроматических цветов показывает степень отличия данного цвета от белого. По светлоте, например, желтый цвет светлее красного, а синий темнее оранжевого.

Цветовой тон — это цветовое ощущение, характеризуемое общностью цветовых ощущений образца и цвета спектрального излучения. Различия в цветах (красный, синий, зеленый и т. п.) характеризуются длиной волны λ.

Насыщенность — это степень выражения цветового тона, т. е.

Витебский государственный технологический университет

степень отличия хроматического цвета от одинакового с ним по светлоте ахроматического. Насыщенность спектральных цветов наибольшая, а насыщенность ахроматических равна нулю.

Два цвета могут иметь одинаковые цветовые тона и яркость, но отличаться насыщенностью. Например, желтые цвета воспринимаются менее насыщенными, чем синие.

Цвет оценивают различными методами колориметрии. Чаще применяют методы спектрофотометрической и фотоэлектрической колориметрии.

1.2.2 Механические свойства

Механические свойства материалов характеризуют возможность их использования в изделиях, эксплуатируемых при воздействии механических нагрузок. Основными показателями таких свойств служат параметры прочности, твердость и триботехнические характеристики. Они зависят не только от природы материалов, но и от формы, размеров и состояния поверхности образцов, а также режимов испытаний, прежде всего от скорости нагружения, температуры, воздействия сред и других факторов.

Прочность – свойство материалов сопротивляться разрушению, а также необратимому изменению формы образца под действием внешних нагрузок. Прочность определяется силами взаимодействия атомных частиц, составляющих материал.

Деформирование – изменение относительного расположения частиц в материале. Наиболее простые его виды – растяжение, сжатие, изгиб, кручение, сдвиг. *Деформация* – изменение формы и размеров образца в результате деформирования.

Параметры деформирования – *относительное удлинение* $\varepsilon = (l - l_0)/ l_0$ (где l_0 и l– длина образца исходная и после деформирования), *угол сдвига* — изменение прямого угла между лучами, исходящими из одной точки в образце, при его деформировании. Деформацию называют упругой, если она исчезает после снятия нагрузки, или пластической, если она не исчезает (необратима). Пластическими свойствами материалов при малых деформациях часто пренебрегают.

Материалы характеризуются *технической прочностью,* основные характеристики которой удобно рассмотреть с помощью диаграммы растяжения образца из пластичного металла (рисунок 1.5).

Предел пропорциональности – напряжение, при котором отступление от линейной зависимости между напряжениями и деформациями достигает некоторого значения, установленного техническими условиями. Эта характеристика, обозначаемая $\sigma_{пц}$, является верхней границей области напряжений, где реализуется закон Гука.

Витебский государственный технологический университет

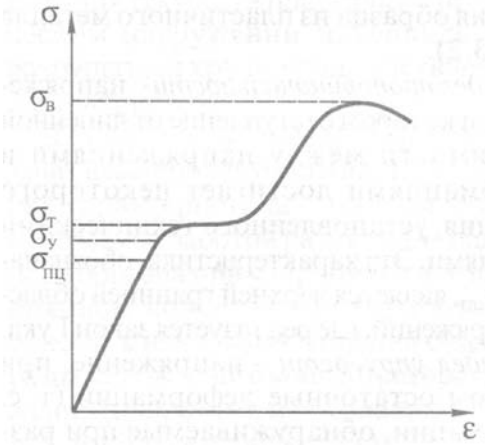


Рисунок 1.5 – Зависимость нормального напряжения σ в образце от относительного удлинения ε при растяжении образца

Предел упругости – напряжение, при котором остаточные деформации (т. е. деформации, обнаруживаемые при разгрузке образца) достигают значения, установленного техническими условиями. Обычно допуск на остаточную деформацию составляет 10^{-3}–10^{-2} %. Предел упругости σ_y ограничивает область упругих деформаций материала.

Понятие о модуле как о характеристике упругости материалов возникло при рассмотрении идеально упругих тел, деформация которых линейно зависит от напряжения. При простом растяжении (сжатии)

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \tag{1.2}$$

где E – модуль Юнга, или модуль продольной упругости, который характеризует сопротивление материалов упругой деформации (растяжению, сжатию); ε – относительная деформация. При сдвиге в материале по направлению сдвига и по нормали к нему действуют только касательные напряжения:

$$\tau = G \cdot \gamma, \tag{1.3}$$

где G – модуль сдвига, характеризующий упругость материала при изменении формы образца, объем которого остается постоянным; γ – угол сдвига.

При всестороннем сжатии в материале по всем направлениям действует нормальное напряжение

$$\sigma = K \cdot \Delta, \tag{1.4}$$

где K– модуль объемной упругости, который характеризует сопротивление материала изменению объема образца, не сопровождающемуся изменением его формы; Δ – относительное объемное сжатие.

Постоянной величиной, характеризующей упругость материалов при одноосном растяжении, является *коэффициент Пуассона:*

Витебский государственный технологический университет

$$\nu = |\varepsilon'|/\varepsilon \qquad (1.5)$$

где ε' – относительное поперечное сжатие; ε – относительное продольное удлинение образца.

Модули упругости однородных изотропных тел одинаковы по всем направлениям и связаны соотношениями: $G=E/[2(l+\nu)]$, $K=E/[3(l-2\nu)]$. Следовательно, упругие свойства изотропных материалов определяются двумя независимыми постоянными E и ν. Для большинства металлов ν= 0,3. Для несжимаемого материала ν = 0,5, поэтому $G = E/3$ и $K\to\infty$. У анизотропных материалов постоянные E, G и ν зависят от направления действия нагрузки.

Предел текучести σ_T – напряжение, при котором в образце начинает развиваться пластическая деформация. Оно отвечает нижнему положению площадки текучести на диаграмме $\sigma_T = f(\varepsilon)$ для материалов, разрушению которых предшествует заметная пластическая деформация. Прочие материалы характеризуют *условным пределом текучести* — напряжением, при котором остаточная деформация достигает значения, установленного техническими условиями (большего, чем для $\sigma_у$). Обычно остаточная деформация образцов не превышает 0,2 %. Тогда условный предел текучести обозначают $\sigma_{0,2}$.

Предел текучести является основной характеристикой прочности пластичных материалов. В практике расчетов на прочность $\sigma_{пц}$ и $\sigma_у$ часто принимают равными пределу текучести.

Предел прочности – напряжение, соответствующее максимальному (в момент разрушения образца) значению нагрузки. Отношение наибольшей силы, действующей на образец, к исходной площади его поперечного сечения называют *условным пределом прочности,* а также *временным сопротивлением, разрушающим напряжением* и обозначают $\sigma_в$. При растяжении образцов из металлов и многих других материалов разрыву обычно предшествует образование шейки, т. е. местное утоньшение образца. *Истинный предел прочности* – отношение растягивающей силы непосредственно перед разрывом к наименьшей площади поперечного сечения образца в шейке. *Удельная прочность* – отношение предела прочности материала к его плотности. *Относительное удлинение при разрыве* – отношение приращения длины образца в момент разрыва к его первоначальной длине.

Предел прочности – основная характеристика механических свойств хрупких материалов, т. е. материалов, которые разрушаются при малых пластических деформациях. Временное сопротивление материалов, разрушающихся без местного изменения площади поперечного сечения в зоне разрушения, обозначают $\sigma_{пч}$.

Правила определения характеристик технической прочности материалов при растяжении, сжатии, изгибе, кручении и других видах на-

Витебский государственный технологический университет

пряженного состояния установлены ТНПА.

Динамическая прочность – сопротивление материалов динамическим нагрузкам, т. е. нагрузкам, значение, направление и точка приложения которых быстро изменяются во времени.

Выносливость – свойство твердых материалов противостоять усталости. Усталостный процесс характеризуют зависимостью между накопленным в образце повреждением и числом N циклов нагружения, график которой называют *кривой усталости. Цикл нагружения* – совокупность переменных значений напряжений или деформаций, происходящих за один период их изменения, повторяющийся в процессе длительного нагружения образца. Циклы различают по виду деформации, кинетической зависимости напряжения, величине наибольшего напряжения, частоте воздействия на образец и т. д. Цикл характеризуют коэффициентом асимметрии $R = \sigma_{min}/\sigma_{max}$, где $\sigma_{\min}$ и σ_{max} – наименьшее и наибольшее по алгебраической величине значения напряжения в цикле. Если R = -1, цикл называют *симметричным,* при прочих величинах R цикл *асимметричен. База испытаний* $N_б$ – продолжительность испытаний на усталость. Обычно при испытаниях конструкционных материалов на усталость $N_б = 10^6 \div 10^8$ циклов. Если образование трещин или полное разрушение образца происходит при $N_б = 5 \cdot 10^4$, такую усталость называют малоцикловой.

Малоцикловая усталость конструкционных материалов имеет большое значение для оценки надежности штампового инструмента, сосудов высокого давления и др. *Предел выносливости* – наибольшая величина напряжения в цикле нагружения, которая не приводит к разрушению образца при числе циклов нагружения, меньшем базы испытаний.

На выносливость влияют концентрация повреждений на поверхности образца, температура и физико-химическая активность среды, в которой проводят испытания.

Чем больше напряжение, тем меньше времени проходит до разрушения образцов, которому предшествует деформация ползучести. *Ползучесть* – непрерывное пластическое деформирование материалов под действием постоянной нагрузки. Все твердые материалы в той или иной мере подвержены ползучести при температурах переработки и эксплуатации. Вредные последствия ползучести материалов особенно проявляются при повышенных температурах. Процесс ползучести описывают зависимостью деформации от продолжительности нагружения при постоянной температуре – так называемой кривой ползучести.

Предел ползучести – наибольшее напряжение, при котором скорость или деформация ползучести за определенный промежуток времени не превышает значения, установленного техническими условиями. Ползучесть кристаллических материалов вызвана перемещением дефектов кристаллической решетки, вследствие чего локальные напряжения у

Витебский государственный технологический университет

краев трещины уменьшаются (релаксируют). *Релаксация* – процесс установления термодинамического равновесия в материалах – приводит к выравниванию напряжений в материале при постоянном деформировании.

Причиной неудовлетворительной прочности изделий может быть влияние поверхностных дефектов и напряжений, которые возникают из-за неравномерного распределения нагрузки, обусловленного особенностями конструкции. Вследствие этого прочность элементов конструкций (сварных и ниточных швов, болтов, склеек и т. д.) – *конструкционная прочность* — во многих случаях ниже технической прочности использованных в конструкции материалов.

Твердость является механической характеристикой материалов, комплексно отражающей их прочность, пластичность, а также свойства поверхностного слоя образцов. Она выражается сопротивлением материала местному пластическому деформированию, возникающему при внедрении в образец более твердого тела-индентора. В зависимости от способа внедрения и свойств индентора твердость материалов оценивают по различным критериям, используя несколько методов. Наибольшее распространение получили три группы методов: вдавливание индентора, динамические методы, царапание.

Вдавливание индентора в образец с последующим измерением размеров отпечатка является основным технологическим приемом при оценке твердости материалов. В зависимости от особенностей приложения нагрузки, конструкции инденторов и процедуры определения чисел твердости различают методы Бринелля, Роквелла, Виккерса, Шора.

Динамические методы измерения твердости не приводят к возникновению дефектов на поверхности образцов. Распространен способ определения этой характеристики в условных единицах по высоте отскакивания легкого ударника (бойка), падающего на поверхность образца с определенной высоты. В приборостроении один из наиболее точных сравнительных методов оценки твердости образцов с одинаково обработанной поверхностью состоит в регистрации времени затухания колебаний маятника, который опирается на образец. Получает распространение метод измерения твердости с помощью ультразвуковых колебаний, основанный на зависимости частоты колебаний измерительной системы от твердости исследуемого образца.

Триботехнические характеристики содержат информацию об эффективности применения материалов в узлах трения. При рассмотрении триботехнических характеристик материалов использованы следующие термины триботехники. *Внешнее трение* — сопротивление относительному перемещению двух соприкасающихся твердых тел в плоскости их касания, которое сопровождается рассеянием энергии. *Изнашивание*— процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердого тела и (или) накопления его остаточной деформации при тре-

Витебский государственный технологический университет

нии, проявляющийся в изменении размеров и (или) формы тела. *Износ* – результат изнашивания. *Смазывание* – действие смазочного материала, в результате которого уменьшаются сила трения и (или) интенсивность изнашивания.

Основные триботехнические характеристики твердых материалов – износостойкость, прирабатываемость и коэффициент трения.

Износостойкость — свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения. Величину износа выражают в единицах длины, объема или массы (линейный износ, объемный или массовый износ). Отношение величины износа или к интервалу времени τ , в течение которого он возник, или к пути L, на котором происходило изнашивание, представляет собой соответственно *скорость изнашивания:* $v = u/\tau$ и *интенсивность изнашивания:* $I = u/L$. Износостойкость материалов оценивают величиной, обратной скорости и интенсивности изнашивания.

Прирабатываемость — свойство твердого материала уменьшать силу трения, температуру и интенсивность изнашивания в процессе приработки, т. е. в начальный период трения пары.

Основная причина всех видов изнашивания — работа сил трения, которая обусловливает многократное деформирование поверхностных слоев трущихся тел, изменение их структуры, выделение теплоты и т. д. Объемная структура материалов лишь определенным образом влияет на протекание этих процессов, поэтому предсказать триботехнические характеристики материалов, зная другие параметры их механических свойств, например деформационно-прочностные, в большинстве случаев нельзя. В триботехнике установилась методологическая последовательность экспериментального определения триботехнических характеристик материалов, включающая лабораторные, стендовые и эксплуатационные испытания.

1.2.3 Технологические и эксплуатационные свойства

Технологические свойства материалов характеризуют податливость материалов технологическим воздействиям при переработке в изделия. Знание этих свойств позволяет обоснованно и рационально проектировать и осуществлять технологические процессы получения изделий. Основными технологическими характеристиками материалов являются обрабатываемость резанием и давлением, литейные параметры, свариваемость, склонность к деформации и короблению при тепловой обработке и др.

Обрабатываемость резанием характеризуют следующими показателями: качеством обработки материалов — шероховатостью обработанной поверхности и точностью размеров образца, стойкостью инструмента, сопротивлением резанию – скоростью и силой резания, видом

Витебский государственный технологический университет

стружкообразования. Значения показателей определяют при обтачивании образцов и сравнивают с параметрами материала, принятого за эталон.

Обрабатываемость давлением определяют в процессе технологических испытаний (проб) материалов на пластическую деформацию. Методы оценки обрабатываемости давлением зависят от вида материалов и технологии их переработки. Например, технологические испытания металлов *на изгиб* проводят, изгибая образцы до заданного угла (до появления первой трещины в растянутой зоне образца с фиксацией угла изгиба, до параллельности сторон или до их соприкосновения). Считают, что образец выдержал испытания, если в нем не появились излом, расслоения, надрывы, трещины. Листы и ленты испытывают *на выдавливание* с помощью специального пресса. В образце формируют сферическую лунку, прекращая вытяжку в момент достижения текучести материала. Результат определяют по наибольшей глубине лунки в неразрушенных образцах. Испытания сортового проката *на осадку* состоят в том, что образцы под прессом или молотом осаживают до определенной высоты. Образец выдержал пробу, если в нем после осадки нет трещин, надрывов или излома.

Обрабатываемость давлением порошковых материалов характеризуют текучестью, уплотняемостью и формуемостью. Метод определения *текучести* основан на регистрации времени истечения навески порошка в процессе его самопроизвольного просыпания через калиброванное отверстие воронки. От этого параметра зависит скорость заполнения порошковыми материалами форм для обработки давлением. *Уплотняемость* порошка характеризуют зависимостью объема навески порошка от давления – диаграммой прессования. *Формуемость* — свойство порошкового материала сохранять форму, полученную в процессе прессования.

Свариваемость – способность материала образовывать сварное соединение, свойства которого близки к свойствам основного материала, подвергнутого сварке. О свариваемости судят по результатам испытания сварных образцов и характеристикам основного материала в зоне сварного шва. Установлены правила определения следующих показателей свариваемости металлов: механических свойств сварных соединений, допускаемых режимов дуговой сварки и наплавки, качества сварных соединений и сварных швов, длительной прочности сварных соединений.

Технологические свойства других групп материалов специфичны для материалов разных классов и частично рассмотрены при их описании.

К эксплуатационным свойствам материалов обычно относят те, которые проявляются в процессе потребления товаров. В данном разделе приведены эксплуатационные свойства материалов на примере изде-

Витебский государственный технологический университет

лий легкой и текстильной промышленности.

Износостойкостью называют способность материалов противодействовать комплексному действию различных факторов в процессах хранения, технологической обработки и эксплуатации в изделиях. Изнашиванием материала называют процесс постепенного разрушения его при эксплуатации изделия, а износ является результатом изнашивания. Износ материалов проявляется в изменении их внешнего вида, структуры и свойств и приводит к их разрушению. В ряде случаев изменения свойств материалов делают невозможным дальнейшую эксплуатацию изделия, хотя оно еще не разрушено.

Износостойкость материалов зависит от их макро- и микроструктуры, химического состава, особенностей производства и других факторов.

Износ материалов наступает в результате одновременного действия следующих факторов:

- *механических* — истирание и потеря прочности от многократных воздействий растягивающих, сжимающих, изгибающих усилий и т. п.;
- *физико-химических* — действие света, влаги, температуры, воздуха, кислорода, озона, пота, агрессивных сред и т. п.;
- *биологических* — воздействие микроорганизмов, вызывающих процесс гниения материалов.

В процессе эксплуатации изделий факторы воздействуют на материал комплексно. Например, на подошву влияют трение о грунт, растягивающие, сжимающие и ударные усилия, светопогода и агрессивная среда и др., на материал верха обуви — атмосферные воздействия и утомление от многократных изгибов.

Износостойкость материалов при истирании. При эксплуатации изделий из кожи контакт их с опорной поверхностью, другими предметами и телом человека носит постоянный характер. В результате поверхность трущихся деталей разрушается, изнашивается. Наиболее существен этот износ для подошв и каблуков обуви.

Структура материала, его назначение, толщина определяют характер деформации при эксплуатации и, следовательно, вид этих воздействий при стендовых лабораторных испытаниях. Износостойкость материалов для изделий из кожи при трении определяют на различных приборах.

Сопротивление истиранию резин β, Дж/мм^3, характеризуют работой трения A, Дж, необходимой для истирания 1 мм^3 резины, и вычисляют по формуле $\beta = \frac{A}{\Delta V} K$, где ΔV — уменьшение объема резины за время истирания; K — коэффициент, учитывающий истирающую способность шкурки.

Испытание резин на приборе МИ-2 стандартизовано, однако оно не в полной мере воспроизводит процесс истирания при носке обуви,

Витебский государственный технологический университет

так как не учитывается трение качения и амортизационные свойства резин.

Сопротивление истиранию определяют по потере толщины кожи и характеризуют числом часов, необходимых для истирания 1 мм толщины образца.

Для оценки сопротивления истиранию картонов используют прибор ИКС, в котором закрепленный увлажненный образец картона истирают резиновой головкой при ее возвратно-поступательном движении. Сопротивление истиранию оценивают потерей толщины картона за единицу времени. Износ тканей изучают на приборе ТИ-1М, истирающем образец по кольцу.

В связи с тем, что условия испытания на всех приборах различны, сравнение результатов истирания материалов невозможно. Во всех приборах истирание осуществляется головками с поверхностью из наждачного камня, серошинельного сукна или другого материала. Критерием истираемости является число циклов истирания до появления сквозной протертости.

Лабораторные испытания тканей на истирание лишь отдаленно воспроизводят износ материала в процессе эксплуатации. В реальной носке истирающие усилия малы, воздействуют длительно, но с большими перерывами, в течение которых волокна релаксируют. На приборах эти условия не обеспечиваются, так же как и воздействия внешней среды.

Сопротивление истиранию искусственных мягких кож испытывают на приборе ИКИ-1М, сходном по конструкции с прибором ТИ-1М, но показателем является потеря массы образца на единицу затраченной работы (г/МДж).

Степень и характер износа зависят от вида контактирующих материалов, прилагаемых усилий, особенностей поверхности, скорости приложения усилий, атмосферных условий.

В процессе носки обуви подошва подвергается динамическому сжатию и изгибу в сочетании со скольжением и качением ее по грунту. Отдельные участки подошвы, например подметочная часть, находятся под высоким сосредоточенным давлением, достигающим 50 МПа.

Частота деформации низа обуви в процессе носки составляет до 100 циклов в минуту, что является основной причиной интенсивного износа подошв. Характер износа подошвенных материалов существенно различается.

Износ подошвенных материалов принято рассматривать с позиций адгезионно-деформационной теории трения, т. е. считать возникающее трение механическим сцеплением и молекулярным взаимодействием.

Для резин характерны три вида износа: усталостный, скатыванием и абразивный.

Витебский государственный технологический университет

При усталостном износе поверхностные участки растягиваются с последующим разрывом и отделением. На истертой поверхности резины видны шероховатости с беспорядочно расположенными выступами и впадинами. На степень усталостного износа влияют коэффициент трения, модуль упругости, предел прочности и удлинение при растяжении материала, характер поверхности опоры, температура в зоне контакта.

Износ скатыванием обнаруживается при трении резины по гладким поверхностям. Установлено, что в отличие от кожаных подошв подошвы из легких пористых резин в процессе ходьбы проскальзывают по опоре на 3 ... 5 мм. Поверхность резины, изношенная скатыванием, имеет ряд поперечных борозд. На степень износа существенно влияет сопротивление резины раздиру. При его уменьшении износ резины скатыванием увеличивается.

При абразивном износе ходовой слой резины царапается гранями шероховатой поверхности опоры. Поверхность резины после истирания имеет царапины в направлении движения. Этот вид износа типичен для очень твердых резин. На абразивный износ резин существенно влияют их физико-механические свойства, особенно предел прочности и модуль упругости при растяжении. При исследовании резин сопротивление многоцикловому изгибу, абразивный и усталостный износ связывают с пределом прочности при растяжении.

Прямая зависимость характерна лишь для непористых резин, у которых в отличие от пористых не проявляется амортизационная способность из-за сравнительно высокого модуля упругости. Для пористых резин зависимость носит более сложный характер.

Износ пористых подошвенных резин выражается в сквозной протертости и выкрашивании. Под выкрашиванием понимается отделение крупных частиц резины в результате раздирающих или разрывных усилий.

В изделиях из кожи особенно заметен износ текстильной подкладки. Например, трение стоп о пяточную часть подкладки вызывает ее постоянное растяжение и сжатие, сопровождающееся выпадением частиц нитей с последующим образованием разрывов и потертостей. При таком поверхностном деформировании износ носит усталостный характер. При изнашивании сначала разрушается опорная поверхность, она становится рыхлой, шероховатой, появляются комочки из спутанных волокон (пилли). В прошивных нетканых материалах разлохмачивается поверхность материала, затем выпадают волокна, обнажаются прошивные нити и начинается разрушение каркаса.

Сопротивление текстильных материалов истиранию зависит от характера опорной поверхности, вида переплетения, поверхностной плотности. Чем больше опорная поверхность и меньше напряженность в ней нитей, тем медленнее ткань разрушается при изнашивании. Ткани

Витебский государственный технологический университет

с выступающими перекрытиями нитей истираются быстрее, чем ткани с гладкой поверхностью. Так как в большинстве тканей основа натянута больше, чем уток, то и разрушается в основном основа. Если на опорной поверхности преобладают уточные нити, ткань лучше сопротивляется износу. В различных переплетениях число уточных нитей на поверхности ткани различно, наибольшее сопротивление истиранию имеют ткани саржевого переплетения. При увеличении поверхностной плотности сопротивление истиранию тканей возрастает.

Воздействие потовыделений стопы человека на обувные подкладочные текстильные материалы снижает их сопротивление истиранию в результате повышения жесткости и снижения прочности нитей под влиянием жизнедеятельности микроорганизмов. Особенно снижается сопротивление истиранию подкладочных тканей в соединении с верхом из непористых материалов. Подкладочные ткани изнашиваются быстрее, чем материалы для верха обуви, что связано с различием их деформационных свойств. Подкладочные ткани имеют малую растяжимость, поэтому постоянно находятся под действием внутренних напряжений, вызывающих их разрыв.

На истираемость подкладочных тканей существенно влияет их предварительное растяжение. В процессе формования тканевая подкладка в системе материалов верха обуви вытягивается, что приводит к ориентации пряжи в направлении растяжения и увеличению опорной поверхности, а это увеличивает сопротивление истиранию. Так, при предварительном одноосном растяжении тик-саржи на 20 % ее сопротивление истиранию увеличивается в 2,5 раза.

Сопротивление истиранию тканей также связано с их устойчивостью к закатыванию ворсовой поверхности — образованию пиллинга. Пиллинг способствует загрязнению и разрушению тканей. Наименее устойчивы к образованию пиллинга ткани из смеси натуральных и синтетических волокон, особенно из капроновых. Образование пиллинга не только повышает истираемость тканей, но и существенно ухудшает их внешний вид.

В подкладочных искусственных кожах сопротивление истиранию в основном зависит от химической природы полимера и толщины покрытия, пористости. В зависимости от этих факторов сопротивление истиранию составляет 50 ... 400 г/МДж. Истирание картонных деталей изделий из кожи наблюдается на основных стельках обуви. Особенность этого процесса состоит в постоянном возвратно-поступательном движении увлажненной стопы по поверхности стельки. Истирание состоит в отщеплении волокон картона и скатывании их в комочки наподобие пиллинга текстильных материалов. Скатываемость наблюдается только у увлажненных картонов.

Наибольшим сопротивлением истиранию обладают картоны однослойного отлива, у которых сила сцепления волокон достаточно ве-

Витебский государственный технологический университет

лика. Картоны многослойного отлива легко истираются по элементарным слоям. Так, если для стелечных картонов однослойного отлива С-1 и СЦМ сопротивление истиранию во влажном состоянии составляет 1 ... 1,5 мм/мин, то для картонов многослойного отлива С-2-3 ... 4 мм/мин.

Стойкость к старению. Старением называют процесс изменения свойств материалов под действием физико-химических факторов — климатических, агрессивных сред и др. Старение материалов происходит при хранении и эксплуатации изделий, а проявляется в изменениях механических, технологических и потребительных свойств: снижении прочности, появлении трещин, росте жесткости, изменении цвета, усадке, появлении липкости и др.

Под действием физико-химических факторов в материалах могут происходить процессы деструкции, структурирования, разложения, изменения строения главной цепи полимера, миграции компонентов, нарушения адгезионных связей и др. Наиболее распространены при старении процессы деструкции, сопровождающиеся обрывом молекулярных цепочек, снижением молекулярной массы и вызванные действием физических (механических, термических, фотохимических, ультразвуковых, радиационных) и химических (кислорода, озона, влаги, агрессивных сред) агентов. При изучении старения материалов рассматривают как комплексное влияние ряда факторов, так и индивидуальное влияние каждого.

Материалы при эксплуатации изделий из кожи подвергаются воздействию климатических факторов, приводящих материалы к старению. Стойкость материалов к действию тепла, влаги, кислорода, озона испытывают в лабораторных и натурных условиях.

Искусственное старение проводят в аппаратах искусственной погоды (везерометрах). В них образцы в зависимости от условий хранения и эксплуатации материала облучают кварцевыми лампами или лампами дневного света, обдувают, обрызгивают водой, т. е. имитируют все изменения погоды в течение дня и ночи. Обычно длительность испытаний в везерометре не превышает 900 ч.

Из натуральных волокон наиболее устойчивы к действию света волокна шерсти, наименее — волокна шелка. Низкой устойчивостью к атмосферным воздействиям обладают полиэфирные и полиамидные синтетические волокна.

На стойкость к старению влияет и структура ткани: более устойчивы толстые плотные ткани, внутренние слои которых защищены от действия агрессивных атмосферных воздействий.

Главной причиной старения резин принято считать окисление. Наиболее неустойчивы к окислению непредельные каучуки, обладающие двойными связями. Например, при окислении натурального каучука происходит деструкция, а синтетического натрийбутадиенового каучука СКВ — структурирование. В результате старения увеличивается

Витебский государственный технологический университет

жесткость резин, меняется их окраска, появляются трещины. У большинства резин на основе синтетических каучуков при старении возрастает предел прочности при растяжении в результате одновременно протекающих процессов деструкции и структурирования с преобладанием последнего. Резины по-разному реагируют на световое и тепловое старение. При действии света стареет в основном наружный слой, твердость которого повышается. Интенсивность старения резины резко повышается при ее деформировании. Тепловое старение резины изучают, выдерживая ее в термостате при температуре 70 °С в течение 72 ч.

Искусственные кожи под действием атмосферных влияний стареют, что проявляется в повышении жесткости покрытия, появлении на нем трещин и пятен, миграции пластификаторов и других компонентов.

Основной причиной ухудшения показателей физико-механических свойств считают депластификацию полимера, особенно заметную в искусственных кожах с поливинилхлоридным покрытием. Защита покрытий искусственных кож от старения состоит в применении светотепловых стабилизаторов, например, оловоорганических соединений, вводимых в небольших количествах в композицию для покрытия. Эти соединения предотвращают отщепление HCl при световом и тепловом воздействии или связывают его.

Потостойкость. Организм человека в процессе жизнедеятельности непрерывно выделяет пары воды и газа. Это явление называется неощутимой перспирацией, или кожным дыханием. За счет перспирации поддерживается определенная температура тела, так как при испарении воды происходит отдача тепла с поверхности кожи. При значительном изменении температуры окружающей среды, физической работе выделяется капельный пот, что предотвращает перегрев тела человека. Выделение пота отмечается и при нервных проявлениях (страх, радость и т. п.).

Кожа человека имеет около 2,5 млн потовых желез, причем наибольшая их плотность на коже подошвенной стороны стопы — около 500 на 1 см^2.

Пот человека представляет собой бесцветную жидкость плотностью 1,002 ... 1,010 г/см^3, состоящую из воды (98 ... 99 %), хлорида натрия, мочевины, молочной кислоты и других веществ. Состав пота зависит от места его выделения, степени потоотделения, пола человека, состояния его здоровья и т. п.

Потовыделения адсорбируются материалом. Их жидкая фаза частично испаряется, а твердая, представляющая собой различные соли, витамины и другие вещества, отлагается на поверхности деталей или в их толще. Значительная часть этих веществ является питательной средой для бактерий, что вызывает микробиологическую деструкцию материалов.

Потостойкость материалов оценивают путем выдерживания их в

Витебский государственный технологический университет

среде искусственного пота, сушки и определения коэффициента потостойкости, представляющего собой отношение пределов прочности или модулей упругости при растяжении образцов после воздействия на них потом и дистиллированной водой.

В качестве моделей пота используют водный раствор хлорида натрия, трех-, четырехкомпонентные системы и более сложные композиции. Например, С. Е. Сауляк составил модель пота из 22 компонентов.

Стойкость к действию агрессивных сред. Некоторые виды изделий могут подвергаться воздействию агрессивных сред (кислот, щелочей, окислителей и т. п.), вызывающих хемодеструкцию материалов.

Действие кислот и щелочей ускоряет гидролиз полимеров, сопровождающийся изменением механических свойств материалов. Например, под действием паров серной кислоты на поверхности кожи появляются пятна («красная гниль»), трещины.

Свойства покрытия ухудшались в тех случаях, когда водная вытяжка из кож имела pH меньше 3. Сильные щелочи вызывают потемнение и хрупкость кож, выдубленных с применением таннидов.

Подошвы специальной обуви (для рабочих химической, мясной, молочной и других отраслей промышленности) подвергаются воздействию различных агрессивных сред. Например, резиновые подошвы рабочих-станочников набухают в машинном масле.

Стойкость материалов к действию агрессивных сред обеспечивается созданием на их основе стойких к хемодеструкции полимеров и других компонентов, а также введением различных добавок.

Стойкость к действию биологических агентов. При хранении материалов и эксплуатации изделий возможно воздействие на них биологических агентов: ферментов, плесневых грибков или бактерий.

Старение и разрушение материалов под действием биологических агентов называется *биохимической коррозией*.

Наилучшие условия для быстрого роста плесневых грибков и бактерий создаются при температуре более 25°С и относительной влажности более 80%, поэтому воздействие биологических агентов особенно активно в условиях теплого и влажного климата. При более низкой температуре и относительной влажности микроорганизмы малоактивны. Воздействие микроорганизмов, как правило, ухудшает внешний вид (появляются пятна, изменяется цвет) и механические свойства материалов (повышается жесткость, падает удлинение), а также усиленно выделяются токсичные продукты деструкции.

Многие полимеры и материалы на их основе имеют фунгицидные свойства, т. е. при попадании на их поверхность микроорганизмы (например, споры плесневых грибков) гибнут. Однако введение в полимеры различных добавок (пластификаторов, наполнителей, эмульгаторов и т. п.) ухудшает фунгицидные свойства.

Витебский государственный технологический университет

По устойчивости к действию микроорганизмов все материалы делят на три группы:

1) фунгицидные;

2) фунгинертные, которые не являются питательной средой для грибков, но и не препятствуют их развитию вследствие наличия загрязнений;

3) негрибкостойкие, являющиеся питательной средой для плесневых грибков.

Многие материалы для изделий относят к третьей группе, т.е. они являются негрибкостойкими.

Плеснестойкость материалов оценивают по изменению характера поверхности после обработки ее грибками. Например, для кожи принят следующий метод испытаний. Споры плесневых грибков берут с заплесневевших кож и заливают специальной средой. Образцы материала увлажняют полученной суспензией спор плесневых грибков и помещают на 19 дней в эксикатор с температурой 30 °С. Кожа считается выдержавшей испытания на плеснестойкость, если пораженная плесенью площадь за период испытания не превышает 5 % общей.

Оценка износостойкости материалов в результате опытной носки. Качество материалов для изделия оценивают методами лабораторных исследований, технологического опробования и эксплуатационных испытаний.

В лабораторных исследованиях устанавливают показатели свойств материалов на приборах. Многие приборы и методы испытаний стандартизованы. В некоторых случаях при испытаниях имитируются условия внешних воздействий на материалы при производстве изделий или их эксплуатации. Но в большинстве случаев для ускорения получения результатов воздействуют на образцы материалов более интенсивно, чем в реальных условиях.

По многим методам испытаний обнаружены корреляционные взаимосвязи поведения материала на приборе и в процессе эксплуатации. Например, при испытании подошвенных материалов на устойчивость к многократному изгибу образец изгибают на угол 90° в разные стороны и подвергают ударной нагрузке роликами с частотой 500 циклов в минуту. Эти условия значительно жестче, чем реальные, где изгиб подошвы не превышает 25° при частоте до 50 циклов в минуту. Однако ужесточение режима испытания позволило установить для резин продолжительность опыта 30 мин (15 000 изгибов). Если материал выдержал испытания и не растрескался, то он признается устойчивым к многократному изгибу.

Технологическое опробование материала в производстве и эксплуатационные испытания (опытная носка) дают объективную характеристику возможности применения материала. Но такие испытания дли-

Витебский государственный технологический университет

тельны, дороги и не позволяют выявить влияние отдельных факторов на износ.

В настоящее время опытная носка применяется в качестве заключительных испытаний после лабораторного исследования и технологического опробования.

Технологическое опробование состоит в изготовлении небольшой партии изделий, во время которого отмечают все затруднения в использовании материала и особенности его применения. Затем выпускают опытную партию изделий и передают ее в торговую сеть. Изделия снабжают вкладышами с информацией о новом материале и просьбой к потребителю прислать отзыв об изделии.

Для характеристики эксплуатационных свойств обуви проводят опытную носку. При контроле качества новых материалов часто используют опытную носку по методу коррелятивно связанных пар. В этом случае одна из полупар обуви имеет детали из испытуемого материала, а вторая (контрольная) — из эталонного (применяемого в настоящее время). Метод нельзя признать абсолютно объективным, так как установлено, что при разных условиях, создаваемых в полупарах, организм человека рефлекторно пытается снивелировать разницу физиологических и других реакций.

Затруднительно использование опытной носки при оценке свойств материалов разной жесткости, толщины и внешнего вида. Однако главное преимущество метода перед другими — единство внешних условий для обоих полупар – обеспечивает его широкое распространение.

Носчиками являются в большинстве случаев организованные коллективы: студенты, школьники, почтальоны и другие группы населения, обеспечивающие активную эксплуатацию обуви.

При изготовлении опытной обуви придерживаются определенных правил, исключающих влияние сырья, места выкроя детали и других факторов на результаты испытаний. После выдачи обуви в эксплуатацию ее регулярно осматривают, регистрируют дефекты и опрашивают носчиков об особенностях и ощущениях в процессе носки.

Для оценки результатов носки используют показатели: средний срок фактической носки партии обуви, средний процент дефектной обуви, средний срок службы опытной детали.

Эстетические свойства понимают, как способность изделия выражать в чувственно-воспринимаемых признаках формы свою общественную ценность (социально-культурную значимость, степень совершенства, полезность, целесообразность и т. п.). Оценка эстетических свойств изделий может быть выражена понятием «привлекательность внешнего вида», или красота.

Витебский государственный технологический университет

В настоящее время основными эстетическими качествами являются: простота, функциональность, логика композиции и свойства материалов.

Композицией называют закономерность распределения элементов формы, цвета и других факторов, создающих гармонию и образность изделия.

Красоту промышленного изделия определяют совокупностью эстетических элементов: характером композиции, цветом, светотенью, качеством поверхности, соотношением элементов формы, симметрией и асимметрией, контрастом, динамикой формы, пропорциями, гармоничностью, стилем, зрительными иллюзиями. Конечно, красота каждого изделия определяется набором далеко не всех указанных элементов. К эстетическим свойствам обуви относятся художественно-композиционные, которые оцениваются гармоничной целостностью формы, соответствием художественным тенденциям, информационной выразительностью, рациональностью формы, органичностью декора, оформлением интерьера обуви и упаковки.

Гармоничная целостность формы предусматривает тектоничность (закономерность построения, выражающая функциональные и конструктивные особенности формы), пропорциональность (размерное соотношение элементов формы), масштабность (степень значимости, оцениваемая на основе восприятия соотношения частей и целого по отношению к человеку), цветовое решение модели, графическую прорисованность и единство формы.

В истории можно найти много примеров, когда *цвет* костюма (ансамбль одежды, обуви и галантерейных изделий) отражал характер общественных отношений эпохи. Например, пурпурные цвета костюма богатых и серые, темные цвета костюма бедных, необходимость в средние века для слуг носить одежду только тех цветов, которые сочетаются в гербе господина.

Любой цветовой оттенок характеризуется, как было выше указано, тремя основными параметрами: цветовым тоном, яркостью и насыщенностью. Наиболее субъективной является оценка цветового тона. Различные цветовые тона, одинаковые по яркости и насыщенности, имеют разную эстетическую значимость. Еще Леонардо да Винчи выделил четыре главных цвета: желтый, синий, красный и зеленый. Все остальные цвета представляют собой сочетания главных.

Психологическая оценка человеком цвета различна. Например, считают, что голубой цвет успокаивающий, оранжевый радостный, красный, оранжевый, желтый, желто-зеленый теплые, бодрящие, радующие, зелено-голубой, синий и голубой холодные, успокаивающие.

Одни и те же изделия, окрашенные в темные цвета, кажутся более тяжелыми и менее объемными, чем окрашенные в светлые цвета.

Витебский государственный технологический университет

Следует учитывать также, что на восприятие цвета влияет источник освещения. При солнечном освещении теплые цвета воспринимаются менее насыщенными и светлыми, чем при вечернем освещении, поэтому цвет материалов для изделий из кожи, используемых весной и летом, должен быть более насыщенным.

На гладкой блестящей поверхности цвет кажется более ярким и светлым, чем на ворсистой.

При расположении рядом двух деталей из материалов разной яркости на границе она изменяется так же, как и при расположении деталей хроматических и ахроматических цветов. Так, серый цвет на черном фоне кажется более светлым, а зеленый на голубом воспринимается более голубым.

В настоящее время успехи науки о цвете (колориметрии) позволили создать методы и приборы для различения цветовых оттенков и измерения различий между ними, т. е. количественно объективно оценивать такой, казалось бы, субъективный эстетический критерий, как цвет.

Фактура поверхности. Фактура (строение лицевой поверхности материала или качество его отделки) играет существенную роль в создании внешнего вида изделия. Фактура может быть естественной или искусственной, гладкой или шероховатой, блестящей или матовой, с тисненым рисунком или без него.

Фактура поверхности кожи разнообразна. Она зависит от биологических особенностей, возраста и условий содержания животного, методов переработки шкуры в кожу. Например, шевро имеет мерею, образованную небольшими отверстиями от волоса. Свиные кожи, наоборот, имеют грубую мерею, так как после выдергивания щетины остаются большие, неравномерно расположенные по площади кожи отверстия. Лицевая поверхность опойка гладкая и матовая.

Фактуру поверхности можно оценивать органолептически: визуально и на ощупь. Термин «гриф» характеризует ощущение мягкости поверхности материала.

На поверхность кожи иногда тиснят рисунок, имитирующий лучшие виды мереи шкур крупного рогатого скота или экзотических животных. На поверхность тканей и искусственных кож наносят разнообразные печатные рисунки.

Каждый вид фактуры имеет признаки определенного художественного образа. Например, для верха нарядной обуви чаще применяют гладкие кожи и ткани, чем кожи с глубокой нарезкой под крокодила или пестротканые материалы. В то же время для кожгалантерейных изделий всегда модны материалы с крупной нарезкой поверхности под мерею экзотических животных.

Психофизиологические эксперименты показали, что изделия из материалов с грубой фактурой окрашенной поверхности кажутся более

Витебский государственный технологический университет

тяжелыми, чем такие же изделия из материалов с гладкой поверхностью. Фактура лицевой поверхности количественно неизмерима, но отдельные ее элементы (блеск, шероховатость) поддаются измерению. Шероховатость поверхности измеряют на различных профилографах, определяя распределение отдельных неровностей (пиков).

Эстетическую оценку материалов для изделий из кожи, как и самих изделий, можно проводить методами экспертного опроса, описанными ранее.

Лекция 1.3 Технические материалы

Наибольшее значение в технике имеют классификации материалов по их структурным и функциональным признакам.

Главным структурным признаком материалов является агрегатное состояние, в зависимости от которого их подразделяют на следующие типы: твердые материалы, жидкости, газы, плазма.

Классификация твердых материалов наиболее интересна по структурному признаку — критерию порядка в расположении частиц (рисунок 1.6).

Кристаллические материалы по типу связи между частицами подразделяют на атомные, ионные, металлические и молекулярные. Из атомно-кристаллических материалов, в структуре которых преобладают ковалентные связи, наибольшее значение в технике имеют полиморфные модификации углерода и полупроводниковые материалы на основе элементов IV группы периодической системы. Типичными представителями первых являются алмаз — самый твердый минерал (твердость 10 по минералогической шкале) и графит — наиболее распространенная в земной коре и устойчивая модификация углерода со слоистой структурой. Полупроводниковые кристаллические германий и кремний являются основными материалами полупроводниковой электроники. В обширную совокупность ионно-кристаллических материалов, имеющих кристаллическую структуру с ионным типом связей, входят оксиды металлов (соединения металлов с кислородом), которые являются составляющими важнейших руд, технологических присадок при плавке металлов, полуфабрикатов, формируемых методами порошковой металлургии, и т. д., а также бориды, карбиды, нитриды (химические соединения металлов и некоторых неметаллов соответственно с бором, углеродом, азотом), которые используют как компоненты твердых сплавов.

Витебский государственный технологический университет

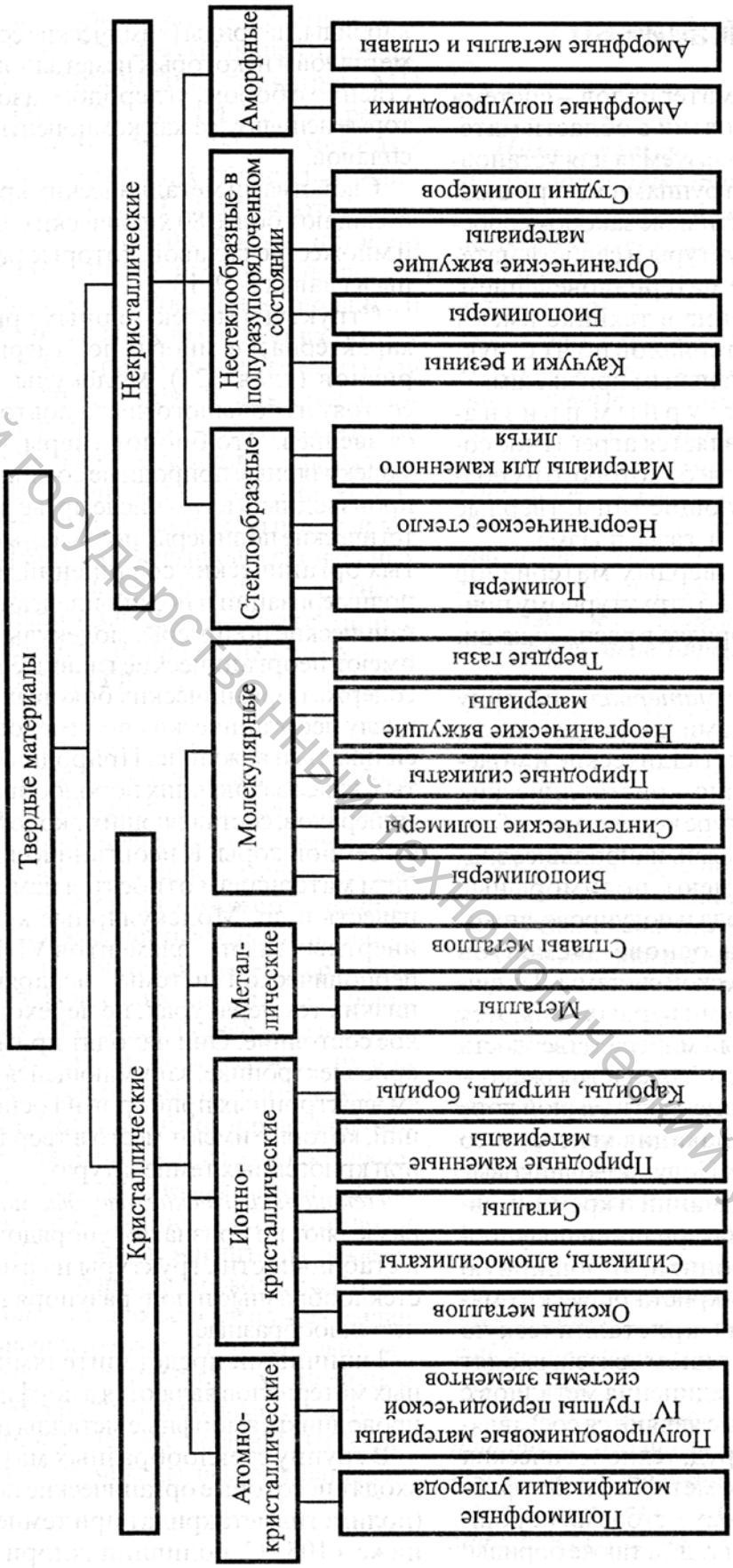


Рисунок 1.6 – Классификация твердых материалов по структурному признаку

Витебский государственный технологический университет

Структура молекулярных кристаллов характерна для многих полимерных материалов, молекулы которых состоят из большого числа повторяющихся звеньев. Это биополимеры — высокомолекулярные природные соединения и их производные (в том числе древесина); синтетические полимеры, получаемые из простых органических соединений методами полимеризации и поликонденсации; неорганические полимеры, молекулы которых имеют неорганические главные цепи и не содержат органических боковых групп. К числу неорганических полимеров относят силикаты и вяжущие. Природные силикаты — класс важнейших породообразующих минералов, составляющих около 80 % массы земной коры. К неорганическим вяжущим материалам относятся цемент, гипс, известь и др. Молекулярные кристаллы инертных газов – элементов VIII группы периодической системы — испаряются при низких температурах, не переходя в жидкое состояние. Они находят применение в криоэлектронике, занимающейся созданием электронных приборов на основе явлений, которые имеют место в твердых телах при криогенных температурах.

Некристаллические твердые материалы разделяют по признакам упорядоченности и стабильности структуры на аморфные, стеклообразные и полуразупорядоченные нестеклообразные.

Типичными представителями аморфных материалов являются аморфные полупроводники, аморфные металлы и сплавы.

В группу стеклообразных материалов входят некоторые органические полимеры (полиметилметакрилат при температурах ниже +105 °С, поливинилхлорид – ниже +82 °С и др.), а также многие неорганические материалы — неорганическое стекло на основе оксидов кремния, бора, алюминия, фосфора и т. д.; многие материалы для каменного литья — базальты и диабазы со стеклообразной структурой, металлургические шлаки, природные карбонаты с островной и цепочечной структурой (доломит, мергель, мрамор и др.).

В полуразупорядоченном нестеклообразном состоянии находятся студни (структурированные системы полимер-растворитель, образующиеся при затвердевании растворов полимеров или набухании твердых полимеров), многие синтетические полимеры в высокоэластическом состоянии, каучуки и резины, большинство материалов на основе биополимеров, в том числе текстильные и кожевенные материалы, а также органические вяжущие материалы — битумы, дегти, пеки и др.

Несовершенство рассмотренной классификации состоит в том, что технические материалы, как правило, неоднородны по структуре и включают несколько фаз. Принадлежность материала к той или иной структурной группе зависит от преобладания в нем соответствующей структуры, что в значительной мере обусловлено составом, технологической предысторией и другими индивидуальными признаками материала.

Витебский государственный технологический университет

По признаку количества фаз и масштаба неоднородностей структуры твердые материалы можно разделить на простые, композиционные и сплавы. Первые состоят из одного химического элемента или соединения и имеют однородную макроструктуру. Границей различимости макроструктуры считают предел разрешения оптического микроскопа $\delta \approx 0{,}3$ мкм. *Сплав* – материал с однородной макроструктурой, образовавшийся в результате затвердевания нагретой до жидкого состояния смеси химически разнородных веществ. Веществами, образующими сплав, могут быть металлы, неметаллы, оксиды, органические соединения и др. *Композиционные материалы* (композиты) состоят из нескольких фаз и имеют неоднородную макроструктуру. Характерные типы композитов: материалы из вещества-основы с распределенными в нем упрочнителями из другого вещества (например, бетон); материалы, состоящие из одного химического элемента или соединения, распределенного на макронеоднородные фазовые включения (например, графит с включениями алмаза); сплавы, состоящие из макронеоднородных фаз с направленной кристаллизацией, и другие.

По назначению технические материалы подразделяют на следующие группы.

Конструкционные материалы — твердые материалы, предназначенные для изготовления изделий, несущих механическую нагрузку.

Они обладают комплексом механических свойств, обеспечивающих требуемые работоспособность и технический ресурс изделий при воздействии рабочей среды, температуры и других эксплуатационных факторов. Одновременно к ним предъявляют технологические требования, определяющие наименьшую трудоемкость изготовления деталей и конструкций, и экономические, касающиеся стоимости и доступности материала, что очень важно в условиях массового производства. Конструкционные материалы подразделяют на типы, основными из которых являются металлы, силикаты и керамика, пластмассы, резина, древесина, многие композиционные материалы.

Электротехнические материалы характеризуются особыми электрическими и магнитными свойствами. Они предназначены для изготовления изделий, применяемых для передачи, преобразования и потребления электроэнергии. К ним относятся магнитные материалы, проводники, полупроводники, а также диэлектрики в твердой, жидкой и газообразной фазах.

Триботехнические материалы предназначены для применения в узлах трения с целью регулирования параметров трения и изнашивания, обеспечения заданных работоспособности и технического ресурса этих узлов. Основными видами таких материалов являются смазочные, антифрикционные и фрикционные. Номенклатуру первых образуют смазочные материалы в твердой (графит, тальк, дисульфид молибдена и др.), жидкой (смазочные масла) и газообразной фазах (воздух, пары уг-

Витебский государственный технологический университет

леводородов и другие газы). В совокупность антифрикционных материалов входят сплавы цветных металлов (баббиты, бронзы и др.), некоторые виды древесины и древеснослоистых пластиков, резины, многие композиты. Фрикционные материалы имеют большой коэффициент трения и высокое сопротивление изнашиванию. К ним относятся некоторые виды пластмасс, чугунов, металлокерамики и других композиционных материалов.

Инструментальные материалы отличаются высокими показателями твердости, износоустойчивости и прочности, предназначены для изготовления режущего, мерительного, слесарно-монтажного и другого инструмента. В номенклатуру таких материалов входят инструментальная сталь и твердые сплавы, алмаз и некоторые виды керамики, многие композиционные материалы.

Рабочие тела — газообразные или жидкие материалы, с помощью которых энергию преобразуют в механическую работу, холод, теплоту. Примеры рабочих тел: аммиак, углекислота, фреон и другие хладагенты в холодильных установках; газообразные продукты сгорания органического топлива в двигателях внутреннего сгорания и т. п.

Топливо — горючие материалы, основной частью которых является углерод, применяются с целью получения тепловой энергии при их сжигании. По происхождению топливо подразделяют на природное (нефть, уголь, природный газ, горючие сланцы, торф, древесина) и искусственное (кокс, моторные топлива, генераторные газы и др.); по типу машин, в которых оно сжигается, например, моторное.

Технологические материалы — обширная группа вспомогательных материалов, обеспечивающих нормальное протекание технологических процессов переработки материалов в изделия или нормальную работу машин. В их номенклатуру входят: клеи и герметики; лакокрасочные и вяжущие материалы; применяемые при сварке и пайке флюсы, припои, сварочные электроды и т. д.; смазочно-охлаждающие жидкости; закалочные среды; консервационные материалы (смазки, пленки, ингибиторы коррозии и т. п.), обеспечивающие защиту технических изделий от коррозии при хранении и транспортировании; антиадгезионные материалы, предохраняющие от приклеивания перерабатываемых в изделия материалов к технологической оснастке; моющие материалы; растворители и т. д.

1.3.1 Наноматериалы и нанотехнологии

Наноструктурные материалы, или *наноматериалы,* содержат структурные элементы (кристаллы, волокна, слои, поры), размер которых составляет 0,1–100 нм (1 нм=10^{-9} м), по крайней мере, в одном направлении. Благодаря уникальным свойствам наноматериалов проблемы их создания стали предметом актуального и перспективного направ-

Витебский государственный технологический университет

ления современного материаловедения. Наноматериалы получают нетрадиционными методами, совокупность которых получила название *нанотехнология.* Она сформировалась как междисциплинарное направление в результате практического применения фундаментальных знаний, полученных в разных областях мировой науки. Сумма этих знаний только на рубеже XX и XXI вв. была осознана как научная база принципиально новой технологии.

История наноматериаловедения началась с идей нобелевского лауреата, американского физика-теоретика Р. Фейнмана. Его лекция (1959) с аллегорическим названием «Внизу полным-полно места: приглашение в новый мир физики» была посвящена «конструированию» материалов методами молекулярной архитектуры. В 1969 г. выдающийся советский физикохимик П.А. Ребиндер на проходившем в г. Гомеле симпозиуме «О природе трения твердых тел» выдвинул концепцию упрочнения материалов посредством измельчения их структурных компонентов.

Термин «нанотехнология» впервые был использован (1974) японским ученым К. Танигучи при обсуждении проблем обработки хрупких материалов. Американский металловед Г. Глейтор ввел (1981) понятие «нанокристаллические материалы» и предложил метод их получения путем испарения — конденсации металлов, вакуумной консолидации *insitu* (в месте нахождения) ультрадисперсных частиц и формирования из них материалов при высоких давлениях. В это же время при производстве транзисторов были впервые использованы тонкие пленки полупроводников толщиной порядка 10 нм. Событием стало создание на этой основе так называемого полевого транзистора — униполярного транзистора, в котором изменение тока происходит под действием перпендикулярно направленного ему электрического поля, создаваемого входным сигналом. В 1981 г. был создан сканирующий туннельный микроскоп, с помощью которого стало возможно изучать материалы в нанометровом, атомарном масштабе.

Интерес, проявляемый к нанообъектам в современном материаловедении, обусловлен следующими причинами:

− методы нанотехнологии позволяют получить принципиально новые материалы с характеристиками, значительно превосходящими современный уровень лучших материалов;

− нанотехнология как междисциплинарное направление объединила усилия специалистов в области физики, химии, материаловедения, биологии, медицины, наук о Земле, компьютерной техники, экономики, социологии и др., что не могло не привести к замечательным результатам;

− решение проблем нанотехнологии выявило много пробелов в теоретическом и прикладном материаловедении и способствовало концентрации внимания на них как материаловедов, так и специалистов смежных наук.

Витебский государственный технологический университет

Во многих странах (США, ЕЭС, Япония, Китай, Россия, Беларусь и др.) приняты государственные программы, предусматривающие интенсивное развитие нанотехнологии и наноматериаловедения. В последнее время приоритетными считают следующие направления нанотехнологии:

− молекулярный дизайн материалов с заданными свойствами;

− нанопроцессоры (устройства, выполняющие арифметические и логические операции, заданные программой преобразования информации) с низким уровнем энергопотребления и рекордной производительностью;

− миниатюрные запоминающие устройства с огромным объемом памяти;

− новые лекарственные препараты, применяемые в сверхмалых дозах, и методы их адресной доставки к определенным органам;

− новые методы мониторинга (оперативного контроля) окружающей среды и организма человека с помощью наносенсоров (чувствительных элементов).

Оборот мирового рынка наноматериалов достиг к 2002 г. 300 млрд. долларов США и, по прогнозам, составит через 10–15 лет около 1 трлн. долларов.

Классификация наноматериалов, разработанных к настоящему времени, достаточно условна, поскольку количество признаков классификации практически равно числу классов наноматериалов, номенклатура которых непрерывно развивается. Ниже перечислены основные разновидности наноматериалов.

Консолидированные наноматериалы — конструкционные материалы, фольги и покрытия из металлов и их сплавов, состоящие из наночастиц, прочность связей между которыми достаточно высока. Конструкционные наноматериалы получают методами порошковой металлургии, фольги — интенсивным пластическим деформированием тонкого слоя наночастиц, покрытия — путем конденсации металлов из газовой фазы. Полупроводниковые наноматериалы используют в консолидированном виде и в виде отдельных наночастиц, входящих в состав коллоидных систем.

Фуллерены — новая (обнаружена в 1980-е годы) полиморфная модификация углерода, имеющая шарообразные молекулы C_{60} или C_{70}. Их поверхность состоит из пяти- и шестиугольников, образованных атомами С. Диаметр полой молекулы C_{60} близок к 1 нм. Название фуллеренам дано по имени американского архитектора Р.Б. Фуллера, разработавшего конструкцию куполообразной крыши («геодезический купол»), составленной из пяти- и шестиугольников, наподобие футбольного мяча. В 1991 г. японский ученый С. Ишима обнаружил углеродные нанотрубки— *тубулены* в продуктах электродугового испарения графита.

Нанопористые материалы различной природы характеризуются

Витебский государственный технологический университет

наличием в их структуре пор размером менее 100 нм. Их основное назначение — системы фильтрования, а именно — мембранные фильтроэлементы.

Катализаторы, используемые при гетерогенном (контактном) катализе, тем более активны, чем больше их удельная поверхность. Лучшие на сегодня катализаторы — это нанодисперсные частицы активного вещества, закрепленные па пористых носителях.

Супрамолекулярные структуры (от лат. *supra*— над, выше) — наноструктуры, получаемые в результате так называемого нековалентного синтеза полимеров с образованием слабых (ван-дер-ваальсовых, водородных и др.) связей между молекулами и их ансамблями. Чаще всего их модифицируют ионами металлов, придавая фотохимическую, электрохимическую активность и другие свойства.

Дендримеры (от греч. *dendr* — дерево) — высокомолекулярные структуры, состоящие из центральной молекулы, от которой растут и разветвляются макромолекулярные ветви. Дендримеры имеют нанометровые размеры, в их структуре имеются полости («молекулярные контейнеры»), в которые можно помещать наночастицы, например, лекарственных веществ. Таким образом, удается адресно доставлять лекарства к пораженным органам человека.

Свойства наноматериалов в большой мере определяются *размерными эффектами* – явлениями, которые имеют место, когда размеры наночастицы соизмеримы с одной из характерных длин — длиной свободного пробега носителей заряда, длиной волны де Бройля, диффузионной длиной ит. п. Именно размерные эффекты обусловливают немонотонность зависимостей свойство-размер наночастицы. Существенное влияние на эти зависимости оказывает распределение в наночастице дефектов, примесей, нанопор и механических напряжений. Механизмы проявления размерных эффектов внутри наночастицы и на поверхностях раздела наноматериала, состоящего из этих частиц, различны.

Электрические свойства наноматериалов зависят от соотношения размера областей локализации свободных носителей заряда (т. е. размера нанозерен) и длины волны де Бройля. Размерные эффекты влияют на оптические и магнитные свойства наноматериалов, когда размер нанозерен соизмерим с радиусом экситонов, магнонов, поляронов. Переход от крупнокристаллических к наноструктурным полупроводникам сопровождается увеличением ширины запрещенной зоны: нижний разрешенный уровень энергии в зоне проводимости повышается, а верхний энергетический уровень в валентной зоне понижается. С уменьшением размера частицы увеличивается доля составляющих ее атомов, которые расположены в ее поверхностном слое. Это также обусловливает изменение электрических свойств наноматериалов. Наличие большого количества атомов на поверхности раздела оказывает заметное влияние на температурные характеристики наноматериалов. Экспериментально за-

Витебский государственный технологический университет

регистрированы повышение теплоемкости, понижение температуры плавления наноматериалов на основе металлов и керамики, а также температуры стеклования полимерных наноматериалов по сравнению с аналогичными крупнокристаллическими материалами. Таким образом, переход к наноструктурам значительно расширяет возможности регулирования физических свойств материалов.

Одной из «старейших» областей применения наноматериалов является гетерогенный катализ. Длительное сотрудничество специалистов материаловедения и химического синтеза позволило повысить достоверность аттестации катализаторов с помощью электронной и атомно-силовой микроскопии, установить закономерности образования активных состояний на поверхности наночастиц, обогатили номенклатуру катализаторов.

Наноматериалы, занемногим исключением (супрамолекулярные структуры), термодинамически неравновесны из-за обилия поверхностей раздела, наличия нестабильных фаз, микропор и механических напряжений. Это обусловливает возникновение в наноматериалах избытка поверхностной энергии. При нагревании, воздействии силовых и радиационных полей наноматериалы склонны к фазовым превращениям, гомогенизации, ликвидации нанопор и др. Эволюция наноструктуры приводит к изменению свойств наноматериалов и обусловливает эволюцию их диаграмм состояния. *Диаграмма состояния*— графическое изображение соотношения между параметрами состояния (температура, давление, состав) термодинамически равновесной системы. Расчетная оценка эволюции диаграмм состояния наноматериалов под влиянием различных эффектов возможна лишь в простейших идеализированных случаях. Стабилизация наноструктур является актуальной проблемой наноматериаловедения.

Методы нанотехнологии в классическом варианте предполагают «конструирование» материала с заданными свойствами путем манипуляций с отдельными атомами или молекулами. Схема такого процесса показана на рисунке 1.7. С помощью зонда удаляют из исходного ансамбля частиц атом примеси и «вставляют» в вакантные места кристаллической решетки атомы нужного вещества. Чаще всего такие манипуляции производят для демонстрации возможностей нанотехнологии. В промышленности используют другие методы, которые можно объединить в группы технологий консолидированных материалов, полупроводников, полимерных, пористых, трубчатых и биологических наноматериалов.

Витебский государственный технологический университет

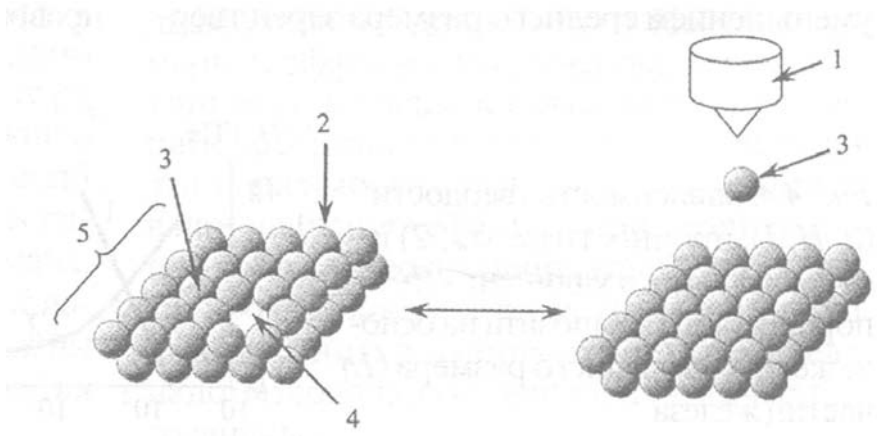


Рисунок 1.7 – Схема «конструирования» структуры материала методом нанотехнологии: 1 – зонд; 2 – атом исходного вещества; 3 – атом примеси; 4– дефект решетки; 5 – исходное вещество

Технология консолидированных материалов включает порошковую технологию, а также технологии интенсивной пластической деформации, контролируемой кристаллизации из аморфного состояния и технологии пленок и покрытий.

Интенсивная пластическая деформация – название методов, позволяющих формировать наноструктуру в массивных металлических заготовках путем кручения при квазигидростатическом высоком давлении или методом прессования, получившим название равноканального углового.

В первом случае дискообразную заготовку помещают в матрицу и сжимают вращающимся пуансоном. Эта схема развивает идею наковален Бриджмена, применяемых в технике высоких давлений (П.У. Бриджмен, английский физик, основатель физики высоких давлений). Метод равноканального углового прессования разработал В.М. Сегал (г. Минск). Заготовку деформируют по схеме простого сдвига в изогнутом канале постоянного поперечного сечения. Оси входной и выходной частей канала образуют угол $45° < \lambda < 90°$.

В процессе интенсивной пластической деформации в заготовках формируются неравновесные беспористые наноструктуры.

Контролируемая кристаллизация из аморфного состояния – операция регулируемой термообработки заготовок из кристаллизующихся материалов, находящихся в аморфном состоянии. Она обусловливает зарождение в заготовке кристаллитов и их рост до среднего размера 10–20 нм.

Технология полупроводников направлена на получение наночастиц высокой чистоты с узким распределением по размерам. Она включает методы коллоидной химии и газофазные, в том числе лазерное испарение. Специфика полупроводниковых изделий обусловливает ориентированную кристаллизацию активного слоя, т. е. кристаллическая ре-

Витебский государственный технологический университет

шетка полупроводниковой нанопленки должна быть определенным образом ориентирована относительно поверхности подложки. Такие пленки называют *эпитаксиальными.* Рост пленок включает элементарные процессы адсорбции атомов или молекул полупроводникового вещества на подложке, поверхностной диффузии адсорбированных частиц, флуктуационное образование и рост зародышей кристаллизации. В зависимости от требований к полупроводниковому элементу регулируют кинетику этих процессов.

Технология полимерных, пористых, трубчатых и биологических наноматериалов включает множество методов. Ограничимся их краткой характеристикой.

Слоистые полимер-неорганические нанокомпозиты получают *методом Ленгмюра-Блоджет,* перенося нанослой вещества с поверхности технологической жидкости на твердую подложку при перемещении последней через границу жидкость — газ (обычно — воздух). Супрамолекулярный синтез предполагает «самосборку» нескольких молекулярных компонентов, направляемую межмолекулярными силами. Самосборку можно рассматривать как прототип бионаправленного синтеза. Процесс самосборки удается регулировать с помощью термодинамических факторов и кинетических режимов синтеза. Однако многообразие явлений, сопровождающих самосборку, не позволяет в настоящее время предсказать надежность и стабильность ее результата.

Методы получения нанопористых материалов (молекулярных сит) разнообразны. *Гидротермальный синтез* — выращивание нанокристаллов неорганических веществ в условиях, моделирующих процессы образования минералов в недрах Земли, когда вода способна растворять (T~500 °C, p= 10–80 МПа) оксиды, силикаты, сульфиды и др., с последующим выделением кристаллической фазы из пересыщенного раствора. *Золь-гель процесс*— технология получения нанопористых материалов путем получения золя (коллоидной системы с жидкой дисперсной средой) и последующего перевода его в гель (структурированную коллоидную систему). *Обработка высокоэнергетическими ионами* диэлектрических пленок обусловливает образование в них каналов нанометрового размера. В цеолитах (алюмосиликатах со строго регулярной структурой пор) создают вторичную нанопористую структуру, синтезируя наночастицы *insitu* из заполняющих поры *прекурсоров* — исходных веществ, при смешении которых происходит реакция с образованием наноструктур.

Углеродные нанотрубки получают распылением графитового электрода лазером или в гелиевой плазме дугового разряда. Важными операциями этой технологии являются классификация образующихся частиц и отделение нанотрубок, а также раскрытие их полостей, закрытых после синтеза своеобразными «шапочками» (обработка кислотами, ультразвуком и т. п.).

Витебский государственный технологический университет

Полимерные шаблоны (*темплаты*) с отверстиями диаметром 10 им и глубиной 60 нм изготавливают методом *нанопечатной литографии* (литография — способ плоской печати, при котором печатной формой служит поверхность камня). В отверстия темплат обычно помещают нанотрубки или катализаторы.

Технология наноматериалов интенсивно развивается, многие методы составляют секреты фирм-производителей наноматериалов, поэтому этот обзор ограничен нанотехиологиями первого поколения, надежно зарекомендовавшими себя в промышленности и дающими представления о специфике этой нетрадиционной области создания материалов.

Стратегия развития наноматериалов в настоящее время является частью государственной политики во многих странах. Это вызвано тем, что, по прогнозам, через 10–20 лет нанотехнологии станут основой промышленности и кардинально изменят экономику и социальную жизнь страны. Япония первая опубликовала свою систему приоритетов в этой области, согласно которой исследования подразделены на три категории. Эта система в основном совпадает со стратегией других стран, развивающих нанотехнологию.

Категория 1 (флагманские разработки) включает работы, которые могут быть завершены за 10–15 лет и касаются прежде всего информационных технологий.

Полупроводниковые технологии XXI в. направлены на повышение скорости работы и снижение энергопотребления ЭВМ. Это требует повышения точности изготовления полупроводниковых устройств, которая уже достигла 100÷70 нм. Ее увеличение до значений <70 нм пр иведет к созданию нового поколения полупроводниковых наноматериалов.

Технологии изготовления запоминающих устройств направлены на повышение плотности записи информации по сравнению с современным уровнем 20 гигабит/кв. дюйм до 0,4÷1,0 терабит/кв. дюйм (бит – двоичная единица измерения количества информации, гига - 10^9, тера- 10^{12} исходных единиц). Это требует разработки новых физических сред для записи, новых типов считывающих головок и прецизионных (высокоточных) приводов.

Для информационных сетей, передающих огромные объемы информации, необходимы дешевые оптические высокоскоростные устройства, например волноводы из органических наноматериалов.

Категория 2 (перспективные проекты) объединяет нанотехнологические разработки со сроком реализации 10–20 лет, финансирование которых связано с определенным риском.

Наноматериалы для массового производства: экологически чистые источники энергии (солнечные батареи, топливные элементы); конструкционные материалы с повышенной удельной прочностью; износо-

Витебский государственный технологический университет

стойкие материалы; биосовместимые материалы для медицины, не вызывающие реакций отторжения у живых тканей.

Биологические наносистемы, т. е. материалы и устройства на основе модифицированных биологических молекул, предназначенные для производства биодатчиков, с помощью которых осуществляют мониторинг здоровья человека.

Наноустройства, которые составят основу следующего поколения электроники: переключатели электрических цепей движением отдельных электронов, транзисторы с углеродными нанотрубками, квантовые запоминающие устройства и т. д.

Измерительная техника для осуществления нанотехнологических производственных процессов.

Нанообработка материалов предполагает переход от устройств типа сканирующих зондовых микроскопов, малопригодных для массового производства, к технологиям спонтанного образования наноструктур – самосборке. Сегодня особенно актуальны процессы самосборки с участием углеродных нанотрубок, электропроводных полимеров, биологических клеток и белковых структур.

Моделирование наносистем – задача, возникшая вследствие того, что эксперименты в нанометровом диапазоне очень сложны. Степень риска можно снизить, имея надежные методы, позволяющие моделировать «поведение» наносистем и нанообъектов.

Категория 3 (фундаментальные исследования) имеет целью получение новых знаний о наноструктурах — нанокристаллах, белках, молекулах, атомах. Актуальны фундаментальные исследования новых типов вычислительных систем, ресурсосберегающих технологий, процессов самосборки, оригинальных методик измерения наноструктур с высокой точностью. Следует ожидать, что они приведут к рождению новых направлений наноматериаловедения.

Витебский государственный технологический университет

2 МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

Лекция 2.1 Чугуны

Чугунами называют сплавы железа с углеродом, в которых содержание углерода превышает 2,14 %. В их состав, кроме углерода, обычно входят примеси кремния, марганца, фосфора, серы. Свойства чугуна в значительной степени определяются содержанием этих примесей. Большую часть выплавленного чугуна используют для переработки (передела) в сталь – передельный чугун. Для изготовления фасонного литья применяют литейный чугун, доля которого в общем объеме выпуска чугунов составляет до 15 %.

Механические свойства и области применения чугуна определяются его структурой. В зависимости от структуры углеродной составляющей сплава различают белые, серые, высокопрочные и ковкие чугуны. Для обеспечения заданных механических и технологических характеристик чугун легируют металлическими и неметаллическими элементами. В последнее время разработано большое количество марок легированных чугунов с повышенными износостойкостью, жаростойкостью, коррозионной стойкостью, низким коэффициентом трения.

С целью управления механическими характеристиками чугунов применяют различные виды термической обработки, в ходе которой происходит изменение формы входящих в структуру чугуна включений графита.

Углерод в составе чугуна содержится в виде компонентов твердого раствора на основе железа. Такими компонентами могут быть карбид железа Fe_3C, графит или их смеси.

В зависимости от состояния углеродных включений различают следующие виды чугунов: *белый чугун,* в котором углерод находится в связанном состоянии в виде цементита Fe_3C. Образец белого чугуна имеет на изломе характерный белый цвет; *половинчатый чугун,* в котором более 0,8 % углерода находится в виде цементита. Структурные составляющие такого чугуна – перлит, ледебурит и пластинчатый графит; *серый чугун,* в котором практически весь углерод или его большая часть находится в виде пластинчатого графита. Содержание цементита в таком чугуне не превышает 0,8 %; *высокопрочный чугун* с шаровидной формой графита; *ковкий чугун,* который получают путем отжига белого чугуна. Он содержит фазовые включения графита в хлопьевидной форме.

Структура чугуна образована металлической основой, содержащей графитные микровключения.

Металлическую основу чугунов называют перлитной, если 0,8 % С находится в виде цементита, а остальной углерод – в виде графита;

Витебский государственный технологический университет

ферритно-перлитной, если количество углерода в виде цементита не превышает 0,8 %; ферритной, когда весь углерод находится в свободном состоянии в виде графита. Структура металлической основы определяет твердость чугуна.

Структурные образования графита в чугунах имеют различную форму: пластинчатую – в сером чугуне, хлопьевидную – в ковком чугуне и шаровидную – в высокопрочном. На рисунке 2.1 приведена классификация чугунов по строению металлической основы и форме включений графита.

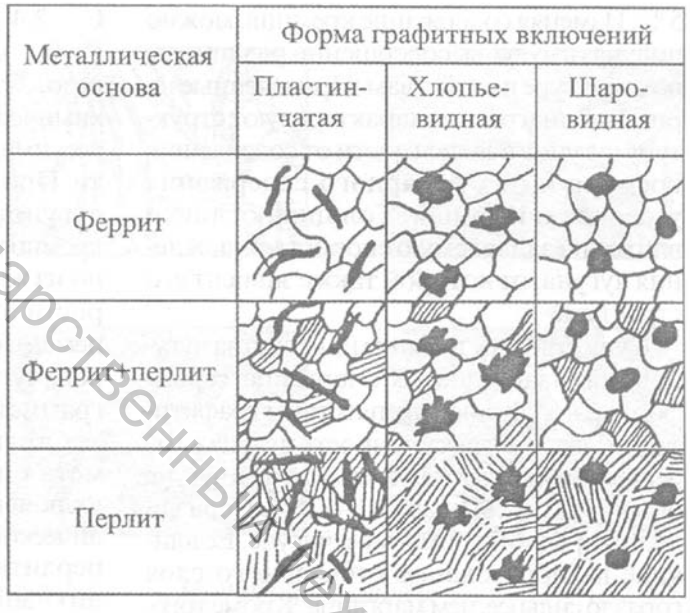


Рисунок 2.1 – Схемы структур и классификация чугунов по строению металлической основы и форме графитных включений

Серый чугун – это сплав Fe-C-Si, содержащий в качестве примесей марганец, фосфор и серу. Углерод в серых чугунах преимущественно находится в виде микровключений графита пластинчатой формы. Химический состав серых чугунов:

C – 2,4–3,8 %; Si – 1–5 %; Mn – 0,5–0,8; P – 0,2–0,4; S – до 0,12 %, остальное – железо. Структура отливок определяется химическим составом чугуна и технологическими особенностями его термообработки. При медленном охлаждении расплава чугунов с повышенным содержанием кремния графит образуется непосредственно из жидкой фазы, при увеличении скорости охлаждения – вследствие распада цементита. Вторичная кристаллизация серого чугуна протекает в соответствии с диаграммой состояния системы $Fe\text{-}Fe_3C$.

Структура серого чугуна состоит из металлической основы и графитовых включений (рисунок 2.2). По составу металлической основы различают чугуны: серый перлитный (П+Г); серый ферритно-перлитный (Ф+П+Г); серый ферритный (Ф+Г). Механические свойства серого чугуна зависят от свойств металлической матрицы, формы и

Витебский государственный технологический университет

размеров графитовых включений. Свойства металлической матрицы чугунов близки к свойствам сталей.

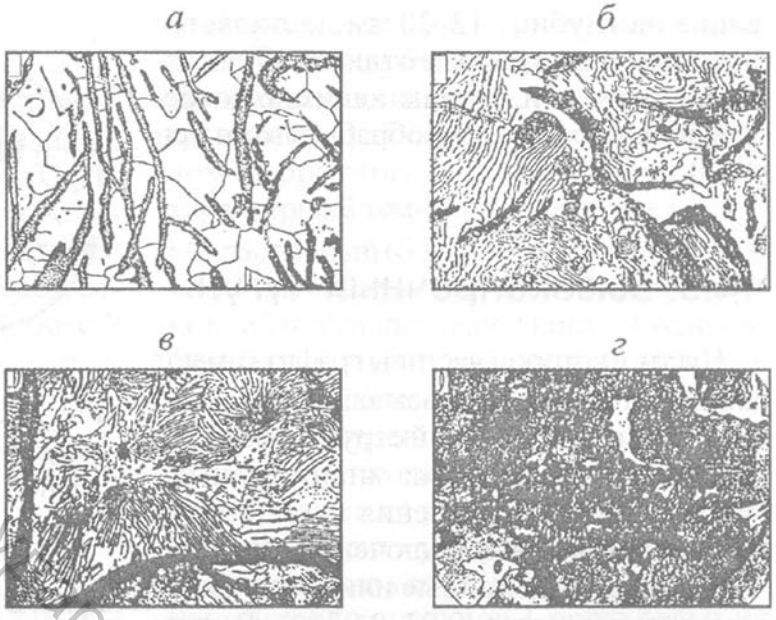


Рисунок 2.2 – Микроструктура серых чугунов (увеличение х 500): а – серый ферритный; б – серый феррито-перлитный; в – серый перлитный; г – половинчатый со структурой перлит + цементит (вторичный) + графит

Серый чугун маркируют буквами С (серый), Ч (чугун) и цифрами. Первая группа цифр показывает среднее значение предела прочности чугуна при растяжении, вторая – среднее значение предела прочности при изгибе.

По структуре серые чугуны подразделяют на следующие группы.

Ферритные и ферритно-перлитные чугуны (СЧ 00, СЧ 12–28, СЧ 15–32, СЧ 18– 36, структура – перлит, феррит и графит) применяют для изготовления малоответственных слабонагруженных деталей машин и строительных конструкций.

Перлитные чугуны (СЧ 21–40, СЧ 24–44, СЧ 32–52) используют для изготовления износостойких деталей, эксплуатируемых при больших нагрузках (поршней, цилиндров, блоков двигателей и т. п.). К перлитным чугунам относят сталистые (СЧ 24–44, СЧ 28–48), которые получают добавлением в шихту металлического лома (20–30 %). Такие чугуны имеют пониженное содержание углерода.

Модифицированные чугуны (СЧ 32–52, СЧ 36–56, СЧ 40–60, СЧ 44–64) получают добавлением перед разливкой в жидкий чугун ферросицилия – сплава железа и кремния (0,3–0,8 %). Модифицирование обеспечивает формирование перлитной металлической основы чугунных отливок с небольшим количеством изолированных пластинок графита.

Белый чугун имеет специфическую структуру (рис. 2.3) и благо-

Витебский государственный технологический университет

даря наличию цементита тверд, хрупок, плохо обрабатывается резанием. Высокая твердость белого чугуна обусловливает его высокую износостойкость, в том числе при воздействии абразивных сред. В связи с этим отливки серого чугуна некоторых марок подвергают отбеливанию. Отбеливание на глубину 12–30 мм достигается быстрым охлаждением отливки. Для снятия напряжений, возникающих при отбеливании, отливки термообрабатывают при +500...+550 °С.

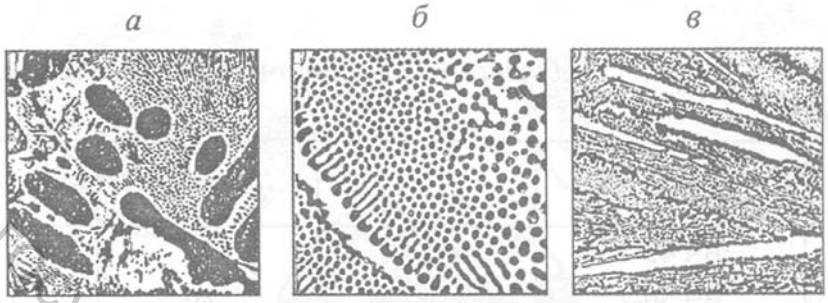


Рисунок 2.3 – Микроструктура белого чугуна (увеличение х 500): а–доэвтектический чугун – перлит (темные участки) и ледебурит (цементит вторичный в структуре не виден); б– эвтектический чугун – ледебурит (темные участки – перлит, светлые – цементит); в– заэвтектический чугун – цементит (светлые пластины) и ледебурит

Чугун, в котором частицы графита имеют шаровидную форму, называют *высокопрочным*. При такой структуре металлическая матрица чугуна минимально ослаблена. Для обеспечения шаровидной формы графитовых включений в жидкий чугун вводят щелочные или щелочноземельные металлы (0,03–0,07 %). В присутствии магния графит приобретает шаровидную форму.

Структура металлической основы высокопрочного чугуна такая же, как и серых чугунов. Путем регулирования химического состава и скорости охлаждения получают следующие структуры высокопрочных чугунов: феррит + шаровидный графит, феррит + перлит + шаровидный графит, перлит + шаровидный графит.

Чугуны с шаровидным графитом по механическим свойствам не уступают литой углеродистой стали, однако превосходят ее по литейным свойствам, износостойкости, обрабатываемости резанием. Типичный состав высокопрочного чугуна, %: 2,7– 3,6 % – С; 1,6–2,7 % –Si; 0,5–0,6 % – Mn; S– не более 0,1 %; P– не более 0,10 %; остальное – железо.

Высокопрочные чугуны маркируют буквами ВЧ и цифрами. Первая группа цифр показывает среднее значение предела прочности чугуна при растяжении, вторая - относительное удлинение образцов при разрыве. Широкое применение в машиностроении получили высокопрочные чугуны марок ВЧ 38–17; ВЧ 42–12; ВЧ 45–5; ВЧ 60–2; ВЧ 80–3; ВЧ 120–4.

Витебский государственный технологический университет

Высокопрочные чугуны используют для изготовления ответственных деталей в автомобиле- и моторостроении, тяжелом машиностроении (валы прокатных станов, траверсы прессов, коленчатые валы, корпуса насосов и т. п.).

Чугуны, в которых графитовая составляющая имеет форму хлопьев, называют *ковкими*. Ковкий чугун обладает большей пластичностью по сравнению с серым. Включения графита хлопьевидной формы называют углеродом отжига, так как они образуются в процессе распада цементита при отжиге. По структуре металлической основы ковкий чугун бывает ферритным и перлитным.

Ферритные ковкие чугуны получают двойной плавкой (дуплекс-процесс) из белых чугунов, имеющих следующий химический состав: C – 2,4 – 2,8 %; Si– 0,8–1,4 %; Mn– 0,3–0,4 %; Si– 0,08–0,1 %; P– до 0,2 %. Отливки из белого чугуна отжигают, защищая их от окисления песком, шамотом или металлическими стружками.

Отжиг белого чугуна для получения ферритового ковкого чугуна называют полным графитизирующим отжигом. Излом ферритного ковкого чугуна имеет характерный темный матовый цвет. Высокопластичный ($\delta < 12$ %)и имеющий удовлетворительную прочность ферритный ковкий чугун называют ковким условно. Детали из него получают не ковкой, а литьем с последующим отжигом.

Перлитные ковкие чугуны также получают из белых чугунов. Состав белых чугунов, предназначенных для отжига: C – 2,8–3,4 %; Si– 0,5–0,8 %; Mп – 0,4–0,5 %; P– 0,2 %; S– 0,12 %. Для получения перлитных ковких чугунов отжиг белого чугуна производят в окислительной среде, засыпая отливки окалиной или измельченной рудой. Излом чугуна имеет светлый цвет. Во время отжига полностью снимаются литейные напряжения в объеме отливок. Благодаря этому, а также наличию микровключений графита хлопьевидной формы перлитные ковкие чугуны имеют высокие механические свойства.

Для ускорения отжига чугун легируют алюминием или висмутом, повышают температуру расплава перед разливкой, процессы термообработки проводят в защитной среде.

Ковкие чугуны маркируют буквами КЧ и цифрами. Первая группа цифр показывает предел прочности чугуна при растяжении, вторая – относительное удлинение при разрыве.

Ковкий чугун широко используют в автомобильном, сельскохозяйственном, текстильном машиностроении для изготовления деталей, эксплуатируемых в условиях трения, воздействия ударных и циклических нагрузок (тормозных колодок, шестерен, ступиц, муфт и т. п.). Ковкий чугун достаточно стоек к воздействию влажного воздуха, топочных газов и воды. Наиболее часто для изготовления деталей машин применяют ковкие чугуны марок КЧ 30–6, КЧ 35–10, КЧ 45–6, КЧ 56–4, КЧ 60–3 и др.

Витебский государственный технологический университет

Легирующие элементы влияют на свойства металлической основы, размеры и структуру графитовых включений в чугунах. В зависимости от назначения различают износостойкие, антифрикционные, жаростойкие и коррозионно-стойкие *легированные чугуны*. В обозначениях марок легированных чугунов используют буквы и цифры, соответствующие содержанию легирующих элементов, аналогично тому, как это делается при обозначении марок стали.

Износостойкие чугуны, легированные никелем (3,5–5 %) и хромом (0,8 %), применяют для изготовления деталей, работающих в абразивных средах. Чугуны, содержащие до 0,6 % Cr и 2,5 % Ni с добавлением титана, меди, ванадия и молибдена, обладают повышенной износостойкостью в условиях трения без смазки. Их используют для изготовления тормозных барабанов автомобилей, дисков сцепления, гильз цилиндров и др. Для деталей дробильно-размольного оборудования используют высокохромистые чугуны, например, марок ЧХ9Н5, ЧХ16М2,4Х22, ЧХ28Д2. Износостойкие детали мельниц и пылепроводов, перекачивающих абразивные смеси, изготавливают из чугуна марки ЧН4Х2.

Жаростойкие легированные чугуны ЧХ2, ЧХ3 применяют для изготовления колосников агломерационных машин, деталей химического оборудования, турбокомпрессоров, эксплуатируемых при температурах +600 °С (ЧХ2) и +700 °С (ЧХ3). Жаростойкий чугун ЧХ16 выдерживает температуру до +900 °С, чугуны ЧЮХШ и ЧЮ7Х2 - до +650 и +750 °С соответственно. Из них изготавливают детали печной арматуры, ролики листопрокатных станов, пресс-формы для стекольного производства. Изделия из чугуна ЧЮЗО можно эксплуатировать в воздушной среде при температуре до +1100 °С (детали обжиговых колчеданных печей и др.).

Жаропрочные легированные чугуны марок ЧНМШ, ЧН11Г7Х2Ш, ЧН19Х3Ш, ЧН11Г7Ш имеют структуру с шаровидным графитом. Они работоспособны при температурах +500...+600 °С и применяются для изготовления, например, компрессоров и др.

Коррозионно-стойкие легированные чугуны марок ЧХ1, ЧНХТ, 4НХМД, 4Н2Х (низколегированные) обладают повышенной коррозионной стойкостью в газовой, воздушной и щелочной средах. Их применяют для изготовления деталей трения, работающих при повышенных температурах (поршневых колец, блоков и головок цилиндров двигателей внутреннего сгорания, компрессоров и т. д.).

Антифрикционные чугуны используют в качестве подшипниковых материалов (серые, высокопрочные и ковкие чугуны). Антифрикционные чугуны легируют хромом, медью, никелем, титаном. Различают перлитные и перлитно-ферритные антифрикционные чугуны. Антифрикционные перлитные чугуны АЧС-1, АЧС-2 и перлитно-ферритный АСЧ-3 применяют при давлениях в паре трения до 50 МПа. Чугуны с

Витебский государственный технологический университет

шаровидным графитом АЧВ-1 (перлитный) и АЧВ-2 (перлитно-ферритный) применяют при повышенных нагрузках (до 120 МПа). Марки ковких антифрикционных чугунов – АЧК-1, АЧК-2.

Лекция 2.2 Стали и сплавы

Сталь – самый распространенный технический материал, широкое применение которого в машиностроении обусловлено сочетанием ценного комплекса механических, физических и химических свойств. Номенклатура сталей, используемых в машиностроении, чрезвычайно велика. Разработана стандартная система маркировки, отражающая состав, технологию получения и переработки, а также структуру сталей различных марок. Марочный состав сталей непрерывно совершенствуется и включает углеродистые конструкционные, строительные, цементуемые, пружинные, износостойкие и коррозионно-стойкие стали. Расширение диапазона рабочих температур в современной технике обусловливает необходимость разработки новых жаропрочных сталей и сплавов.

Эксплуатационные характеристики стальных изделий зависят не только от химического состава и фазового соотношения компонентов сталей, но в не меньшей мере – от качества термической обработки. Для проведения термической обработки сталей наряду с традиционными технологическими средами (вода, масло) все чаще используют растворы полимеров, сжиженные газы, растворы и расплавы солей. Комплекс эксплуатационных характеристик стальных изделий определяется оптимальным (по критериям работоспособности в составе машин) сочетанием состава и достигнутой в процессе термической обработки структуры сталей.

Стали классифицируют главным образом по химическому составу и способу производства, отражая в классификации критерии качества стали как технического материала, а также по назначению, структуре и методам придания формы стальным изделиям.

По химическому составу классифицируют преимущественно конструкционные стали, которые подразделяются на углеродистые, хромистые, хромоникелевые, хромокремнистые и т. п.

По способу производства различают следующие виды сталей.

Стали обыкновенного качества выплавляют в конвертерах или мартеновских печах. Такие стали содержат до 0,6 % C, 0,06 % S и 0,07 % P. В зависимости от метода удаления газов из расплава, выход которых определяется типом применяемого раскислителя, способа производства их делят на спокойные (с), полуспокойные (пс) и кипящие (кп).

Стали качественные получают преимущественно в мартеновских печах с соблюдением повышенных требований к составу шихты, технологических режимов плавки и разливки. Содержание серы и фосфора в

Витебский государственный технологический университет

них не должно превышать 0,035 %. В стали одной марки допускается колебание содержания углерода в пределах не более 0,08 %.

Стали высококачественные изготавливают главным образом в электропечах или в так называемых кислых мартеновских печах. Содержание серы и фосфора не превышает 0,025 %. Колебание содержания углерода в стали одной марки – не более 0,07 %.

Стали особо высококачественные выплавляют главным образом в электропечах с электрошлаковым переплавом. Содержание серы – до 0,015 %. Для таких сталей характерны высокая ударная вязкость, стойкость к пониженным температурам, контактная выносливость.

По назначению стали классифицируют на строительные, конструкционные (машиностроительные), машиностроительные специального назначения, инструментальные, с особыми физическими свойствами, с особыми химическими свойствами.

По методу придания формы изделию различают литую, кованую и катаную стали. Первая имеет более низкие механические свойства по сравнению с кованой и катаной при одинаковом химическом составе. Деформированный металл, особенно катаный, характеризуется технологической анизотропией – различием свойств в направлении деформирования и перпендикулярном к нему.

В ряде стран разработаны оригинальные принципы маркировки сталей в соответствии с национальными стандартами. Ниже будет представлена маркировка распространенная в странах СНГ.

Первая цифра в марке соответствует содержанию углерода в сотых долях (для конструкционных сталей) и десятых долях процента (главным образом для инструментальных сталей). Например, сталь, содержащая 0,07–0,14% С, обозначается как Ст10, а содержащая 0,42–0,50 % С – как сталь 45. Затем в марке указывают буквы, обозначающие легирующие элементы: Б – ниобий, В – вольфрам, Г – марганец, Д – медь, К – кобальт, М – молибден, Н – никель, П– фосфор, Р – бор, Т – титан, С – кремний, Ф – ванадий, Х – хром, Ц – цирконий, Ю — алюминий. После буквы записывают цифру, указывающую содержание элемента, если оно превышает 1,5 % (в противном случае цифру не ставят). Например, сталь 15Х содержит 0,15 % С, 1,0–1,5 % Cr, сталь 35Г2 – 0,35 % С, 2 % Mn.

Марки высококачественных сталей включают литеру А (40ХНМ А), особо высококачественных — литеру Ш, используемых для литья – литеру Л.

Жесть – тонкую холоднокатаную отожженную листовую сталь – в зависимости от назначения, качества поверхности и свойств маркируют сочетанием ЧЖК, ЧЖР, ГЖГ, ЭЖК-Д, ЭЖР-Д. Буквы в марках указывают на назначение и особенности покрытия на жести: ЖК – жесть консервная, ЖР – жесть разного назначения, кроме тары для пищевых про-

Витебский государственный технологический университет

дуктов, Ч – черная, Г – горячего лужения, Э – электротехнического лужения, Д – жесть с дифференцированным покрытием.

Углеродистые стали относят к числу самых распространенных конструкционных материалов. Объем их производства достигает 80 % от общей выплавки стали. Достоинствами сталей этого класса являются удовлетворительные механические свойства в сочетании с технологичностью обработки и низкой стоимостью. Главные недостатки углеродистых сталей – высокая критическая скорость закалки, небольшая прокаливаемость (глубиной до 15 мм), значительное снижение в процессе отпуска твердости и прочности, достигнутых при закалке.

В странах СНГ выпускают углеродистые стали обыкновенного качества и качественные.

Углеродистые стали обыкновенного качества характеризуются значительным содержанием вредных примесей, неметаллических включений, газов. Стали обыкновенного качества выпускают преимущественно в виде проката (до 70 % от общего объема выпуска). Углеродистые стали обыкновенного качества применяют для изготовления металлоконструкций, слабонагруженных деталей машин и механизмов, крепежных деталей.

Углеродистые качественные стали имеют меньшее по сравнению со сталями обыкновенного качества содержание вредных примесей и неметаллических включений. Поставляют их в виде проката, поковок, полуфабрикатов с гарантированными механическими свойствами и химическим составом. Маркируют двухзначными цифрами: 05; 08; 10;... 85, характеризующими содержание углерода в сотых долях процента. Заготовки из стали этой группы изготавливают без термической обработки и термически обработанными. Их применяют для изготовления деталей кузовов автомобилей, корпусов и кожухов, сварных конструкций, резервуаров, емкостей, труб средней прочности (сталь 08сп, 10сп), малонагруженных зубчатых колес, кулачков, осей (стали 10, 20, 25). Термообработка (закалка, нормализация, улучшение) позволяет использовать углеродистые качественные стали для изготовления деталей, испытывающих циклические нагрузки (стали 40, 45, 55, 60). Стали с повышенным содержанием углерода и марганца (стали 65, 70, 75, 80, 60Г, 65Г, 70Г) применяют в качестве рессорно-пружинных.

Из низкоуглеродистых и низколегированных сталей с повышенным содержанием марганца (П- 0,4–0,7 % и Г2 - 1,2–1,6 %), кремния (0,6–1,2 %) методами горячей прокатки и термической обработки изготавливают детали сварных и клепаных конструкций.

Низколегированные стали после прокатки значительно превосходят по механическим свойствам углеродистые стали. Оптимальное сочетание механических свойств достигается при введении в железоуглеродистую основу нескольких легирующих элементов. Применение низколегированных сталей позволяет снизить на 15–30 % металлоемкость

Витебский государственный технологический университет

строительных конструкций, а при использовании термообработанного профильного и листового проката – почти на 50 %. Конструкции, эксплуатируемые при низких температурах, выполняют из сталей, легированных никелем.

Цементуемые легированные стали содержат 0,1–0,3 % углерода и 0,2–4,4 % легирующих элементов. После насыщения углеродом, закалки и низкого отпуска изделия из таких сталей имеют высокую поверхностную твердость (58–63 HRC) при вязкой центральной части.

Эксплуатационные свойства изделий из низко- и среднелегированных цементуемых сталей определяются сочетанием свойств поверхностного слоя и средней части изделия (сердцевины). Работоспособность деталей из цементуемых легированных сталей повышается при увеличении предела текучести и твердости их средней части. Степень упрочнения сердцевины деталей повышается с увеличением содержания углерода и легирующих элементов в стали.

Улучшаемые стали используют преимущественно после операции термической обработки, получившей название улучшения – закалки и высокого отпуска при температуре +500...+650 °С.

Улучшаемые легированные стали характеризуются содержанием углерода 0,3 – 0,5 % и легирующих элементов не более 5 %. Основная область применения – ответственные детали машин, эксплуатируемые при воздействии циклических или ударных нагрузок. По этой причине они должны иметь высокий предел текучести, низкую чувствительность к концентрации напряжений, достаточную вязкость, пластичность. Важными характеристиками таких сталей являются порог хладноломкости и предел выносливости. Механические свойства улучшаемых сталей существенно зависят от температуры отпуска.

Хромокремнемарганцевые стали марок 30ХГСА, 35ХГСА отличаются хорошим сочетанием механических и технологических свойств при низкой стоимости. Эти стали хорошо свариваются и штампуются, имеют сравнительно низкую прокаливаемость (25–40 мм) и поэтому широко применяются в автомобилестроении.

Высокопрочные стали имеют предел прочности в диапазоне1800–2000 МПа. К ним относятся среднеуглеродистые комплекснолегированные стали, подвергнутые низкому отпуску и термомеханической обработке.

Среднеуглеродистые стали, упрочняемые закалкой и низким отпуском (+180...+200 °С), имеют структуру отпущенного мартенсита. Прочность таких сталей определяется содержанием в них углерода и практически не зависит от содержания легирующих элементов, которые вводят для улучшения прокаливаемости стали, устойчивости ее после отпуска. Легирование никелем в сочетании с другими элементами снижает чувствительность деталей из этих сталей к надрезам. Такую сталь

Витебский государственный технологический университет

в низкоотпущенном состоянии используют для изготовления деталей силовых сварных конструкций и др.

Мартенситостареющие стали – безуглеродные (не более 0,03 % С) сплавы железа с никелем, легированные кобальтом, молибденом, титаном, алюминием, хромом и другими элементами. Наибольшее упрочнение стали при старении обеспечивают добавки Ti, Al, наименьшее – Mo и Cu.

Трип-стали – относительно новый класс высокопрочных сталей повышенной пластичности, которые в русскоязычной литературе называют ПНП-сталями. В результате сочетания закалки, наклепа и деформационного старения они приобретают уникальные механические свойства: высокую прочность в сочетании с хорошей пластичностью и трещиностойкостью.

Сложность технологического оборудования для осуществления пластического деформирования при низких температурах, анизотропия свойств деформированных сталей и плохая свариваемость ограничивают область применения трип-сталей. Из них изготавливают проволоку, тросы, высоконагруженные детали.

Стали, которые характеризуются высокими пределами упругости (текучести) и выносливости в сочетании с достаточной пластичностью и вязкостью, образуют группу *пружинных сталей*. Из них изготавливают упругие элементы общего назначения – пружины, рессоры, амортизаторы и т. п. Для обеспечения специфических эксплуатационных свойств в стали вводят не менее 0,5 % углерода, а изделия из них подвергают закалке и отпуску на троостит. Предел текучести углеродистых пружинных сталей после термообработки составляет не менее 800 МПа, легированных – 1 000 МПа. Упругие элементы простой формы изготавливают из термически обработанных сталей. Крупные пружины получают навивкой отожженных стальных прутков.

Одной из основных причин выхода из строя машин и механизмов является отказ узлов трения, поэтому повышение срока службы современных технических средств тесно связано с прогрессом в области триботехнического материаловедения.

Разработан ряд конструкционных сталей с высоким сопротивлением изнашиванию, в которые вводят легирующие добавки или применяют специальные методы их обработки в зависимости от условий эксплуатации.

Главным критерием выбора стали для подшипников качения, рабочие поверхности которых подвергаются многоцикловому контактному нагружению с проскальзыванием, является высокое сопротивление контактной усталости и истиранию. Эти требования удовлетворяются, если сталь имеет высокую твердость, однородную структуру, минимальное содержание неметаллических включений и металлургических дефектов.

Витебский государственный технологический университет

Типичным представителем *износостойкой стали* является шарикоподшипниковая сталь. По составу и структуре шарикоподшипниковые стали относят к классу инструментальных. Содержание углерода в них составляет около 1 %. Для увеличения прокаливаемости в состав стали вводят легирующие элементы. Марку шарикоподшипниковой стали выбирают в зависимости от размеров деталей.

Для изготовления деталей, эксплуатируемых в условиях трения скольжения, применяют графитизированную сталь. Ее получают из высокоуглеродистой стали (1,5–2 % С) с повышенным содержанием кремния, который способствует графитизации цементита. Графитизацию проводят путем нагревания литых или кованых. Из закаленной графитизированной стали (63 HRC) изготавливают волочильные матрицы и др.

В машинах, предназначенных для разработки грунтов, износостойкость деталей, которые истираются абразивными частицами, повышают с помощью покрытий из литьевых и наплавочных материалов. Как правило, они отличаются большим содержанием (до 4 %) карбидообразующих легирующих элементов. Компоненты структуры таких материалов – мартенсит, аустенит или их сочетания. Количественное соотношение аустенита и мартенсита регулируют путем добавления в сталь марганца и никеля. Типичными представителями таких упрочняющих сплавов являются У25Х38, У30Х23Р2С2Г, У30Х26Н4С4Г (цифры после буквы У показывают содержание углерода в десятых долях процента).

К категории коррозионно-стойких относят металлические материалы, устойчивые к длительному воздействию коррозионных сред.

Структура и свойства хромистых сталей зависят от содержания в них хрома и углерода. При контакте стальных изделий с окислительными средами хром переходит в пассивное состояние, образуя на поверхности изделий оксидные пленки или слои адсорбированного кислорода. Сталь с содержанием хрома 12–14 % приобретает устойчивость к коррозии на воздухе, в воде, пресной и морской, в ряде кислот, солей и щелочей. Хромистые стали со структурой твердого раствора углерода в хроме обладают высокой коррозионной стойкостью, которая снижается при образовании карбидов хрома и повышается после термической обработки, а также в результате уменьшения шероховатости поверхности изделий (шлифованием, полированием).

Хромоникелевые стали, легированные хромом и никелем (или марганцем), обладают более высокой устойчивостью к коррозии по сравнению с хромистыми.

Аустенитно-ферритные хромоникелевые стали характеризуются меньшим содержанием никеля, но обладают достаточно высокими механическими свойствами, стойки к коррозии, технологичны. Их недос-

Витебский государственный технологический университет

таток – нестабильность свойств при колебаниях химического состава в пределах одной и той же марки.

К *жаропрочным* относят стали, обеспечивающие работоспособность изделий при температурах свыше +500 °С в течение времени, определенного техническими требованиями на изделие. Для изготовления деталей печного оборудования применяют стали, выдерживающие температуру до 1100 °С.

Литейные стали – обширный класс сталей, отличающихся удовлетворительными литейными свойствами. Для них характерны повышенные жидкотекучесть, заполняемость формы, трещиноустойчивость (стойкость против образования «горячих» трещин), низкая склонность к образованию усадочных дефектов. Благодаря технологичности литейных сталей удается получать из них сложные фасонные, тонкостенные и бездефектные отливки.

При получении литейных сталей стремятся сохранить их способность к пластическому деформированию. Связано это с тем, что в процессе пластической деформации литых заготовок происходят существенные изменения первичной структуры материала отливок. Вследствие этого при литье заготовок особое внимание уделяют формированию первичной структуры стали. Основной задачей является обеспечение минимальной химической неоднородности сплава в процессе его кристаллизации.

Выделяют следующие три группы литейных сталей: нелегированные (углеродистые), легированные и высоколегированные.

Углеродистые литейные стали обозначают марками 15–55Л, где цифры соответствуют содержанию углерода в сотых долях процента, а буква Л указывает на принадлежность к литейным сталям. Углеродистые литейные стали применяют в нормализованном, отпущенном и улучшенном состояниях, а также после нормализации, закалки и высокого отпуска.

Легированные литейные стали маркируют аналогично деформируемым конструкционным сталям, за исключением того, что в конце марки ставят букву Л вместо А, Ш, В, Д.

Изделия из литейных сталей применяют после соответствующей термической обработки, обеспечивающей требуемые механические свойства. Учитывая особенности структуры литейных сталей, отливки при термообработке нагревают до более высоких температур, чем заготовки из деформируемых сталей. При изготовлении литых деталей, работающих в условиях ударного и циклического нагружения, рекомендуется перед окончательной термической обработкой (закалка и отпуск, нормализация и отпуск) проводить предварительную термообработку (нормализация или закалка).

Витебский государственный технологический университет

Лекция 2.3 Алюминий и сплавы на его основе

Алюминий (Al) – один из самых применяемых в машиностроении и электротехнике материалов. Его мировое ежегодное производство превышает 15 млн.т. Алюминий в виде соединений широко распространен в природе, занимает первое место среди металлов, 18,8 % от массы земной коры и третье среди всех химических элементов. Известно несколько сот минералов алюминия (алюмосиликаты, бокситы, алуниты и др.). Алюминий получают по энергоемкой технологии: электролизом глинозема Al_2O_3 в расплаве криолита Na_3AlFe_3 при 950 °С. Главными достоинствами алюминия являются высокие удельная прочность, электро- и теплопроводность и коррозионная стойкость. Для повышения физико-механических характеристик и обрабатываемости алюминий легируют. В качестве конструкционных материалов широко применяют сплавы на основе алюминия – дуралюмины, силумины, магналины и другие, получаемые методом литья, а также материалы, получаемые методами порошковой металлургии.

Сплавы на основе алюминия классифицируют по технологии изготовления, степени упрочнения после термической обработки и по эксплуатационным свойствам. Особый интерес представляют сплавы алюминия, получаемые методом порошковой металлургии. Они обладают высокими показателями прочности, коррозионной стойкости, жаропрочности. Спеченные материалы на основе алюминия применяют вместо более тяжелых металлических сплавов. Прочностные и технологические характеристики материалов на основе алюминия существенно изменяются в результате термической обработки.

Алюминий – серебристо-белый металл с гранецентрированной кубической кристаллической решеткой. Характерными его свойствами являются небольшая плотность (2700 кт/м^3), высокие электропроводность (3,4-10^7 См/м) и пластичность. Алюминий легко сваривается, хорошо обрабатывается давлением, но плохо – резанием и характеризуется большой литьевой усадкой. На воздухе алюминий окисляется с образованием плотной пленки оксида AlO_3, обеспечивающей его высокую коррозионную стойкость. Механические свойства алюминия сравнительно невысоки и зависят от чистоты материала.

В зависимости от содержания постоянных примесей различают алюминий особой чистоты А 999 (0,001 % примесей), высокой чистоты А 995, А 99, А 97, А 95 (0,00–0,5 % примесей) и технической чистоты А 85, А 8, А 7, А 5, А 0 (0,15–1,0 % примесей). Примеси оказывают существенное влияние на электрические и технологические свойства алюминия, его коррозионную стойкость. Железо и кремний являются главными примесями алюминия. Железо обусловливает снижение электропроводности и пластичности и некоторое увеличение прочности алюминия.

Витебский государственный технологический университет

Кремний, а также медь, магний, цинк, марганец, никель, хром – основные добавки, упрочняющие алюминий.

Вследствие невысокой прочности алюминий обычно применяют для изготовления ненагруженных деталей и элементов конструкций, главными эксплуатационными качествами которых являются теплопроводность, коррозионная стойкость, небольшая масса. Технический алюминий АД и АД1 выпускают в виде полуфабрикатов: листов, прутков, профилей. Алюминий высокой чистоты применяют для изготовления фольги, токопроводящих и кабельных изделий. Для получения алюминия особо высокой чистоты используют метод зонной плавки, основанный на различной растворимости примесей в твердой и жидкой фазах. Метод зонной плавки состоит в создании и перемещении узкой расплавленной зоны вдоль стержня из рафинируемого металла. Этим методом получают алюминий с содержанием примесей 0,0001 %.

Для легирования алюминия применяют медь, магний, кремний, марганец, цинк, в меньшей мере – литий, никель, титан, бериллий, олово.

Сплавы на основе алюминия классифицируют по технологии изготовления, по степени упрочнения после термической обработки и эксплуатационным свойствам (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Классификация алюминиевых сплавов

Технология получения и обработки	Основные характеристики группы сплавов
Деформируемые	Коррозионно-стойкие, повышенной прочности
	Пластичные при комнатной температуре
	Среднепрочные
	Высокопрочные
	Малой прочности, высокомодульные
	Ковочные, пластичные при повышенной температуре
	Жаропрочные
Спеченные	Жаропрочные
	Высокомодульные с пониженной плотностью
	Сплавы с низким коэффициентом линейного расширения
	Высокопрочные
Литейные	Герметичные
	Высокопрочные и жаропрочные
	Коррозионно-стойкие
Композиционные	Армированные борным волокном (Б.В.)
	Армированные стальной проволокой

В странах СНГ применяют буквенно-цифровую маркировку алюминиевых сплавов. С помощью маркировки обозначают вид технологической обработки полуфабрикатов и изделий, от которой зависят механические, химические и другие свойства сплавов.

Витебский государственный технологический университет

Группу деформируемых сплавов образуют сплавы на основе алюминия, перерабатываемые в изделия методами деформирования. Различают деформируемые сплавы, упрочняемые и не упрочняемые термической обработкой.

В группе *деформируемых сплавов*, упрочняемых термической обработкой различают сплавы нормальной прочности, высокопрочные, жаропрочные и сплавы для ковки и штамповки.

Типичным представителем сплавов нормальной прочности являются дуралюмины, которые маркируют буквами Д и В. Марганец повышает коррозионную стойкость, температуру рекристаллизации и улучшает механические свойства дуралюминов.

К высокопрочным сплавам алюминия относят сплавы В95, В96, В96Ц на основе системы Al-Cu-Mg-Cu. В качестве легирующих добавок используют марганец и хром, которые увеличивают коррозионную стойкость и эффект старения сплава.

Для изделий, эксплуатируемых при температурах до 300°С, используют жаропрочные сплавы АК-4, АК-4-1. Они имеют сложный химический состав, легированы железом, никелем, медью и другими элементами. Жаропрочность сплавам придает легирование медью, марганцем, титаном, замедляющими диффузионные процессы. Из жаропрочных сплавов изготавливают поршни, головки цилиндров, лопатки компрессоров и другие изделия, которые подвергают закалке и искусственному старению.

Сплавы для ковки и штамповки обладают высокой пластичностью, удовлетворительно перерабатываются литьем, при «горячем» деформировании в них не образуются трещины. Типичными представителями таких материалов являются сплавы марок АК6, АК8 и сплавы Al-Cu-C с добавками кремния.

Не упрочняются термической обработкой деформируемые сплавы Al-Mn, A1-Mg. Они отличаются высокой пластичностью, коррозионной стойкостью, хорошо свариваются. Сплавы этой группы используют в отожженном, нагартованном и полунагартованном виде (нагартовка - повышение твердости и прочности металлического материала в результате «холодной» обработки давлением). Типичные представители неупрочняемых деформируемых сплавов – АМц, АМг2, АМг5.

Для изготовления деталей методом литья применяют алюминиевые сплавы A1-Cu, A1-Si, A1-Mg. С целью улучшения механических свойств их легируют титаном, цирконием, бором, ванадием. Главными достоинствами литейных сплавов являются жидкотекучесть – способность расплавленного металла заполнять литейную форму, небольшая усадка, хорошие механические свойства.

Литейные сплавы подвергают следующим видам термической обработки: искусственное старение при +175 °С в течение 5–20 ч (режим термообработки –T_1) – для повышения прочности и улучшения обра-

Витебский государственный технологический университет

ботки резанием; отжиг при +300 °С в течение 5–10 ч с охлаждением на воздухе (T_2) – для снятия литейных и остаточных напряжений и повышения пластичности; закалка (+510...+545 °С) и естественное или искусственное (+150...+200 °С) старение, полное (3–5 ч) или кратковременное (2–3 ч) (T_3, T_4, T_5, T_6) -для повышения прочности; закалка и стабилизирующий отпуск при +230...+250 °С в течение 3–10 ч (T_7) – для стабилизации структуры и объема; закалка и смягчающий отпуск при +240...+260 °С в течение 3–5 ч (T_8) – для повышения пластичности и стабильности размеров.

Лучшими литейными свойствами в этой группе материалов обладают сплавы алюминия с кремнием – силумины. Силумины хорошо обрабатываются резанием, свариваются. Их используют для отливки деталей ответственного назначения: корпусов компрессоров, блоков, поршней цилиндров и др.

Сплавы алюминия с магнием (магналины) имеют недостаточно высокие литейные свойства. По этой причине отливки из таких сплавов часто характеризуются пористостью и повышенной проницаемостью для жидких и газовых сред. Достоинствами магналинов являются высокая коррозионная стойкость, прочность, обрабатываемость резанием. Сплавы легируют бериллием для уменьшения окисляемости расплава. Их механические свойства улучшают легированием титаном и цирконием. Для повышения механических свойств изделия из магналинов закаливают с +530 °С, охлаждая в масле. Марки магналинов – АЛ 8, АЛ 27, АЛ 29. Эти сплавы применяют для изготовления нагруженных деталей, эксплуатируемых во влажной среде.

Литейные сплавы алюминия с медью характеризуются низкими коррозионной стойкостью и литейными свойствами, но обладают высокой прочностью при нормальных и повышенных температурах, поддаются обработке резанием. Для упрочнения сплавы подвергают закалке и старению при +150...+175 °С в течение 3–5 ч. Сплав АЛ 7 применяют для изготовления деталей, работающих при средних нагрузках и температурах до +200 °С.

Некоторые алюминиевые сплавы являются эффективными подшипниковыми материалами. Наибольшее применение в узлах трения получил сплав АСМ. По антифрикционности он близок к свинцовой бронзе, однако превосходит ее по коррозионной стойкости и технологичности. Сплав АСС-6-5 содержит свинец, а сплав АСМЦ – цинк, что придает им противозадирные свойства. Подшипники скольжения из сплавов АСМ и АСС-6-5 применяют взамен бронзовых в дизельных двигателях. Эти сплавы обеспечивают низкий коэффициент трения в парах со сталью.

Из алюминиевых сплавов, легированных оловом, изготавливают тяжелонагруженные подшипники. Разработаны высокооловянистые сплавы на основе алюминия, по триботехническим свойствам не усту-

Витебский государственный технологический университет

пающие бронзам. Алюминиевые сплавы характеризуются более высоким коэффициентом теплового расширения по сравнению с чугунами и сталями. В связи с этим подшипники из них применяются ограниченно.

Более широкое распространение получили биметаллические подшипниковые материалы, представляющие собой слой алюминиевого сплава, нанесенный на стальное основание. Биметаллические алюминиевые подшипники обеспечивают падежную работу узлов трения при нагрузках 20–30 МПа и скоростях скольжения до 20 м/с.

Лекция 2.4 Медь и сплавы на ее основе

Медь – металл розово-красного цвета с плотностью 8,95 г/см^3 и температурой плавления +1083 ^{0}С. Важнейшим сырьем для получения меди являются сернистые руды – медный колчедан (халькопирит), борнит, халькозин и окисленные медные руды. Свойства меди в значительной степени зависят от содержания в ней примесей и их растворимости в меди. Примеси оказывают разнообразное влияние на физические, химические, механические и технологические свойства меди и ее сплавов – прочность, обрабатываемость резанием, тепло- и электропроводность, коррозионную стойкость.

Главными достоинствами меди являются высокие показатели тепло- и электропроводности, пластичности, коррозионной стойкости. Для устранения недостатков, свойственных меди (низкие литейные свойства, плохая обрабатываемость резанием, относительно невысокие прочностные характеристики), ее легируют различными химическими элементами.

Наиболее распространены в качестве конструкционных, антифрикционных, электротехнических и химически стойких материалов латуни и бронзы – сплавы меди с цинком, оловом, свинцом и другими элементами. Разработаны специальные виды бронз – мельхиоры, нейзильберы, куниали, копели. Латуни и бронзы получили широкое применение в качестве технических материалов, используемых для изготовления узлов трения, химического и электротехнического оборудования.

Примеси оказывают существенное влияние на основные свойства меди как технического материала. По этому признаку примеси можно условно подразделить на следующие группы: снижающие прочность при «горячей» и «холодной» обработке давлением (O_2, Pb, S, Se, Fe, Sb, Bi); улучшающие обрабатываемость резанием (Se, Pb, Te, Si); понижающие тепло- и электропроводность (Pb, As, Sb, Fe, A1, P); снижающие коррозионную стойкость (O_2, Fe); повышающие коррозионную стойкость (Be, A1); повышающие прочность меди (Fe, P).

Свойства меди в значительной мере определяются растворимостью примесей в медной матрице. По этому признаку различают примеси, растворяющиеся в меди (Ni, Zn, Sb, A1, H_2, As, Sn, S), и практически

Витебский государственный технологический университет

не растворяющиеся или ограниченно растворяющиеся в ней (O_2, Fe, Bi, Pb, Se, Te, P).

Промышленность стран СНГ выпускает медь следующих марок: катодная (т. е. получаемая электролитическим методом) – МВ4к, М00к, М0ку, М0к, М1к; бескислородная – М00б, М0б, М16; катодная переплавленная – М1у; раскисленная (с удаленным из расплава кислородом) – М1р,М2р,М3р,М3.

По содержанию примесей различают следующие марки меди: М00 (99,99 % Cu), М0 (99,95 % Cu), М1 (99,9 % Cu), М2 (99,7 % Cu), М3 (99,50 % Cu).

Главными достоинствами меди как машиностроительного материала являются высокие тепло- и электропроводность, пластичность, коррозионная стойкость в сочетании с достаточно высокими механическими свойствами. К недостаткам меди относят низкие литейные свойства, плохую обрабатываемость резанием.

Медь принято считать эталоном электрической проводимости и теплопроводности, в связи с чем эти параметры меди при сравнении с другими металлами принимают равными 100%. Так, у алюминия и железа значения аналогичных показателей составляют 60 и 17% соответственно. С целью придания требуемых механических, технологических, антифрикционных и других свойств осуществляют легирование меди. Наибольшее применение в последнее время получили сплавы меди, содержащие цинк, олово, алюминий, кремний, бериллий, марганец, никель.

По химическому составу медные сплавы подразделяют на латуни, бронзы, медноникелевые сплавы; по технологическому назначению– на деформируемые и литейные; по изменению прочности после механической обработки– на упрочняемые и неупрочняемые термической обработкой.

Сплавы меди, в которых главным легирующим компонентом является цинк, называют *латунями*. В зависимости от содержания легирующих элементов различают двойные (простые) и многокомпонентные (легированные) латуни. Двойные латуни маркируют буквой Л и цифрами, показывающими среднее содержание меди в сплаве. Например, в латуни марки Л90 содержится 90 % меди, остальное – цинк.

Бронзы – сплавы на основе меди, в которых главными добавками являются олово, алюминий, бериллий, кремний, свинец и др., за исключением цинка и никеля. Цинк может присутствовать в составе бронзы в качестве легирующей добавки. Бронзы маркируют буквами Бр и цифрами, аналогично маркировке латуней. Например, бронза марки БрОФ 6,5–0,15 содержит 6,5 % олова, 0,15 % фосфора, остальное – медь.

Сплавы меди с никелем и другими легирующими элементами, представляющие собой по существу бронзы специального назначения,

Витебский государственный технологический университет

называют мельхиорами, нейзильберами, куниалями, копелями и др. Принцип маркировки данных сплавов такой же, как латуней и бронз.

Мельхиор (назван по имени разработчиков – французских металлургов Майю и Шорье) – сплав Cu и Ni (5-30 %), применяется для изготовления столовых приборов и в других товарах.

Нейзильбер– сплав Cu с Ni (5–35 %) и Zn (13–45 %), имеет высокие прочность и коррозионную стойкость, предназначен для изготовления плоских пружин, деталей точной механики, столовой посуды, бижутерии и др.

Куниаль– сплав Cu с Ni (4–20 %) и Al (1–4 %), коррозионностоек, по прочности не уступает некоторым конструкционным сталям.

Копель– Cu с Ni (~43 %) и Mn (~0,5 %), материал для изготовления термопар, деталей нагревательных устройств. Например, мельхиор МНЖМц 30-1-1 содержит 29–33 % никеля и кобальта, 0,5–1 % марганца, 0,5–1 % железа, остальное –медь.

Нейзильбер – сплав марки МНЦС16-29 – 1,8, включает 15–16,7 % никеля и кобальта, 1,6–2 % свинца, 51–55 % меди, остальное – цинк.

Лекция 2.5 Специальные сплавы

В совокупности конструкционных материалов имеется много цветных металлов и сплавов, обладающих специальными свойствами: тугоплавких, антифрикционных, материалов для авиационной, ракетной техники и др. Необходимость разработки сплавов со специальными свойствами диктуется развитием совершенствованием техники: повышением нагрузок и скоростей эксплуатации, расширением диапазона рабочих температур и давлений, необходимостью повышения удельной прочности традиционных машиностроительных материалов. Особый интерес представляют тугоплавкие металлы и сплавы на основе титана, тантала, ниобия и вольфрама. Традиционен интерес машиностроителей к материалам с высокими удельными прочностными характеристиками. Сплавы на основе магния, бериллия в ряде случаев могут полноценно заменить стали.

К числу самых применяемых специальных цветных сплавов до последнего времени относили антифрикционные, разработанные на основе олова, свинца, цинка. Однако в связи с высокой стоимостью и недостаточной теплостойкостью таких сплавов, истощением запасов сырья доля их в общем потреблении специальных сплавов уменьшается.

Для получения и переработки металлов и сплавов со специальными свойствами применяют методы порошковой металлургии, электродуговой и зонной плавки и др.

Титан и его сплавы. Высокая удельная прочность, коррозионная стойкость, достаточное распространение в природе (около 0,6 %) способствуют расширению областей использования титана в качестве кон-

Витебский государственный технологический университет

струкционного материала. Мировое производство титана и его сплавов постоянно возрастает.

В земной коре содержится около 60 соединений, содержащих титан, промышленную ценность из них имеют ильменит ($FeO \cdot TiO_2$), перовскит ($CaO \cdot TiO_2$), сфен ($CaO \cdot TiO_2 \cdot SiO_2$).

Промышленное применение титана началось с 1948 г. и быстро развивается. Это объясняется сочетанием таких ценных свойств титана, как малая плотность, высокая удельная прочность, коррозионная стойкость, технологичность при обработке давлением, свариваемость, хладостойкость, высокая стойкость к солнечной радиации, немагнитность.

Титан – металл серебристо-белого цвета плотностью 4500 кг/м^3. Его температура плавления Tпл = +1668(±4)°С зависит от степени чистоты металла. Титан имеет две полиморфные модификации: α-титан – гексагональная плотноупакованная решетка (периоды a– 0,296 нм, c– 0,472 нм) и β-титан - высокотемпературная модификация с кубической объемно-центрированной решеткой (период a– 0,332 нм при +900 °С). Температура полиморфного α ↔ β превращения +882 °С.

Характеристики механических свойств титана существенно зависят от чистоты металла и содержания примесей. Различают примеси внедрения – кислород, азот, углерод, водород и примеси замещения, к которым относятся железо и кремний. Примеси повышают прочность, но одновременно резко снижают пластичность титана, причем наиболее неблагоприятное воздействие оказывают примеси внедрения. При содержании всего лишь 0,03 % H_2, 0,2 % N_2 или 0,7 % O_2 титан полностью теряет способность к пластическому деформированию и хрупко разрушается.

Технология получения титана состоит из операций обогащения и восстановительной электродуговой плавки титановой руды (ильменитовых концентратов) с последующим восстановлением титана из $TiCl_4$ металлическим Mg. В результате восстановления получают так называемую титановую губку, которую размалывают в порошок, прессуют и спекают либо переплавляют электродуговым способом в вакууме или в инертных газах. Очистку титана от примесей производят методом зонной плавки. В чистом виде титан достаточно пластичен, имеет высокую удельную прочность, стоек к коррозии.

Титановые сплавы обладают низкими триботехническими характеристиками. Для повышения износостойкости их подвергают ХТО-азотированию, силицированию. Азотирование повышает твердость, износостойкость и жаропрочность изделий. Силицирование повышает жаростойкость титановых сплавов.

Благодаря малой плотности в сочетании с высокой прочностью и устойчивостью к коррозии титан широко используется в машиностроении.

Витебский государственный технологический университет

Высокая коррозионная стойкость в средах обеспечивает широкое применение сплавов титана в пищевой промышленности. Пластичность и вязкость при низких температурах титановых сплавов позволяют применять их в холодильной и криогенной технике.

Благодаря биологической совместимости с тканями человеческого организма титан широко используют в медицине. По биологической инертности он превосходит известные коррозионностойкие стали и сплавы.

Магний – щелочноземельный металл II группы периодической системы Д.И. Менделеева – один из наиболее распространенных элементов в природе. В виде химических соединений он входит в состав горных пород — магнезит, доломит, карналлит и морской воды. Промышленное производство магния основано на электролизе расплавов чистых обезвоженных солей.

Главными достоинствами магния как машиностроительного материала являются низкая плотность (1738 кг/м^3), высокая удельная прочность, технологичность, стойкость к ударным нагрузкам.

Чистый магний характеризуется высокой химической активностью и относится к группе пирофорных металлов, воспламеняющихся при нагревании в среде кислорода. Его коррозионная стойкость во влажных средах, кислотах, растворах солей низка. В щелочах, плавиковой кислоте и ее солях магний устойчив. Механические свойства магния зависят от его структуры, сформированной в процессе термической обработки. Измельчение фазовой структуры путем физико-химического модифицирования или механического деформирования способствует повышению прочностных характеристик магния.

Свойства магния существенно зависят от содержания примесей. Основными примесями, содержание которых регламентируется в магнии, являются железо, кремний, никель, медь, хлор, алюминий, марганец.

Вследствие недостаточной коррозионной стойкости и прочности чистый магний практически не используют в качестве конструкционного материала. Его применяют как легирующую добавку к сталям и чугунам.

Служебные характеристики магния улучшают легированием марганцем, алюминием, цинком, церием, неодимом, цирконием. Легирование способствует повышению коррозионной стойкости, прочности, жаропрочности магниевых сплавов, снижению их окисляемости при плавке, термообработке, литье.

Сплавы на основе магния классифицируют по механическим свойствам – невысокой (средней) прочности, высокопрочные, жаропрочные; по технологии переработки – литейные и деформируемые; по отношению к термической обработке – упрочняемые и неупрочняемые. Деформируемые сплавы маркируют буквами МА, литейные – буквами

Витебский государственный технологический университет

МЛ. Сплавы на основе магния пониженной и средней прочности применяют в авиастроении для изготовления арматуры и малонагруженных деталей. Высокопрочные сплавы используют в текстильном машиностроении, автомобилестроении. Сплавы повышенной жаропрочности применяют для изготовления деталей, эксплуатируемых при температуре +350...+400 °С.

Магниевые сплавы обладают высокой пластичностью в горячем состоянии и хорошо деформируются. Для деформируемых сплавов диффузионный отжиг обычно совмещают с нагревом для обработки давлением. Прочностные характеристики магниевых сплавов существенно повышаются при термомеханической обработке, состоящей в пластическом деформировании закаленного сплава перед его старением.

Магниевые сплавы хорошо обрабатываются резанием, шлифуются и полируются. Соединение деталей сваркой необходимо проводить в защитной атмосфере.

Недостатком магниевых сплавов являются невысокие литейные свойства, склонность к газонасыщению, окислению и воспламенению при литье. Для предотвращения дефектов при выплавке используют специальные флюсы. Так, уменьшение пористости происходит в присутствии небольших добавок кальция (0,2 %), а для снижения окисляемости в расплав добавляют бериллий (0,02–0,05 %).

Антифрикционные сплавы. Для изготовления деталей, эксплуатируемых в условиях трения скольжения, используют сплавы цветных металлов, характеризующиеся низким коэффициентом трения, прирабатываемостью, износостойкостью, малой склонностью к заеданию. Условия работа антифрикционных сплавов предопределяют их структуру, в которой оптимально сочетаются пластичная основа и твердые включения легирующих компонентов. К группе антифрикционных относят сплавы па основе олова, свинца, цинка.

Антифрикционные сплавы на основе олова или свинца называют баббитами по имени американского изобретателя И. Баббита. В состав баббитов вводят легирующие элементы, придающие им специфические свойства: медь увеличивает твердость и ударную вязкость, никель - вязкость, твердость, износостойкость, кадмий – прочность и коррозионную стойкость, сурьма – прочность сплава.

Антифрикционные цинковые сплавы применяют для отливки малонагруженных подшипников, изготовления биметаллических лент и прокатных полос с последующей штамповкой из них антифрикционных деталей, эксплуатируемых при скоростях скольжения до 3 м/с и удельных нагрузках до 20 МПа. Такие подшипники успешно заменяют бронзовые при температурах эксплуатации, не превышающих+120 °С.

Бериллий – металл светло-серого цвета II группы периодической системы элементов Д.И. Менделеева с температурой плавления +1284 °С. Существуют две полиморфные модификации бериллия -

Витебский государственный технологический университет

низкотемпературная – до +250 °С с гексагональной плотноупакованной решеткой и высокотемпературная – с решеткой объемноцентрированного куба. Плотность бериллия – 1845 кг/м^3.

Бериллий относится к редким металлам. Его содержание в земной коре составляет около $5 \cdot 10^{-4}$ %. Металлический бериллий получают восстановлением фторида бериллия магнием при температуре +900...+1300°С или электролизом его хлорида в смеси с хлоридом натрия. Вакуумной переплавкой бериллии очищают до 99,98 %. Пластичный бериллий с содержанием примесей не более 10^{-4} % получают электролизом его хлоридных расплавов с последующей зонной плавкой.

Компактные заготовки получают методами порошковой металлургии. Чем меньше размер зерна порошка, тем выше прочностные и пластические свойства заготовки. Бериллий и его соединения в виде порошков, пыли и паров чрезвычайно токсичны, они поражают органы дыхания и кожу. Сформированные детали из бериллия достаточно безопасны.

Бериллий плохо обрабатывается резанием и требует применения специального твердосплавного инструмента. Неразъемные соединения деталей из бериллия получают пайкой и дуговой сваркой в защитной среде.

Механические свойства бериллия зависят от его чистоты, размера зерна, технологии производства. Бериллий обладает уникальным сочетанием физико-механических свойств и наибольшей по сравнению с другими легкими материалами удельной прочностью.

Бериллий имеет высокие показатели электро- и теплопроводности, приближающиеся к теплопроводности алюминия, а по удельной теплоемкости 2500 Дж/(кгК) превосходит все остальные металлы. Бериллий стоек к различным видам коррозии. При взаимодействии с воздухом на поверхности образцов бериллия образуется оксидная пленка, защищающая металл от действия кислорода.

При использовании бериллия в конструкциях приходится учитывать его хрупкость и чувствительность к надрезу при воздействии растягивающих напряжений. По этой причине бериллиевые сплавы применяют в конструкциях, работающих преимущественно на сжатие.

Применение бериллия обеспечивает трехкратный выигрыш в массе по сравнению с алюминиевыми и магниевыми сплавами, четырехкратный - по сравнению с титаном и пятикратный - по сравнению со сталями. С увеличением температуры эффективность применения изделий из бериллиевых сплавов возрастает.

Высокая стоимость и токсичность сдерживают широкое применение бериллия и его сплавов в машиностроении и других отраслях промышленности. Однако уникальные свойства бериллия несомненно будут способствовать расширению сфер его применения.

Витебский государственный технологический университет

Лекция 2.6 Порошковая металлургия

Порошковая металлургия является интенсивно развивающейся отраслью промышленности, производящей порошки из металлов неорганических материалов, а также спеченные изделия из них. Применение порошков металлов, сплавов и тугоплавких соединений началось в глубокой древности. Уже тогда порошки золота, меди и бронз применяли в декоративных целях при производстве керамики и как компоненты красок в живописи.

Методами порошковой металлургии изготавливают материалы и изделия: с уникальными свойствами, которые невозможно получить с помощью других технологий; с обычным уровнем свойств, но более дешевые, чем традиционные материалы. Этими методами можно изготовить изделия из материалов, формирование которых другим путем невозможно или экономически невыгодно, например из несплавляющихся компонентов, композиций металлов и неметаллов. К числу таких материалов относятся тугоплавкие металлы, карбидные твердые сплавы, пористые и фрикционные материалы, магнитные материалы и магнитодиэлектрики, алмазоподобные материалы, керметы. Традиционный технологический процесс порошковой металлургии включает следующие операции: получение порошков, формование из них заготовок, спекание и окончательную обработку (калибровка, обжатие, термообработка и т. д.) изделия. Его совершенствование привело к созданию специфических операций, среди которых – газостатическое прессование порошков, их формовка, совмещенная с впрыскиванием расплава в матрицу, получение порошков в условиях сверхбыстрого (10^6–10^7 °С/с) охлаждения и другие операции, расширяющие возможности порошковой металлургии. Одним из основных ее достоинств является возможность сократить технологические потери материалов, поскольку при механической обработке некоторых видов литья и даже проката в стружку уходит до 60–70 % металла.

В настоящее время широкое распространение методы порошковой металлургии получили при производстве следующих материалов: антифрикционных, фрикционных, электротехнических, конструкционных, тугоплавких металлов и сплавов, твердых сплавов и пористых порошковых материалов.

Антифрикционные материалы. Более 80% мирового парка машин выходит из строя в результате износа узлов трения, а интенсивность изнашивания находится в прямой зависимости от скорости, нагрузки, мощностей, режима эксплуатации подвижных сопряжений.

В настоящее время существует обширная номенклатура спеченных антифрикционных материалов, которые используют в изделиях общего машиностроения и специального назначения. Широкое распространение получили пористые подшипники скольжения на основе по-

Витебский государственный технологический университет

рошков железа и меди, получаемые по технологии и на стандартном оборудовании порошковой металлургии.

Материалы на основе железа. Пористые антифрикционные материалы на основе железа успешно конкурируют с литыми сплавами типа баббитов и бронз.

Пористое железо – название микропористого порошкового материала, имеющего структуру феррита.

Спеченные железографитовые материалы по триботехническим свойствам близки к серым чугунам, но обладают лучшей прирабатываемостью (прирабатываемость – свойство материалов трения сглаживать поверхности трения деталей в начальный период трения, что сопровождается снижением коэффициента трения, интенсивности изнашивания и уменьшением выделения тепла). Железографитовые материалы имеют перлитно-ферритную структуру. Количество ферритной составляющей зависит от исходного содержания графита в порошковом материале и условий спекания. Наибольшей износостойкостью обладает перлитная структура. Содержание ферритной составляющей зависит от режима работы подшипникового узла и допускается до 50 %.

Материалы на основе меди. Первыми порошковыми антифрикционными материалами, которые нашли применение в промышленности, были бронзы. Оптимальное сочетание триботехнических и прочностных характеристик обеспечивается при содержании олова 9–11%.

Пористые бронзы применяют для изготовления подшипников, работающих без смазки при малых скоростях скольжения (< 1,5 м/с) и небольших нагрузках (0,5–1,0 МПа). Широкое распространение получили спеченные самосмазывающиеся подшипники скольжения из композиций бронза-графит, в которых содержание графита составляет 2–4 %, олова 8–10 % и меди 86–90 % масс.

Фрикционные материалы имеют большой коэффициент трения и характеризуются высокой износостойкостью. Характерные для современных машин мощности, скорости и нагрузки создают тяжелые условия эксплуатации фрикционных материалов: при работе без смазки скорость торможения достигает V =50 м/с при давлении P=2,5 МПа; при работе со смазкой V< 100 м/с, P =2,0 МПа. Это обусловливает очень жесткие требования к фрикционным материалам: хорошая прирабатываемость, приводящая к уменьшению шероховатости поверхности трения фрикционной детали в течение первых циклов торможения и к формированию значительной (не менее 80 % от геометрической) площади фактического контакта в паре трения тормозного устройства; высокая фрикционная теплостойкость – сохранение в паре трения устойчивого значения коэффициента трения и низкого износа деталей трения в диапазоне температур до +900...+1000 °С; линейный износ фрикционных деталей не должен превышать 0,10–0,15 мкм за один цикл торможения; устойчивость к схватыванию – местному адгезионному соединению

Витебский государственный технологический университет

фрикционной детали и контртела в процессе и после торможения; высокая жаропрочность при температурах торможения, исключающая скалывание, расслоение, выкрашивание, образование глубоких трещин на поверхности трения фрикционной детали; стойкость к электрохимической коррозии во влажной и загазованной выхлопами двигателей машины атмосфере, а также небольшая (<0,02 В) контактная разность потенциалов с сопряженными материалами тормозного устройства; отсутствие в составе фрикционного материала дефицитных, дорогостоящих и экологически опасных компонентов; технологичность при механической обработке на всех видах станочного оборудования в условиях массового производства.

Широкое распространение получили изделия из пористых порошковых материалов, названных капиллярно-пористыми. С их помощью осуществляют транспорт жидкости по поровым каналам под действием капиллярных сил. Применение капиллярно-пористых материалов в теплообменных аппаратах позволило придать им уникальные свойства: эффективную теплопроводность от 10^{-3}до 10^{3} Вт/(м·К), проницаемость для одних жидкостей и непроницаемость для других, возможность осуществления в порах материалов фазовых переходов, сопровождающихся поглощением или выделением тепла.

Капиллярно-пористые изделия из порошковых материалов применяют в керамическом производстве в качестве форм для шликерного литья, где они заменяют традиционные гипсовые формы. Высокие механическая прочность и теплопроводность пористых порошковых материалов позволили существенно повысить срок службы форм и производительность изготовления керамических изделий. Широкая номенклатура высокопористых металлических материалов создана для применения в химических источниках питания и топливных элементах, а также в качестве акустических устройств и т. д.

Перечисленные примеры не исчерпывают всех возможностей промышленного использования пористых порошковых материалов, но по ним можно судить о той важной роли, которую играют эти материалы в технике, особенно в машиностроении.

Спеченные порошковые материалы находят широкое применение в электро- и радиотехнике, автоматике и телемеханике, электромашиностроении для изготовления электрических контактов и производства магнитных материалов.

Материалы электрических контактов. В электротехнической промышленности используют различные типы разрывных и скользящих контактов. Требования, предъявляемые к материалам таких контактов, изменяются, становясь более жесткими. Материалы должны быть термически, химически и механически стойкими, иметь низкое электросопротивление, обладать высокой теплопроводностью и эрозионной стойкостью при воздействии электрической дуги, не свариваться при замы-

Витебский государственный технологический университет

кании и размыкании контактов. Технология производства электрических контактов методами порошковой металлургии позволяет получать изделия с такими свойствами.

Разрывные электроконтакты используют для замыкания электроцепей в высоко- и низковольтных (в том числе и слаботочных) электрокоммутирующих аппаратах и приборах. Чаще всего в качестве материалов разрывных контактов используют композиционные порошковые материалы. По составу их делят на: металлические (одно-, двух-, трех- и многокомпонентные), металлографитовые, металлооксидные, металлокарбидные, металлоборидные или металлонитридные.

Скользящие электроконтакты работают в паре трения с токонесущим неподвижным контртелом, обеспечивая большую площадь касания и низкий коэффициент трения. Целесообразно, чтобы твердость материалов, составляющих контактную пару, была различной: материал контртела – более твердый, чем материал скользящего по нему контактного элемента. Для улучшения антифрикционности и обеспечения оптимального соотношения показателей твердости в состав материала скользящего контакта вводят твердые смазочные материалы (дисульфид молибдена, сульфид цинка, графит и др.). Иногда добавляют легкоплавкие металлы (например, галлий), которые плавятся при работе контактной пары, уменьшая ее износ благодаря переходу от сухого трения к жидкостному. При коммутации электрического тока электроискровые и дуговые процессы разрушают поверхность трения скользящего контакта, приводя к износу, в 10–100 раз большему по сравнению с износом в обесточенной паре.

Магнитные материалы. Ферриты – класс неметаллических магнитных материалов, обладающих высоким удельным электрическим сопротивлением (10^5–10^{10} Ом·м), в то время как у металлов эта величина не превышает 10^{-6} Ом·м. Ферриты состоят из оксидов железа (Fe_2O_3) и других металлов (NiO, MgO, ZnO, CdO, BaO и т. д.). Ферриты могут быть магнитно-твердыми и магнито-мягкими.

По типу кристаллической решетки ферриты подразделяют на следующие группы:

- ферриты с кубической кристаллической решеткой;
- ферриты с гексагональной решеткой;
- ферриты со структурой природного минерала граната;
- ферриты, решетки которых имеют ромбическую или орторомбическую форму.

К *тугоплавким металлам*, имеющим температуру плавления выше температуры плавления железа (+1539 °С), относят титан, цирконий, гафний, ванадий, ниобий, тантал, хром, молибден, рений, осмий, родий. Металлы платиновой группы также являются тугоплавкими, но по общепринятой классификации их относят к благородным. Изделия из тугоплавких металлов и сплавов на их основе работоспособны как при

Витебский государственный технологический университет

краткосрочном, так и длительном воздействии температур, превышающих +1000...+ 1500 °С.

К числу важнейших эксплуатационных характеристик тугоплавких металлов относят максимальную рабочую температуру, плотность тока термоэлектронной эмиссии, удельное электрическое сопротивление. Максимальная температура применения этих металлов определяется скоростью их испарения в вакууме и характеризует стабильность параметров радио- и электронной аппаратуры. Благодаря высокой термо- и температуростойкости тугоплавкие металлы обеспечивают большую плотность тока электронной эмиссии. Это позволяет применять их для изготовления катодов накала в осветительных приборах с высокой энергией излучения.

Вольфрам является одним из наиболее тугоплавких металлов (*Тпл* = 3410 °С). Его применяют главным образом в производстве твердых сплавов и для легирования сталей.

Области применения жаропрочных материалов на основе ниобия - атомная техника, электротехника, радиоэлектроника. Ниобий используют в производстве жаропрочных и инструментальных сталей.

Тантал по стойкости в коррозионных средах уступает лишь благородным металлам. Его применяют для получения сплавов повышенной износо- и коррозионной стойкости. Карбиды тантала являются компонентами твердых сплавов.

Рений сочетает высокие прочность, упругость и коррозионную стойкость. Сплавы рения с молибденом и никелем характеризуются высокой жаропрочностью.

Цирконий относится к числу самых широко применяемых тугоплавких металлов благодаря достаточной распространенности в природе, коррозионной стойкости, технологичности. Для повышения механических свойств изделия из циркония тщательно очищают и подвергают наклепу. Этот металл активно взаимодействует с водородом, кислородом и азотом, образуя химические соединения.

Тугоплавкие металлы в основном применяют как компоненты сплавов, которые предназначены для работы при температурах +1100...+1700 °С, а сплавы вольфрама – до +2500...+3000 °С.

Твердые сплавы – композиционные материалы, состоящие из металлического связующего, наполненного высокотвердыми и тугоплавкими карбидами ванадия, титана, тантала, полученные методами порошковой металлургии.

Порошки карбидов WC, TiC, TaC смешивают с порошком кобальта, прессуют и спекают при +1400...+1550 °С в среде водорода или в вакууме.

В зависимости от состава карбидной основы твердые сплавы подразделяют па вольфрамовые, титановольфрамовые и титанотанталовольфрамовые.

Витебский государственный технологический университет

Структура вольфрамовых твердых сплавов состоит из зерен карбида WC, связанных кобальтом. Теплостойкость сплавов ВК – до 800 °С. Чем мельче частицы карбида и меньше содержание связки, тем выше износостойкость и меньше вязкость сплавов.

Титановольфрамовые сплавы – это композиты, имеющие состав TiC-WC-Co. При спекании порошков образуется твердый раствор (Ti, W)C, имеющий большую твердость, чем WC. Структура таких сплавов зависит от соотношения карбидных компонентов. При высоком содержании TiC образуется одна карбидная фаза (Ti,W)C. Инструменты из сплавов такой структуры обеспечивают повышенную скорость резания. В сплавах других марок карбиды WC присутствуют в виде отдельных кристаллов. Теплостойкость сплавов этой группы составляет +900...+1000 °С.

Структура титанотанталовольфрамовых твердых сплавов TiC-TaC-WC-Co представляет собой твердый раствор (Ti, Ta, W)C, наполненный и кристаллами WC.

Твердые сплавы маркируют буквами и цифрами: вольфрамовые – ВК, титановольфрамовые – ТК, титанотанталовольфрамовые – ТТК. В сплавах ВК и ТТК цифры показывают содержание кобальта, а в сплавах ТК – содержание WC в процентах. Цифры после букв Т и ТТ показывают содержание (%) карбидов титана и суммарное содержание карбидов титана и тантала. Твердые сплавы имеют высокие модуль упругости (480–680 ГПа), предел прочности при сжатии (до 6000 МПа), твердость (74–76 HRC), теплостойкость (до + 1000 °С). Главными недостатками твердых сплавов являются их хрупкость и трудность механической обработки.

Алмазосодержащие круги в большинстве случаев изготавливают на полимерной или металлической связке. Резцы с пластинками алмаза применяют главным образом при обработке корпусов часов. Стоимость алмазного инструмента, изготовленного по современным технологиям, относительно невысока, а экономия, получаемая при его рациональном использовании, весьма существенна.

Витебский государственный технологический университет

3. НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Лекция 3.1 Пластмассы

Пластические массы (пластмассы, пластики) – материалы на основе полимеров, способные приобретать заданную форму при нагревании под давлением и сохранять ее после охлаждения. В зависимости от назначения и условий эксплуатации пластмассы могут содержать вспомогательные компоненты – наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, пигменты, смазочные вещества и др.

Характерные свойства пластмасс: высокая механическая прочность, устойчивость к действию агрессивных сред, возможность изготовления изделий в законченной форме, тепло-, звуко- и электроизоляция.

Обязательным компонентом пластмасс являются связующие вещества, в качестве которых используют синтетические смолы, реже эфиры целлюлозы.

Другим важным компонентом пластмасс является наполнитель – порошкообразные, волокнистые и другие вещества как органического, так и неорганического происхождения. Наполнители повышают механические свойства, снижают усадку при прессовании и придают материалу специфические свойства.

Для повышения эластичности и облегчения обработки добавляют пластификаторы (дибутилфталат, стеарин и др.). Исходная композиция может содержать отвердители (амины) или катализаторы (перекисные соединения) процесса отверждения термореактивных связующих, ингибиторы, предотвращающие полуфабрикаты от самопроизвольного отверждения, а также красители.

Свойства пластмасс зависят от состава отдельных компонентов, их сочетания и количественного соотношения, что позволяет изменять их характеристики в достаточно широких пределах.

Классификация пластмасс проводится по различным признакам.

По характеру макроструктуры пластмассы подразделяют на простые (однородные) и композиционные (неоднородные). Простые однородные пластмассы состоят только из полимера, например, из полиэтилена, полипропилена или полистирола. В твердом состоянии такие полимеры проявляют хрупкость и быстро стареют с течением времени. Композиционные пластмассы содержат наполнители, связывающие вещества, пластификаторы, стабилизаторы, красители и другие вещества.

По природе связующих веществ пластмассы бывают на основе: синтетических полимеров; химически переработанных природных полимеров; природных полимеров и смол.

По характеру химических реакций, лежащих в основе процесса получения (синтеза) синтетических смол, пластмассы делятся на две

Витебский государственный технологический университет

группы:

1) пластмассы на основе полимеризационных смол, получаемых по реакции полимеризации (полиэтилен, полистирол, поливинилхлорид);

2) пластмассы на основе поликонденсационных смол, получаемых по реакции поликонденсации (фенопласты, аминопласты, полиэфиры, полиамиды и др.).

По отношению к нагреванию пластмассы подразделяют на термопластичные и термореактивные. Это деление подчеркивает принципиальное различие в свойствах пластмасс и в поведении их в процессах технологической переработки и эксплуатации.

Термопластичные пластмассы представлены обширной группой полимерных материалов (полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид, фторопласты, полистирол, полиметилметакрилат, полиэтилентерефталат, поликарбонаты, полиамиды и др.)

Полиэтилен (ПЭ) представляет собой продукт полимеризации этилена с линейной макромолекулой, имеющей небольшое число ответвлений. Достоинством полиэтилена является сочетание высокой химической стойкости, удовлетворительных механических свойств с технологичностью переработки и низкой стоимостью. ПЭ и композиты на его основе используют в машиностроении, радиотехнике, химической промышленности, сельском хозяйстве. Промышленностью выпускаются пленки различного назначения, трубы, шланги, кабельная изоляция, волокна и др. Полиэтилен относится к числу самых применяемых полимерных материалов.

Полипропилен (ПП) – термопластичный линейный полимер, продукт полимеризации пропилена. ПП – это твердое, в тонких слоях прозрачное, в толстых – молочно-белое вещество с высокой (до 75%) степенью кристалличности и температурой плавления около +170°С. ПП отличается от ПЭ более высокой ударной вязкостью, прочностью, износостойкостью, обладает высокими диэлектрическими свойствами, низкими паро- и газопроницаемостью. ПП нерастворим в органических растворителях, устойчив к действию кипящих воды и щелочей, но обладает низкими термо- и светостойкостью. Из ПП изготавливают детали машин, арматуру, бытовые изделия, контейнеры для хранения и перевозки сыпучих грузов и емкости для жидкостей. Около 30% ПП перерабатывают в волокна, пленки, трубы и профилированные изделия.

Поливинилхлорид (ПВХ) представляет собой высокомолекулярный продукт полимеризации винилхлорида. На основе ПВХ изготавливают два вида пластмасс: винипласт и пластикат.

Винипласт – это жесткий ПВХ, не содержащий пластификаторов. Его выпускают в виде листов, труб, пленок и сварочных прутков. Пластифицированный ПВХ называют пластикатом. Введение пластификаторов не только улучшает пластичность, но и повышает морозостой-

Витебский государственный технологический университет

кость ПВХ (до –50°С), стойкость к воздействию переменных нагрузок и вибраций. Пластикат широко применяют для изоляции кабелей, изготовления труб, искусственной кожи, линолеума, клеев.

Фторопласты – полимеры фторпроизводных этиленового ряда. Достоинством фторопластов является высокая стойкость в агрессивных средах, в том числе сильных кислотах, за исключением фтористоводородной (плавиковой), щелочей, трехфтористого хлора, элементного фтора при повышенных температурах.

Полистирол (ПС) – продукт полимеризации стирола. ПС обладает высокими диэлектрическими свойствами, водостойкостью и химической стойкостью; отличается радиационной стойкостью и высоким коэффициентом преломления, легко окрашивается в различные цвета. Недостатком ПС является большая хрупкость, невысокая теплостойкость и ударная вязкость. Выпускают различные виды модифицированного ПС и сополимеров стирола: общего назначения; ударопрочные, вспенивающиеся, акрилонитрилбутадиенстирольные (АБС) пластики. Главное применение полистирола общего назначения – детали радиоаппаратуры, неответственные конструкционные детали, изделия бытового назначения. Ударопрочный ПС получают на основе стирола и каучука. Его применяют для изготовления корпусов и деталей холодильников, емкостей и сосудов, мебели, офисного оборудования, деталей машин и оборудования для пищевой и текстильной промышленности, корпусов телевизоров, пылесосов, электробритв. Ударопрочный ПС широко используется для упаковки пищевых продуктов и лекарственных препаратов, изготовления посуды разового пользования, игрушек, авторучек и т.д. АБС-пластики – группа конструкционных материалов, аналогичных по строению ударопрочному ПС, на основе сополимеров стирола с акрилонитрилом. АБС-пластики имеют высокие влагостойкость и стойкость к действию растворителей, масел, кислот и щелочей. Они обладают большими твердостью и прочностью при изгибе, чем ПЭ и ПВХ. АБС-пластики применяют для изготовления крупных деталей автомобилей, корпусов приборов теле- и радиоаппаратуры, телефонов, футляров, контейнеров, шлемов, деталей санитарно-технического оборудования и др.

Полиметилметакрилат (ПММА) – линейный термопластичный полимер, получаемый полимеризацией метилового эфира метакриловой кислоты. ПММА (иногда называемый органическим стеклом) – бесцветный прозрачный полимер, обладающий высокой проницаемостью для ультрафиолетового и видимого света (оргстекло толщиной 3мм пропускает 92% УФ-лучей, силикатное – лишь до 3%), высокой атмосферостойкостью, хорошими физико-механическими и электроизоляционными показателями. ПММА используют в электротехнической и автомобильной промышленности. Из него изготавливают светильники, стекла самолетов и автомобилей, линзы и призмы в приборостроении,

Витебский государственный технологический университет

стекла в часовой промышленности и др.

Полиэтилентерефталат (ПЭТФ) – твердый полимер белого цвета, представляющий собой сложный полиэфир терефталевой кислоты и этиленгликоля. ПЭТФ не растворяется в большинстве органических растворителей, имеет высокую температуру плавления (+225…+265°С), стоек к действию слабых щелочей, смазок, масел, спиртов, кетонов, эфиров. ПЭТФ используют главным образом в производстве полиэфирных волокон (лавсан). Из него изготавливают также пленки и литьевые изделия (радиодетали, посуда, химическое и другое оборудование).

Поликарбонаты (ПК) – сложные полиэфиры угольной кислоты, получаемые поликонденсацией дефенилпропана и фосфогена. Это твердые бесцветные или желтоватого цвета прозрачные вещества, растворяющиеся в хлорированных углеводородах, крезоле и других растворителях. Температура их плавления колеблется от +150°С до +270°С. ПК обладают высокой механической прочностью в широком интервале температур (от –135°С до +140°С), теплостойкостью, хорошими электроизоляционными свойствами, атмосферо- и влагостойкостью. Устойчивы к действию разбавленных кислот, растворов минеральных солей, углеводородов, бензина, масел и т.д., но нестойки в растворах щелочей и хлорсодержащих углеводородов. ПК применяются для изготовления деталей конструкционного и электроизоляционного назначения в машино- и приборостроении, в медицине (фильтры для крови, корпуса бормашин).

Полиамиды (ПА) – гетероцепные полимеры, содержащие в основной цепи макромолекулы амидные группы. Полиамиды – один из самых распространенных конструкционных полимерных материалов. Главным достоинством ПА как конструкционных материалов является сочетание высокой прочности, износо-, тепло- и химической стойкости с технологичностью переработки изделия. ПА широко применяются для изготовления пленок, волокон, защитных покрытий, пропиточных материалов, клеев.

Термореактивные пластмассы отличаются от термопластов повышенной теплостойкостью, практически полным отсутствием ползучести под нагрузкой при обычных температурах, постоянством физико-механических показателей в интервале температур эксплуатации. Основу термореактивных пластмасс составляют смолы, или олигомеры (т.е. полимеры сравнительно небольшой молекулярной массы), которые в процессе отверждения превращаются в неплавкие и нерастворимые продукты. Термореактивными пластмассами являются: фенопласты, аминопласты, материалы на основе полиэфирных, эпоксидных, кремний органических и других смол, получаемые исключительно реакцией поликонденсации.

Фенолоформальдегидные смолы (ФФС) – олигомерные продукты конденсации фенолов с формальдегидом. ФФС находят наибольшее

Витебский государственный технологический университет

применение в производстве специальных видов пластмасс, фанеры и древопластиков, а также для связывания стекловолокна и асбеста при изготовлении тепло- и звукоизоляционных материалов. ФФС используют как основу лаков, эмалей, клеев.

Аминопласты – это пластмассы на основе смол, получаемых поликонденсацией мочевины и меламина с формальдегидом. Аминопласты – бесцветные и светостойкие материалы, легко окрашиваются в любые цвета, обладают хорошими декоративными свойствами. Применяются для изготовления предметов хозяйственного назначения, парфюмерной тары, галантереи, корпусов и трубок телефонов, выключателей и др.

Эпоксидные смолы (ЭС) – олигомеры или мономеры, содержащие в молекуле не менее двух эпоксидных групп и способные превращаться в полимеры пространственного строения в процессе поликонденсации или полимеризации с помощью отвердителей. Отвержденные ЭС обладают хорошими влагозащитными свойствами, высокой адгезией к металлам, стеклу и керамике, хорошими диэлектрическими свойствами и высокой химической стойкостью. ЭС широко используют как основу для лакокрасочных материалов, клеев, герметиков, связующих для высокопрочных армированных пластиков, для изготовления абразивных и фрикционных материалов, для модифицирования других олигомеров и полимеров с целью повышения их прочности, теплостойкости, адгезии к различным материалам.

Мочевино-формальдегидные смолы (МФС) – олигомерные продукты поликонденсации мочевины с формальдегидом, которые при отверждении превращаются в сшитые полимеры. МФС применяют в качестве связующих в производстве аминопластов, для изготовления клеев и для приготовления электроизоляционных, декоративных, антикоррозионных лакокрасочных материалов.

Лекция 3.2 Каучуки и резины

Материалы, обладающие высокой эластичностью, играют важную роль в современной технике. Из них изготавливают изделия, обеспечивающие амортизацию и демпфирование механических нагрузок, герметизацию и химическую защиту оборудования и конструкций. К высокоэластичным материалам относят природные и синтетические полимеры, демонстрирующие очень большие обратимые деформации. Природным материалом такого типа является натуральный каучук. В настоящее время разнообразные виды каучуков производят путем синтеза искусственных высокомолекулярных соединений (синтетические каучуки). Каучуки являются основным видом сырья для производства резин.

Изделия из резин (резинотехнические изделия) применяют во всех

Витебский государственный технологический университет

отраслях машиностроения, легкой и горнодобывающей промышленности и т.д. Достаточно широко используются резины в производстве изделий легкой промышленности: подошв, эластичных лент и т.д.

Технология получения резинотехнических изделий основана на процессе вулканизации (сшивки молекулярной структуры) смеси каучука с добавками и наполнителями (резиновой смеси). Разнообразие резиновых смесей обусловливает получение резин с различными эксплуатационными характеристиками и стойкостью к действию факторов окружающей среды. К ним относят свето-, озоно-, радиационно-стойкие и другие виды резин специального назначения.

Натуральный каучук (НК) – продукт растительного происхождения, содержащийся в млечном соке (латексе) каучуконосных растений. НК добывают главным образом из латекса гевеи, которая произрастает на плантациях, расположенных преимущественно в странах Юго-Восточной Азии.

По химическому строению НК подобен полиизопрену $[-CH_2(CH_3)C{=}CH(CH_2H_2-]_n$ с молекулярной массой от 710^4до $2{,}510^6$. Плотность его–910-920 кг/м^3. Структура макромолекул НК в основном линейная, а сегменты этих молекул ориентированы под различными углами к оси макромолекулы, поэтому возникновение механических напряжений в объеме НК сопровождается конформационными изменениями в цепи макромолекулы. Зигзагообразность макромолекул и действие сил межмолекулярного взаимодействия обусловливают высокую эластичность натурального каучука. Наличие непредельных связей в молекулах делает возможным при определенных условиях их сшивку посредством специальных агентов и перевод каучука в термостабильное состояние.

Синтетический каучук (СК), промышленный синтез одного из видов которого осуществил впервые в 1932 г. С.В. Лебедев, представляет собой продукт полимеризации мономеров углеводородного, нитрильного, сульфидного, силоксанового (т. е. содержащих атомы углерода, азота, серы, кремния) и других типов. Молекулы синтетических каучуков отличаются от молекул натуральных каучуков большей степенью разветвленности, а сочетание разных звеньев при полимеризации позволяет получать большое разнообразие сополимеров с широким набором физико-механических и специальных характеристик.

Основными видами СК, имеющими наиболее важное практическое значение, являются бутадиеновые (полибутадиены – продукты полимеризации бутадиена или дивинила $CH_2{=}CH{-}CH{=}C_2$ и бутадиен-стирольные $[-CH_2{-}CH{=}CH{-}CH_2-]_n$-$[-CH_2{-}CH(C_6H5)-]_m$, относимые к группе СК общего назначения), а также бутадиен-нитрильные, $[-CH_2{-}CH{=}CH{-}CH_2-]_{,n}$-$[-CH_2{-}CH(CN)-]_m$, кремнийорганические, полиуретановые (содержащие в макромолекулах группы (-NH-CO-O-) и каучуки других видов, относящиеся к СК *специального назначения.* Главное

Витебский государственный технологический университет

применение практически всех каучуков – переработка в резинотехнические материалы и изделия.

Основным процессом переработки каучука в резину является *вулканизация* – процесс сшивки макромолекул каучука при нагревании под действием специальных вулканизирующих агентов, приводящий к образованию пространственно-сетчатой структуры. Однако разнообразие требований к резинотехническим материалам обусловливает необходимость введения в каучуковую основу перед вулканизацией целевых добавок и наполнителей. Требуется также проведение специальной механической или термической предварительной обработки (*пластикации)* резиновой смеси. Эта обработка позволяет снизить высокоэластическую и повысить пластическую составляющую деформации, что необходимо для введения и перемешивания ингредиентов резиновой смеси (полуфабриката резины).

Механизм пластикации имеет термоокислительную природу и реализуется путем разрыва макромолекул каучука. Пластикация существенно ускоряется при введении специальных добавок (*пептизаторов),* способствующих снижению температуры процесса за счет интенсификации окислительных реакций. Облегчению пластикации способствуют масла, воски, смолы или их смеси (так называемые *смягчители),* которые, распределяясь в объеме резиновой смеси, снижают межмолекулярное взаимодействие в каучуке и облегчают деформирование смеси. После пластикации и введения наполнителей и пигментов резиновую смесь подвергают вулканизации.

Вулканизация – технологический процесс, при котором каучук превращается в резину. При вулканизации происходит изменение следующих характеристик каучука: напряжения при заданном удлинении, твердости, прочности (модуля упругости) при растяжении, относительного удлинения, остаточной деформации, эластичности, а также ряда служебных характеристик (морозостойкости, набухаемости, газопроницаемости и др.). Количество поперечных связей, образующихся при вулканизации, определяет *степень сшивания* каучука, или *степень вулканизации.*

С увеличением степени сшивания твердость получаемого продукта (вулканизата) монотонно повышается. Зависимость прочности вулканизата при растяжении от плотности поперечных связей проходит через максимум. Вначале с увеличением количества цепей сетки, несущих напряжение, прочность вулканизата повышается. Однако при достижении определенной степени сшивания расстояния между узлами становятся настолько малыми, что затрудняют ориентацию цепей при растяжении. Это приводит к локальным перенапряжениям и, следовательно, к разрыву цепей в этих местах. Между эластичностью и степенью сшивания также наблюдается немонотонная зависимость.

Резиновая смесь перед вулканизацией включает следующие ос-

Витебский государственный технологический университет

новные ингредиенты: каучуковую основу; мягчители, содержание которых достигает 8–30 % от массы основы; наполнители, представляющие собой высокодисперсные продукты, которые определяют механические свойства резины (сажа, оксид цинка и т. д.) или служат только для снижения ее стоимости (мел, тальк, барит, а также измельченные отходы производства резины и старых резиновых изделий); красители, придающие изделиям из резины требуемую окраску и в ряде случаев повышающие стойкость резины к старению под действием солнечного света; антиоксиданты, замедляющие старение резины в результате окисления; вулканизирующие агенты, способствующие сшиванию макромолекул каучука при вулканизации.

Основным вулканизирующим агентом для большинства каучуков является сера, образующая поперечные связи между макромолекулами. От содержания серы существенно зависят механические свойства получаемого при вулканизации продукта. Если массовая доля серы составляет 0,5–5 %, частота молекулярной сетки невысока и вулканизат имеет высокую эластичность (мягкая резина). При большем содержании серы повышается твердость резины (полуэбонит), а при массовой доле ее 30–50 % получается твердый материал, называемый эбонитом.

В качестве других вулканизирующих агентов используют также селен, оксиды металлов и другие вещества. В частности, каучуки, синтезированные на основе диенов, вулканизируются органическими перекисями (перекисная вулканизация), хипонами (содержит группу>C=0, входящую в систему сопряженных двойных связей), алкилфенолоформальдегидными смолами, полигалогенсодержащими соединениями, а также действием ионизирующей радиации (радиационная вулканизация) и ультрафиолетовых лучей (фотовулканизация). Бутадиеновые и бутадиен-стирольные каучуки могут вулканизироваться при нагревании до +190...+200 °С в отсутствие вулканизирующих агентов (термовулканизация).

Вулканизация, приводя к образованию сшитой молекулярной сетки, резко изменяет весь комплекс свойств исходного каучука, превращая его в качественно иной материал с повышенной прочностью, модулем упругости, твердостью, газонепроницаемостью, тепло- и морозостойкостью, стойкостью к действию растворителей. Так, например, прочность его при растяжении возрастает в десятки раз (от 1–1,5 МПа до35 МПа), и вулканизат приобретает износостойкость. Возрастание прочности каучука при вулканизации объясняется не только сшивкой макромолекул, физической адсорбцией и химическим взаимодействием на границе раздела каучука и активного наполнителя, но и структурированием высокодисперсного наполнителя в сетчатом каркасе. Дополнительным фактором упрочнения синтетических каучуков является их полимеризация по двойным углеродным связям.

Важнейшим параметром процесса вулканизации является его дли-

Витебский государственный технологический университет

тельность, поскольку наряду со сшивкой и структурированием в резиновой смеси протекают процессы деструкции (разрыва макромолекул) под действием кислорода и высокой температуры.

Способность резиновых смесей к вулканизации определяет технологию переработки их в изделия. Процесс вулканизации проводят на оборудовании, предназначенном для формования соответствующих изделий, при температуре +140... +180 °С. Для получения листовых изделий сначала прокатывают невулканизированные пластины, армированные тканью или волокнами, а затем вулканизируют их в обогреваемых прессах. Трубки, стержни и профили получают экструзией (шприцеванием) резиновых смесей, а затем вулканизируют заготовки в специальных котлах. Для вулканизации в формах под давлением используют прессы с подогревом. Тонкостенные изделия получают обработкой водных растворов латексов, нанесенных на поверхность формы окунанием в раствор. Выбор технологического процесса переработки резиновых смесей в значительной мере определяется конструкцией и назначением резинотехнического изделия.

Резины поставляются потребителю в виде полуфабрикатов – резиновых смесей, готовых для переработки в изделия путем формования, армирования и вулканизации, а также в виде вулканизированных пластин, шнуров или готовых изделий (лент, ремней, рукавов, шин и т. д.). Название марки резиновой смеси содержит кодированные обозначения механических свойств, типа резины по тепловому старению, морозостойкости, маслостойкости и другим признакам.

В зависимости от областей применения резины (вулканизаты) подразделяют на две основные группы – *общего и специального* назначения.

Резины общего назначения изготавливают на основе натурального каучука, бутадиеновых, изопреновых, бутадиен-стирольных, хлоропреновых, бутилкаучуков и их комбинаций. Эти резины работоспособны в интервале температур от -50 °С до +150 °С, основными областями их применения являются изготовление шин, конвейерных лент, приводных ремней и других резинотехнических изделий. Выпускаются резины общего назначения в виде пластин, листов, рулонов и шнуров по ГОСТ 7338–90, ГОСТ 6467–79 и др.

Резины специального назначения подразделяют на несколько видов, применяемых в специфических условиях эксплуатации.

Теплостойкие резины на основе этилен-пропиленовых и бутилкаучуков работоспособны при температурах +150...+200 °С. Еще более высок допустимый интервал рабочих температур для резин на основе элементоорганических каучуков, наполненных диоксидом кремния, а также резин из неорганических полимеров типа полифосфонитрил хлорида.

Морозостойкие резины, пригодные для длительной эксплуатации

Витебский государственный технологический университет

при температурах ниже – 50 °С, получают на основе каучуков с низкой температурой стеклования (кремнийорганических, стереорегулярных бутадиеновых) или на основе каучуков с обычной температурой стеклования, например бутадиен-нитрильных, после введения в них специальных пластификаторов (себацинатов и др.).

Масло- и *бензостойкие резины* на основе бутадиен-нитрильных, полисульфидных, уретановых, хлоропреновых, винилпиридиновых и фторсодержащих каучуков работоспособны при длительном контакте с нефтепродуктами и растительными маслами.

Резины, стойкие к действию агрессивных сред (кислот, щелочей, озона и т. д.), получают на основе бутилкаучука, бутадиен-нитрильных, кремнийорганических, фторсодержащих, хлоропреновых, акрилатных каучуков и хлорсульфированного полиэтилена.

Электропроводные и *магнитные резины* изготавливают на основе полярных бутадиен-нитрильных каучуков, а также каучуков других типов с электропроводящими и магнитными наполнителями.

Диэлектрические (кабельные) *резины* получают на основе кремнийорганических, этилен-пропиленовых, изопреновых и других каучуков с использованием неорганических наполнителей.

Радиационностойкие резины из фторсодержащих, бутадиен-нитрильных и бутадиен-стирольных каучуков, наполненных оксидами свинца и бария, используют для изготовления деталей рентгеновских аппаратов, защитной одежды для работы с радиоактивными изотопами и ионизирующим излучением.

Кроме вышеуказанных видов, различают вакуумные, вибро-, водо-, огне- и светостойкие, оптически активные, фрикционные, медицинские, пищевые и другие резины.

Определяющее влияние на свойства резин оказывает каучуковая основа, от которой зависят их физико-механические, защитные и другие характеристики. Тем не менее, для всех резин характерны общие закономерности, связанные с их уникальной способностью обратимо деформироваться. В отличие от металлов, для резин характерны S-образная форма зависимости «напряжение-деформация», высокие ползучесть и остаточные деформации при комнатной температуре, зависимость механических свойств от режимов нагружения и температуры, неизменность объема при деформировании.

Модуль упругости резин (0,5–8 МПа) при небольших степенях растяжения на 4–5 десятичных порядков ниже модуля Юнга для стали.

При механическом нагружении резин, находящихся в высокоэластическом состоянии, наблюдаются релаксационные явления, т. е. запаздывание во времени реакции материала на механическое воздействие. Релаксационные свойства резины обусловливают длительность ее перехода от неравновесного состояния к равновесному.

В общем случае отношение σ/ε между напряжением и деформаци-

Витебский государственный технологический университет

ей образца является функцией режима механического нагружения, т. е. скорости нарастания деформации или релаксации напряжения. Особенность деформирования резины состоит в том, что величина σ/ε зависит не только от режима нагружения, но и от абсолютных значений σ или ε. По этой причине графики зависимости $\sigma(\varepsilon)$ имеют вид S-образных кривых. Эта закономерность получила название «нелинейность механических свойств резины». Нелинейность свойств проявляется тем сильнее, чем больше σ или ε. Во время релаксации напряжения в образце отношение σ/ε называют *модулем релаксации,* в период нарастания деформации– *модулем ползучести.* У образца, находящегося в равновесном состоянии,σ/ε не зависит от времени и определяет равновесный модуль упругости резины. Зависимости$\sigma(\varepsilon)$определяются предысторией деформации образцов: после первого цикла деформирования резина становится более мягкой.

В инженерной практике часто пользуются показателями механических свойств резни при статическом нагружении. В качестве характеристик механических свойств резин используют:

- условную прочность при растяжении;
- относительное удлинение при разрыве;
- относительную остаточную деформацию после разрыва;
- твердость по Шору Н. и др.

Общие требования к проведению физико-механических испытаний резин приведены в ГОСТ 269–66.

В процессе эксплуатации резиновые изделия подвергаются различным видам старения (тепловое, световое, озонное, радиационное, вакуумное и др.), что снижает их работоспособность. Стойкость резин к старению зависит от ненасыщенности каучука, гибкости макромолекул, прочности химических связей в цепи, способности к ориентации и кристаллизации.

Прочность химических связей в макромолекулах и их структура определяют *термическую стойкость* резины. При повышенных температурах (+150 °С) органические резины теряют до 70–90 % прочности после нескольких часов нагревания, а резины на основе кремнийорганических каучуков (силоксановые резины) могут при этой температуре работать длительно. Прочность силоксановой резины при нормальной температуре ниже, чем у органических резин, а при T = +250...+300 °С она выше.

Под действием *атмосферных факторов* (свет, озон, влага) происходит растрескивание напряженных образцов резины на основе ненасыщенных каучуков. Стойки к озонному старению насыщенные каучуки (фторсодержащие, силоксановые, этилен-пропиленовые). Эти же резины наиболее светостойки, поскольку свет вызывает фотоокисление каучуков, которое зависит от наличия в них двойных связей. Озоно- и светостойкость резин повышаются при введении в вулканизат соответ-

Витебский государственный технологический университет

ствующих ингредиентов, а также в результате нанесения защитных покрытий на резиновые изделия.

Радиационная стойкость резин (стойкость к ионизирующему излучению) зависит от вида модифицирующих ингредиентов и наличия защитных добавок (антирадов). Наибольшую стойкость к радиационному старению демонстрируют полиуретановые резины, наименьшую – резины на основе структурирующихся каучуков –бутадиенового и бутадиен-нитрильного. Во фторсодержащих каучуках происходит сшивание линейных макромолекул, одновременно растут твердость и модуль упругости, а прочность снижается незначительно.

Важнейшими характеристиками резин в узлах трения являются *износостойкость* и *коэффициент трения.* Для резин, как и для других твердых материалов, различают усталостный, абразивный, коррозионно-механический и эрозионный виды изнашивания. Специфическим видом изнашивания резин является «скатывание», когда микронеровности на поверхности трения резинового образца деформируются, сворачиваются в «скатку» и отрываются от поверхности. Интенсивность и скорость изнашивания резин резко возрастают при температуре выше +150 °С. Однако при температуре +100 °С и умеренных контактных давлениях резина более износостойка, чем сталь, и из нее изготавливают покрытия канатов, желобов и даже рабочих органов машин, осуществляющих транспортировку горных пород.

Механизм механического изнашивания резин состоит в образовании раздиров или трещин на поверхности трения, когда сдвиговые напряжения в материале становятся равными пределу его прочности при растяжении. По этой причине резины характеризуются критическим значением сдвиговых напряжений, ниже которого наблюдается усталостное изнашивание, а выше – абразивное, или изнашивание скатыванием. Критическое сдвиговое напряжение зависит от коэффициента трения. Для большинства типов резин, работающих в парах трения с другими материалами, необходимо снижать коэффициент трения. С этой целью на поверхность резин наносят тонкие слои фторсодержащих смол или подвергают поверхностный слой бромированию или фторированию. Снижение коэффициента трения имеет также место при радиационном облучении резины. Использование этого явления позволило создать так называемые антифрикционные эластомеры («сверхскользкие резины»), применяемые в вакуумной технике и других областях машиностроения.

Вышеперечисленные и некоторые другие свойства резин оцениваются стандартизованными методами: морозостойкость резин (ГОСТ 13808–79), их термостойкость или сопротивление термическому старению (ГОСТ 9.024–74), стойкость при воздействии естественных климатических факторов (ГОСТ 9.066–76), озоностойкость (ГОСТ 9.026–74), биостойкость (ГОСТ 9.049–91), стойкость в жидких средах (ГОСТ

Витебский государственный технологический университет

0.030–74, ГОСТ 9.068–76 и ГОСТ 9.065–76), диэлектрические свойства (ГОСТ 6433.3–71). Определяют также пожароопасность и коррозионную агрессивность по методикам, общим для полимерных материалов.

Лекция 3.3 Натуральные и искусственные кожи

Натуральные кожи вырабатывают из шкур животных. В основном используются шкуры крупного рогатого скота, свиней, коз, овец, лошадей, реже шкуры диких кабанов, лосей, оленей, верблюдов. В кожевенном производстве в качестве сырья могут применяться шкуры некоторых видов рыб, например, семейства лососевых, шкуры пресмыкающихся (крокодилов, змей, ящериц, варанов), морских животных (китов, моржей, акул) и других экзотических животных. Однако в массовом производстве последние виды кож не применяются.

Шкура имеет сложное гистологическое строение, которое можно рассмотреть только под микроскопом. Для этого необходимо сделать ее тончайший вертикальный срез.

В шкуре животных различают волосяной покров *13*, эпидермис, дерму *4* и подкожно-жировой слой *6* (рисунок 3.1).Для кожевенного производства интерес представляет только дерма, так как остальные слои при производстве кожи удаляются.

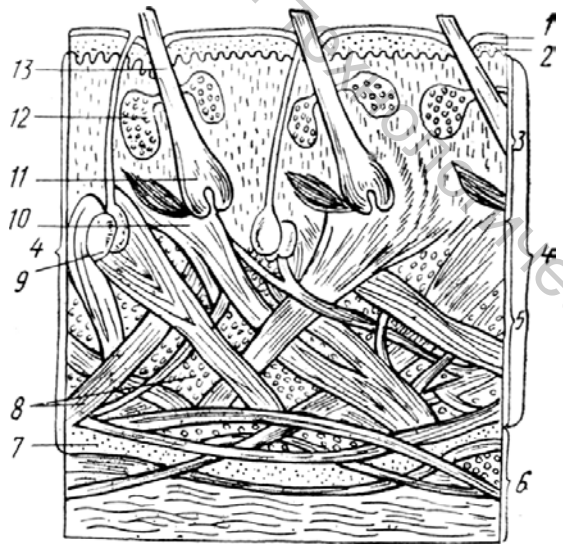


Рисунок 3.1 – Гистологическая структура шкуры

Эпидермис – поверхностный слой, состоящий из нескольких рядов клеток эпителия. В нем разделяют наружный (роговой *1*) и внутренний (ростковый *2*) слои. Толщина эпидермиса составляет 2–5 % толщины шкуры.

Волосяной покров шкуры представлен громадным количеством волос, состоящих из белков – кератинов. Волосы растут из волосяной

Витебский государственный технологический университет

сумки *11* – углубления в дерме, расположенного под углом к поверхности шкуры.

Нижняя поверхность эпидермиса имеет выступы и углубления, повторяя все неровности на поверхности дермы. После удаления в процессе выделки кожи эпидермиса и волосяного покрова эти неровности вместе с выходными отверстиями от волос образуют на поверхности дермы своеобразный рисунок. В готовой коже этот естественный рисунок лицевой поверхности называется *мереей.*

Дерма является основным слоем шкуры. Она образована переплетением белковых волокон – коллагеновых *8,* эластиновых и ретикулиновых. На долю коллагеновых волокон приходится 90 – 96 % от общего числа волокон, эластиновых 1–4,8% и ретикулиновых 1–3%.

Мельчайшим структурным образованием коллагеновых волокон является фибрилла (коллагеновое волоконце) диаметром до 0,1 мкм. Фибриллы объединяются в элементарные волокна, а элементарные волокна, в свою очередь, в пучки. Объединению более мелких структурных элементов в более крупные способствуют ретикулиновые волокна, которые представляют собой короткие и очень тонкие волокна. Они пронизывают всю толщу дермы, образуя на границе с эпидермисом густую плотную сетку.

Эластиновые волокна поддерживают шкуру животного в напряженном состоянии. Они соединяют мускулы с кожевой тканью и могут находиться в стенках крупных кровеносных сосудов. В отличие от коллагеновых эластиновые волокна не соединяются в пучки и характеризуются меньшей толщиной, большей прямизной и высокой эластичностью.

Характер переплетения пучков волокон зависит от вида животного, возраста, топографического участка шкуры и во многом определяет свойства шкуры и будущей кожи.

В дерме всех видов шкур животных, за исключением свиных, различают *сосочковый 3* (см. рисунок 3.1) и *сетчатый5слои.* Условной границей деления дермы на слои является обычно глубина залегания волосяных луковиц.

Сосочковый слой дермы содержит большое количество волосяных сумок, потовых *9* и сальных *12* желез, мускулов *10,* управляющих волосами. Толщина сосочкового слоя дермы зависит от вида и возраста животного, анатомического участка шкуры и составляет 25–50 % толщины дермы. Так, например, у шкур молодняка крупного рогатого скота толщина сосочкового слоя равна 35–40%. У взрослых животных она составляет 25–30% толщины дермы. В шкурах коз и овец – 40-70 %. Чем больше толщина сосочкового слоя, тем будущая кожа более мягкая.

Между сосочковым и сетчатым слоями находятся коллагеновые волокна с рыхлой упаковкой фибрилл. На поверхности волокон находится сеть тонких образований коллагена, называемых межструктурны-

Витебский государственный технологический университет

ми волоконцами. Связь между сосочковым и сетчатым слоями осуществляется волокнами, агрегатами волокон и межструктурными волоконцами. Эта переходная зона непрочная, поэтому дерма кож, выработанных, например, из овчины, может расслаиваться на сосочковый и сетчатый слои (в готовой коже это проявляется в виде дефекта, называемого «отдушистостью»).

Сетчатый слой состоит из более крупных, чем в сосочковом, равномерно переплетенных пучков коллагеновых волокон с преобладанием ромбовидной вязи, поэтому он является самым плотным и прочным и определяет прочность всей шкуры и кожи. Структура сетчатого слоя характеризуется углом наклона пучков к горизонтали, толщиной пучков, плотностью их укладки, регулярностью сплетения пучков волокон, степенью разделения на волокна и фибриллы, количеством и распределением жировых отложений *7*(см. рисунок 3.1*)*. Вертикальное расположение пучков волокон придает коже большую жесткость и сопротивление истиранию. Неплотное расположение волокон в пучке обеспечивает коже повышенную гибкость. Регулярный рисунок, образуемый сплетением пучков волокон, указывает на хорошее качество шкуры.

Подкожно-жировой слой находится под дермой и состоит из редко расположенных коллагеновых волокон и частично эластиновых. Между волокнами имеются жировые отложения. Этот слой удаляется в процессе производства кожи.

Качество кожевенного сырья и его строение зависят от породы скота, его возраста, а также от условий его содержания и кормления.

Кожи, выработанные из шкур крупного рогатого скота, отличаются плотностью, прочностью и водостойкостью. Шкуры молодняка крупного рогатого скота характеризуются большим сосочковым слоем дермы, чем шкуры взрослых животных.

Шкуры коз и овец содержат большое количество жира, в том числе и в дерме, что делает их рыхлыми и мягкими. Однако шкуры коз отличаются от шкур овец меньшей разрыхленностью сосочкового слоя и большим сетчатым слоем, меньшим содержанием волосяных сумок, сальных желез и жировых клеток. Шкуры коз по своему строению и свойствам относятся к ценным видам кожевенного сырья.

В сетчатом слое шкур овец коллагеновые пучки утоненные, а укладка их менее плотная, чем у других животных. Жировые включения часто залегают на границе сосочкового и сетчатого слоев. После удаления жира при выделке кожи связь между слоями ослабляется. Это придает невысокие качества получаемой кожи, которая имеет малую прочность, сильную тягучесть, высокую рыхлость.

Шкуры свиней отличаются повышенной толщиной и жесткостью. Вследствие глубокого залегания в шкуре щетины свиные кожи имеют сквозные поры, которые обусловливают их большую водопроницае-

Витебский государственный технологический университет

мость.

Структура дермы конских шкур плотная и прочная и близка к структуре шкур крупного рогатого скота соответствующих возрастов.

Особенностью шкуры является неоднородность толщины, микроструктуры и свойств на различных ее участках, называемых *топографическими.* Топографические участки одной и той же шкуры характеризуются разной пористостью, тягучестью, пределом прочности при растяжении, истираемостью, воздухо- и водопроницаемостью. Центральный участок шкуры, называемый чепраком, является самым ценным.

На кожевенных предприятиях шкуру с помощью специальных технологий превращают в кожу, из которой в дальнейшем изготавливают обувь, кожгалантерейные, швейные и другие изделия. Кожу для обуви и кожгалантерейных изделий производят в основном из шкур крупного рогатого скота, которая по возрастным категориям подразделяется на: опоек, выросток, полукожник, бычину, яловку и т.д.

Качество кож зависит не только от вида применяемого сырья, но и от технологического процесса производства. Процесс производства кожи включает три основных этапа: выделение из шкуры дермы и подготовки ее к процессу дубления, собственно дубление и отделка кожи. Дубление является основным процессом кожевенного производства. Заключается в проникновении дубящих веществ в дерму и их взаимодействие с молекулами коллагена с образованием поперечных связей.

Потребительская ценность кожи зависит от ее состава, строения и свойств.

Химический состав кожи различных видов неодинаков и в наибольшей мере зависит от способа обработки. Для оценки химического состава кожи определяют ее влажность, содержание золы, оксида хрома, вымываемых водой веществ, гольевого вещества, жира и т.д.

Физические свойства кожи характеризуются ее геометрическими параметрами, плотностью, пористостью, проницаемостью, поглощением и отдачей влаги, теплофизическими и другими показателями.

Из геометрических характеристик кожи важное значение имеет площадь кожи и ее толщина.

Одной из важнейших характеристик структуры кожи является ее *плотность*. Плотность кожи зависит от ее пористости. На пористость и плотность кожи влияют вид сырья, вид и количество дубящих, жирующих и наполняющих веществ, а также механические операции обработки кож, например, прессование. Тесную связь с плотностью кожи имеют такие важные ее свойства, как теплопроводность, воздухопроницаемость и др.

Кожа обладает высокой *гигроскопичностью*. Способность кожи пропускать воздух и пары воды определяется в основном микроклиматом внутри кожаной обуви и между изделием и телом человека при носке одежды. Поэтому *воздухопроницаемость* и еще в большей мере

Витебский государственный технологический университет

паропроницаемость имеют первостепенное значение для характеристики гигиенических свойств кожи, особенно для верха обуви.

Воздухопроницаемость зависит от толщины кожи, ее пористости, длины и радиуса капилляров. Из тонких шкур рыхлого строения обычно получается кожа с высокой воздухопроницаемостью. Операции, увеличивающие пористость кожи, повышают ее способность пропускать воздух и наоборот. Все виды покрывного крашения в той или иной мере снижают воздухопроницаемость, что связано с закупоркой пор кожи покрывными пленками. В наибольшей степени это относится к лаковым кожам.

Паропроницаемость нельзя отождествлять с ее воздухопроницаемостью. Для прохождения воздуха через кожу служат сквозные поры. Для прохождения же пара имеется и другой путь – диффузия по кожевому волокну. Двойственный механизм паропроницаемости хорошо объясняет такие явления, когда кожа, будучи совершенно непроницаемой для воздуха, может быть в достаточной степени паропроницаемой.

На паропроницаемость кожи существенно влияет вид покрытия, степень жирования и наполнения.

Способность кожи пропускать влагу характеризуется двумя показателями: *водопромокаемостью* и *водопроницаемостью.* Основное влияние на водопромокаемость и водопроницаемость оказывает способность материала и отдельных волокон смачиваться водой. Для смачиваемых материалов эти свойства зависят от структуры капиллярной системы и степени наполнения.

Помимо свойств проницаемости, качество кожи может быть оценено целым рядом сорбционных свойств: пароемкость, намокаемость, влагоемкость, водопромокаемость и водопроницаемость.

Намокаемостью и *влагоемкостью* называют способность кожи поглощать влагу при непосредственном контакте. Эта способность зависит от характера пористой структуры кожи, степени ее жирования, наполнения и прокатки в процессе производства.

Немаловажным свойством для кож является *влагоотдача*. Кожа с низкой влагоотдачей медленнее отдает впитанную при эксплуатации влагу во время последующей ее сушки.

Механические свойства характеризуются показателями прочности, удлинения материалов, их жесткости, упругости и другими. При изготовлении и эксплуатации изделий из кожи на детали могут воздействовать внешние механические усилия – растяжение, сжатие, изгиб и др. Эти усилия вызывают изменения размеров, структуры и свойства материалов. От особенностей поведения материалов при действии внешних сил зависят его формуемость, формоустойчивость, долговечность и другие свойства.

Натуральная кожа обладает комплексом упругопластических свойств, т.е. она характеризуется необратимой после растяжения де-

Витебский государственный технологический университет

формацией (пластической) и обратимой (упругой). Упругопластические свойства кожи формируются под влиянием многих сырьевых, технологических и других факторов.

Прочность кожи при растяжении принято оценивать показателем «предел прочности при растяжении».

Предел прочности при растяжении нормируется стандартами на все виды кож и служит важнейшим показателем ее механических свойств. Резкое снижение прочности кожи на разрыв свидетельствует об ослаблении или даже разрушении ее волокнистой структуры, причиной чего может быть недоброкачественное сырье либо нарушение технологических режимов выработки кожи.

Величина предела прочности зависит от исходного сырья, вида дубления, последубильных и отделочных операций. Предел прочности кожи при растяжении зависит от прочности волокон, их расположения и возможности ориентации в направлении приложенной нагрузки. Например, кожи, волокна которых расположены под большим углом к горизонтальной поверхности, обладают меньшим пределом прочности при растяжении, чем кожи, имеющие при прочих равных условиях горизонтальное или близкое к нему расположение волокон. На предел прочности при растяжении влияет также компактность укладки пучков волокон: чем она больше, тем меньше предел прочности кожи при растяжении.

Кожи хромового дубления обычно имеют более высокий предел прочности, чем кожи хромтаннидного дубления.

Увлажнение и жирование ведут к повышению предела прочности.

Предел прочности при растяжении кожи в различных направлениях и на разных участках неодинаков.

При испытаниях кожи на растяжение определяют также *жесткость* и *модуль упругости*. Особенно важны эти показатели при оценке кож для низа обуви, так как гибкость (изгибная жесткость) обуви является одним из важнейших показателей ее качества.

При производстве и эксплуатации изделий из кожи некоторые детали подвергаются *сжатию* и *изгибу*. Следует отметить, что кожа значительно лучше сопротивляется сжатию, чем растяжению. Так, сопротивление кожи сжатию в 5–10 раз больше сопротивления растяжению.

Одним из наиболее важных показателей, характеризующих возможность длительной эксплуатации обуви, является *сопротивление* материалов *многократному изгибу*.

Сопротивление истиранию является важным эксплуатационным показателем, позволяющим судить об износостойкости подошвенной кожи. При соприкосновении подошвы обуви с опорой возникают силы трения, приводящие к разрушению поверхностного слоя материала. Степень износа материала зависит от его свойств и материала истирающей поверхности, прилагаемого давления, скорости движения и т. д.

Витебский государственный технологический университет

Сильно влияют на степень износа твердость, пористость материала, угол наклона пучков волокон, влажность и вид сырья, метод дубления. Наиболее устойчивы к истиранию подошвенные кожи из шкур крупного рогатого скота. Наибольшим сопротивлением обладают кожи комбинированных способов дубления.

Оценка качества кож осуществляется по показателям химических и физико-механических свойств, регламентированным в ТНПА.

Ассортимент кож достаточно широк. Их классифицируют по видам используемого сырья, методам дубления, способу и характеру отделки лицевой поверхности, конфигурации, толщине, размерам, цвету, видам и др.

Основную группу составляют кожи хромового дубления, для которых используют практически все виды кожевенного сырья.

По способу и характеру отделки лицевой поверхности их подразделяют:

- с естественной нешлифованной лицевой поверхностью (гладкие, тисненые, с рельефным рисунком);
- с естественной подшлифованной лицевой поверхностью (гладкие, тисненые, с рельефным рисунком, нубук);
- с естественной шлифованной лицевой поверхностью (гладкие, тисненые, с рельефным рисунком, велюр, замша);
- с искусственно образованной лицевой поверхностью (облагороженные кожи).

Велюр и замша имеют ворсовую поверхностью, которую получают путем шлифования (велюр может быть и со шлифованной бахтармяной стороной). Велюр вырабатывают из шкур крупного рогатого скота, свиных шкур и кожевенного спилка (спилок получают при двоении шкур крупного рогатого скота повышенных развесов и свиных шкур). Замшу получают из шкур северных оленей, молодняка крупного рогатого скота и жировым методом дубления.

Нубук – кожа с очень низким, едва различимым ворсом. Получена подшлифовкой лицевой поверхности, для чего используются шлифовальные полотна мелкой зернистости.

Особый интерес представляют *эластичные кожи*, объемы выпуска которых в настоящее время растут. Их вырабатывают из шкур крупного рогатого скота, коз, а также свиных шкур. Эти кожи отличаются от обычных большей мягкостью, растяжимостью и меньшей толщиной.

Особо тонкие кожи повышенной эластичности, выработанные из шкур крупного рогатого скота, называются в современном кожевенном производстве кожами «*наппа*», а лакированная наппа – «*напплак*».

Хромовый опоек принадлежит к наиболее ценным видам хромовой кожи. Он обладает шелковистой, гладкой и мягкой лицевой поверхностью; он эластичен и в то же время плотен и прочен.

Хромовый выросток и полукожник, яловка, бычина, бугай пред-

Витебский государственный технологический университет

ставляют собой кожи, выделанные из шкур крупного рогатого скота большего возраста. Отличие этих видов кож от хромового опойка заключается в последовательном уменьшении мягкости кожи, шелковитости и гладкости лицевой поверхности при одновременном увеличении площади и толщины кожи.

Свиные кожи характеризуются грубой некрасивой мереей, многочисленными лицевыми повреждениями (от укусов, кожных заболеваний), щетиной и сквозными отверстиями после ее удаления, высоким содержанием жира (до 18%), расположенным в основном в бахтарме, рыхлостью периферийных участков, особенно пол, плотностью и жесткостью центрального участка, высокой водопроницаемостью, пониженным пределом прочности. Вырабатывают кожи тиснеными или с облагороженным лицевым слоем.

Шевро и козлину получают из шкур коз и козлов различных пород. Шкуры площадью до 60 дм^2 называют *шевро,* а более крупные – *козлиной.* Шевро – это наиболее тонкая, высококачественная кожа с красивой мелкой мереей. Козлина по толщине приближается к хромовому опойку. Она толще шевро, грубее, жестче, с более крупными элементами мереи, напоминающими «чешуйки». Механические свойства шевро и хромовой козлины более низкие, чем хромовых крупного рогатого скота.

Шеврет вырабатывается из шкур овец и баранов, по структуре дермы отличается как от хромового опойка, так и от шевро и хромовой козлины. Шеврет менее прочная, чем шевро, и более мягкая, рыхлая, тягучая кожа.

Лаковая кожа представляет собой кожу, отделанную нанесением на лицевую поверхность полимерной композиции на основе полиуретановых смол.

Искусственной кожей называют полимерный материал промышленного производства, применяемый вместо натуральной кожи для изготовления обуви, одежды, головных уборов, галантерейных и некоторых технических изделий.

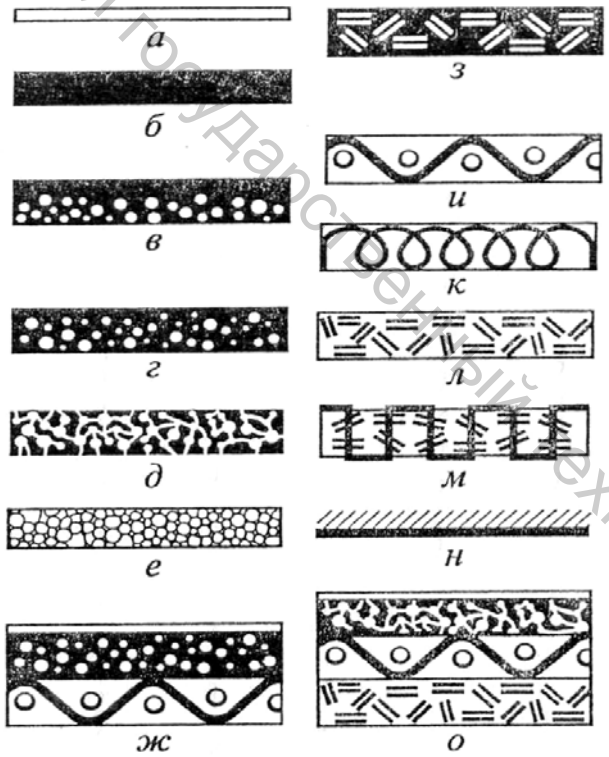
Мягкие искусственные кожи можно разделить по строению на два вида: многослойные и однослойные. Многослойные искусственные кожи состоят из волокнистой основы и полимерного покрытия. Наиболее часто многослойные искусственные кожи состоят из 2-х – 4-х слоев материалов. Однослойные искусственные кожи состоят из одного слоя. Как правило, это либо полимер с добавками волокон, либо текстильное полотно, пропитанное полимером. К однослойным искусственным кожам относятся пленки.

Строение мягких искусственных кож весьма разнообразно и зависит от того, из каких материалов они состоят. Полимерные пленки и покрытия искусственных кож могут иметь монолитное, монолитно-пористое и пористое строение с открытыми и замкнутыми порами. Со-

Витебский государственный технологический университет

четание полимерных покрытий различных типов и основ разных видов позволяет изготавливать однослойные и многослойные искусственные кожи с разным строением (рисунок 3.2).

Строение однослойных искусственных кож обусловлено тем, что составляет основу искусственной кожи – пленочный материал или текстильное полотно. Если основой является пленочный материал, то характеристиками строения являются химический состав и строение пленочного материала – монолитное, монолитно-наполненное, пористое, пористо-монолитное. Наполнителями могут быть коллагеновое, целлюлозные (хлопковые и вискозные) и другие натуральные и химические волокна, а также другие материалы.



а – отделочный слой; *б* – монолитный слой; *в* – монолитно-пористый слой; *г* – пористый слой с замкнутыми порами; *д* – пористый слой с сообщающимися порами; *е* – вспененный слой; *ж*– двухслойная искусственная кожа; *з* – монолитно-наполненный слой; *и* – ткань; *к* – трикотаж; *л* – нетканые иглопробивные полотна; *м* – нетканые вязально-прошивные полотна; *н* – ворсовое покрытие; *о* – трехслойная искусственная кожа

Рисунок 3.2 – Поперечные срезы полимерных покрытий, текстильных основ и мягких искусственных кож

Если в качестве основы выступает текстильное полотно, характеристиками строения являются показатели свойств соответствующего текстильного полотна (ткани, трикотажа, нетканого), а также тип и число склеек.

Для многослойных мягких искусственных кож, состоящих из полимерного покрытия и текстильной основы, характеристиками являются:

- строение полимерного покрытия – монолитное, монолитно-пористое, пористое. Для пористых полимерных покрытий важное значение имеют общая пористость, площадь удельной поверхности пор,

Витебский государственный технологический университет

размер пор, их конфигурация, а также структура пор – замкнутая или сообщающаяся;

- вид текстильной основы – ткань, трикотаж, нетканое полотно, комбинированная основа и основные характеристики их строения.

Физические свойства. Методы определения *ширины, толщины* и *поверхностной плотности* аналогичны методам, применяемым при анализе кож и тканей. Ширина искусственных кож в основном зависит от ширины основы, а также от размеров формующих элементов оборудования (ширины валков и плит прессов). Ширина искусственной кожи может иметь отклонения ± 1,5 см при ширине от 70 до 100 см, ± 2 см при ширине 100 – 150 см и ± 2,5 см при ширине свыше 150 см. Толщина и поверхностная плотность материалов зависит от тех же показателей основы и покрытия, а также от их назначения.

Паропроницаемость искусственных кож является одним из важнейших гигиенических свойств искусственных кож. В отличие от натуральной кожи, которая испытывается в изотермических условиях, паропроницаемость искусственных кож определяют на приборе с температурным перепадом.

Для одного и того же материала паропроницаемость при температурном перепаде на 40 – 60 % выше, чем в изотермических условиях. В зависимости от структуры искусственных кож паропроницаемость при температурном перепаде колеблется от 0 до 10 мг/(см^2 · ч). Наибольшую паропроницаемость имеют материалы с разветвленной системой пор и капилляров покрытия, позволяющей парам воды проникать от изнаночной стороны к лицевой. Установлено, что в покрытии наряду с капиллярами средних диаметров (4 – 7 мкм) должны быть и капилляры малых диаметров (0,2 – 0,4 мкм). Применяемые в настоящее время основы имеют высокую паропроницаемость, поэтому паропроницаемость искусственных кож целиком зависит от свойств покрытия.

Гигроскопичность, влагопоглощение и влагоотдача искусственных кож невелики, что связано с гидрофобностью большинства полимеров, применяемых для изготовления основ и покрытий, а также в ряде случаев со сквозным проклеиванием основ.

На показатели *воздухопроницаемости* влияют не только пористость материала и число сквозных пор в его структуре, но и размеры пор. Воздухопроницаемость искусственных и синтетических кож невелика.

Водопроницаемость в большинстве случаев является отрицательным свойством как для натуральных, так и для искусственных кож.

Термостойкость материала характеризуется температурой, при которой начинается его термический распад. Учитывая, что для образования покрытия большинства видов искусственных кож применяют термопластичные полимеры, необходимо обработку производить при температуре ниже температуры разложения полимера. Это особенно

Витебский государственный технологический университет

важно учитывать при тиснении, сварке, формовании, которые обычно выполняют при температурах плавления полимерного покрытия искусственной кожи. Во избежание понижения прочности и ухудшения внешнего вида кож указанные воздействия должны быть кратковременными.

Механические свойства

Разрывную нагрузку определяют по шкале нагрузок или по диаграмме растяжения и выражают в Н (кгс). Разрывная нагрузка искусственных кож для верха обуви составляет от 200 до 1200 Н, удлинение при разрыве – от 5 до 600 %.

Повышенная *жесткость* искусственных кож приводит к появлению трещин в местах сгибов деталей. Жесткость и упругость материалов зависят от жесткости и толщины их структурных элементов. Искусственные кожи на тканой и смешанной нетканой волокнистой основе с армирующей тканью обладают большей жесткостью по сравнению с натуральными кожами.

Устойчивость искусственных кож *к многократному изгибу* характеризуют числом изгибов до появления мелких трещин или других разрушений покрытия. Искусственные кожи, выдерживающие 700 тыс. изгибов на приборе МИРП без трещин, принято считать устойчивыми к многократному изгибу. Устойчивость к многократному изгибу искусственных кож зависит от жесткости, толщины и удлинений основы и покрытия.

Сопротивление истиранию искусственных кож зависит от толщины, жесткости и других свойств покрытия.

Импортные искусственные кожи нового поколения получают всё более широкое применение в обувной и кожгалантерейной промышленности. В таблице 3.1 представлены физико-механические показатели натуральных и искусственных кож, полученных нанесением тонкого слоя полиуретанового покрытия на ткань или нетканый материал. Испытания проведены в продольном (В) и поперечном (П) направлениях. В таблице 3.1 представлены следующие искусственные кожи: RUGAN (Турция), Metlack (Германия) и «Лак обувной» (Россия), представляющие собой двухслойный материал, состоящий из ткани с линейной плотностью нитей от 10 до 55 текс, содержащих смесь хлопковых и полиэфирных волокон, а также полиуретанового покрытия основы с отделочным слоем из полиуретанового лака; JAWA, ETNA (Турция), которые не имеют отделочной пленки, однако их тканевая основа пропитана раствором полиуретана; Бирюза 3763 (Германия), представляющая собой двухслойный материал на тканевой основе с полиуретановым покрытием, не имеющий отделочного лакового слоя; а также VECTRA, ASTRA и POLO (Турция), состоящих из нетканой иглопробивной основы из полиэфирных волокон и тонкого хлопкового начёса и покрытой гладкой полиуретановой плёнкой.

Витебский государственный технологический университет

Таблица 3.1 − Физико-механические показатели искусственных и натуральных кож

Артикул		Толщина h, мм	Поверхностная плотность, ρ_S, г/м^2	Прочность или разрывная нагрузка P^*, Н		Относительное удлинение при разрыве ε^*, %		Предел прочности σ^*, МПа		Коэффициент равномерности по ε^*, k_p	Относительное удлинение при 10 МПа, %		Условный модуль упругости $E_У$, МПа	
				В	П	В	П	В	П		В	П	В	П
НК	Nappa 2	1,08	328	221	282	48	42	12	15	0,88	42	31	23	34
	Nappa 3	1,38	453	381	308	65	48	14	11	0,74	51	42	20	24
	Русская кожа	1,45	524	442	451	62	48	15	16	0,77	43	31	24	32
ИК-НТ	1,6 ASTRA 001	1,55	667	335	421	30	27	11	14	0,90	26	21	37	51
	1,6 VECTRA 901	1,63	567	292	330	33	34	9	10	0,97	-	33	27	30
	1,3 POLO 901	1,38	600	281	313	39	30	10	11	0,77	38	26	26	37
ИК-Т с пропиткой основы	1,1 JAWA 001	1,10	516	376	327	22	26	17	15	0,85	13	19	77	57
	1,1 RUGAN MUSTANG 901	1,10	483	313	283	30	34	14	13	0,88	21	25	48	38
	1,1 ETNA 317	1,12	483	245	296	29	36	11	13	0,81	24	26	38	37
ИК-Т без пропитки основы	Бирюза 3763	1,15	567	411	438	17	39	18	19	0,43	9	25	104	47
	Metlack, бордо	1,05	467	293	397	20	34	14	19	0,59	14	20	70	56
	Лак обувной 140	1,04	566	296	321	18	38	14	15	0,47	12	28	78	41

Витебский государственный технологический университет

Сравнение проведено с такими натуральными кожами, как яловка эластичная Nappa 2 и Nappa 3 (Великобритания), яловка хромового метода дубления «Русская кожа».

Анализ полученных результатов, показывает, что все исследованные искусственные кожи удовлетворяют параметрам материалов, которые обычно используются для изготовления наружных деталей обуви.

В последнее время при производстве обувных и кожгалантерейных изделий применяют синтетическую кожу на волокнистой коллагеновой основе («кожу») получают из отходов кожевенного производства (обрезков кожи) в смеси с полиамидными, полиэфирными или полипропиленовыми волокнами. Кожевенные отходы переводят в ультратонкие волокна химическими или физико-механическими методами, после чего формуют холст, подвергают иглопробиванию и термоусадке. Нанесение покрытия возможно прямым или переносным способом. Отделывают синтетическую кожу аэрографом или сетчатым валиком, могут подвергать тиснению. Прессованные кожи стойки к истиранию, многократному изгибу, эластичны при низких температурах (до – 50 °С), устойчивы к действию растворителей и масел.

Лекция 3.4 Текстильные материалы

К текстильным материалам относят волокна, пряжу, нити, текстильные полотна (ткани, трикотаж, нетканые полотна), валяльно-войлочные и текстильно-галантерейные изделия, дублированные материалы.

Текстильные материалы широко применяют для изготовления одежды, обуви, мебельных товаров и др.

Текстильные волокна представляют собой протяженные, гибкие, прочные тела с малыми поперечными размерами, ограниченной длины, пригодные для изготовления текстильных материалов. Непосредственно из волокон изготовляют немногие текстильные изделия (некоторые нетканые материалы, вату и др.). Волокна, как правило, перерабатывают в пряжу, из которой в дальнейшем вырабатывают текстильные полотна и изделия.

Текстильные волокна бывают элементарными и комплексными. *Элементарное волокно* – это волокно, не делящееся в продольном направлении на составляющие без разрушения (хлопок, шерсть, вискозное, ацетатное, капрон). *Комплексные* (технические) *волокна* состоят из нескольких элементарных волокон, расположенных параллельно и соединенных склеиванием (лен, пенька, джут) или силами кристаллизации (асбест).

Текстильные волокна делятся на два класса: натуральные и химические (рисунок 3.3).

Натуральные волокна получаются в природе в готовом виде без

Витебский государственный технологический университет

непосредственного участия человека (хлопок, шерсть, лен, пенька и др.) *Химические волокна* – это волокна, изготовленные заводским путем в результате переработки природных или синтетических высокомолекулярных соединений (вискозное, ацетатное, капрон, лавсан и др.).

Выделяют два подкласса натуральных волокон – органического и неорганического состава. Волокна органического состава делятся на две группы: волокна растительного и животного происхождения.

Растительные волокна получают из различных частей растения. Наиболее часто используемыми в текстильной отрасли являются волокна хлопка и льна.

Хлопковое волокно обладает многими положительными свойствами. Прежде всего, оно имеет высокую гигроскопичность, поэтому хлопчатобумажные ткани и изделия из них обладают хорошими гигиеническими свойствами. Волокна достаточно прочные. Отличительной особенностью хлопкового волокна является повышенная прочность на разрыв в мокром состоянии. Хлопок имеет относительно высокую термостойкость. По светостойкости превосходит вискозное волокно и натуральный шелк, но уступает лубяным (лен, джут, пенька и др.) и шерстяным волокнам. Однако хлопковое волокно имеет высокую сминаемость и большую усадку.

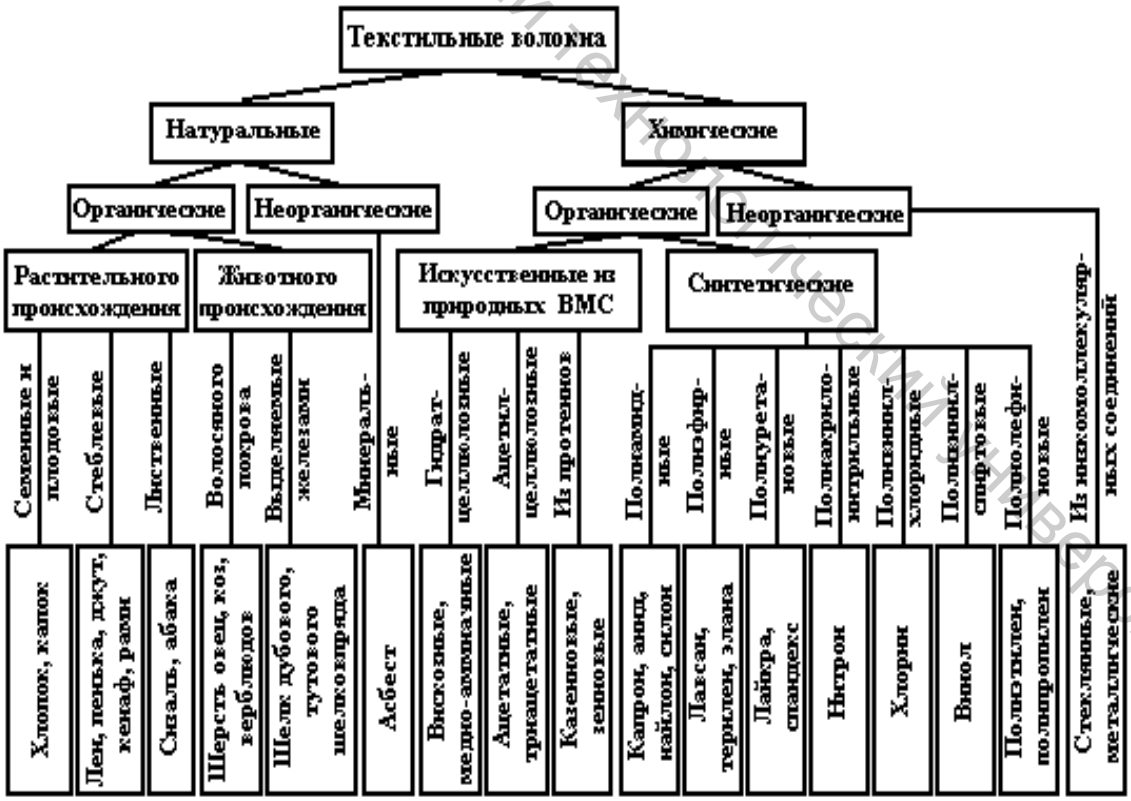


Рисунок 3.3 – Классификация текстильных волокон

Витебский государственный технологический университет

Льняное волокно уникально тем, что при высокой гигроскопичности оно быстрее других текстильных волокон поглощает и выделяет влагу; прочнее, чем хлопковое. Изделия из льна меньше загрязняются и легче отстирываются. Однако льняное волокно сильно сминается, трудно отбеливается и окрашивается.

Волокна животного происхождения получают из волокнистого покрова животных. Они также являются продуктом выработки желез насекомых. К первой подгруппе относится овечья, козья, верблюжья шерсти и др., ко второй – волокна, получаемые благодаря жизнедеятельности гусениц тутового и дубового шелкопрядов.

Шерсть обладает такими ценными качествами, как низкая теплопроводность, большая влагопоглощаемость, свойлачиваемость. Свойлачиваемость – это способность шерсти в процессе валки образовывать войлокообразный застил. Это свойство объясняется наличием на поверхности шерсти чешуек, препятствующих перемещению волокна в направлении, обратном расположению чешуек. Наибольшей способностью свойлачиваться обладает тонкая, упругая, сильно извитая шерсть.

Шерсть при нормальных условиях поглощает 13–16% влаги от своей массы, т.е. обладает наибольшей гигроскопичностью. Она медленно впитывает влагу и медленно отдаёт её в окружающую среду. Под действием тепла и влаги волокно приобретает способность удлиняться до 60% .

Низкая теплопроводность шерсти является ценным свойством при производстве зимней одежды. Долгое время считали, что это связано с невысокой теплопроводностью кератина. Последние исследования показали, что данное свойство в основном зависит от наличия в шерстяном волокне множества воздушных полостей, которые медленно нагреваются и медленно отдают тепло.

Стойкость к светопогоде у шерсти значительно выше, чем у хлопка и льна.

Шелком называют нити, являющиеся продуктом выделения особых, так называемых шелкоотделительных желез гусениц шелкопрядов перед превращением их в куколки. Шелк легко окрашивается, обладает приятным, умеренным блеском. Под действием прямых солнечных лучей шёлк разрушается быстрее, чем все прочие натуральные волокна.

К подклассу волокон неорганического (минерального) состава относятся асбестовые волокна, получаемые из горных пород.

Химические волокна бывают двух подклассов: органического и неорганического состава. Органические волокна делятся на две группы: искусственные и синтетические. *Искусственные волокна* получаются в результате переработки природных высокомолекулярных соединений, например из целлюлозы, из белков. К искусственным волокнам относятся: вискозное, ацетатное, триацетатное, медно-аммиачное и некоторые другие. *Синтетические волокна* вырабатываются из синтетических

Витебский государственный технологический университет

высокомолекулярных соединений, которые предварительно получают путем синтеза из природных низкомолекулярных соединений с помощью реакций полимеризации или поликонденсации. Основным сырьем для их производства являются продукты переработки нефти и каменного угля. Это наиболее многочисленный класс волокон. К синтетическим волокнам относятся капрон, лавсан, нитрон, хлорин, винол, полиэтилен, полипропилен и др.

Производство синтетических волокон развивается более быстрыми темпами, чем производство искусственных волокон. Это объясняется доступностью исходного сырья и разнообразием свойств исходных синтетических полимеров, что позволяет получать синтетические волокна с различными свойствами, в то время как возможности варьировать свойства искусственных волокон очень ограничены, поскольку их формуют практически из одного полимера (целлюлозы или ее производных).

Следует отметить, что по гигиеническим свойствам все синтетические волокна уступают натуральным. Из искусственных следует выделить вискозное волокно, отличающееся высокой гигроскопичностью. Поэтому изделия из них хорошо впитывают влагу и являются гигиеничными.

Подкласс химических волокон неорганического происхождения включает силикатные и металлические волокна. Силикатные волокна получают из стекла (стеклянные волокна), металлические – из различных металлов и их сплавов (золотые, серебряные, латунные, медные, алюминиевые и другие волокна).

Высокие темпы развития производства химических волокон объясняются следующими технико-экономическими факторами:

1. Доступность и дешевизна исходного сырья.

2. Непрерывность снижения материальных и трудовых затрат на производство химических волокон.

3. Постоянное улучшение физико-механических свойств волокон и нитей, обеспечивающее расширение областей их применения в народном хозяйстве.

4. Возможность получения волокон с заранее заданными свойствами.

5. Химические волокна обладают разнообразными, в ряде случаев уникальными, свойствами.

6. Независимость производства химических волокон от климатических условий.

Несмотря на различие химического состава и отдельных процессов получения различных химических волокон и нитей, в их производстве много общего. Это позволяет выделять следующие этапы в производстве любого химического волокна: получение исходного полимера и его предварительная обработка, приготовление прядильного раствора

Витебский государственный технологический университет

или расплава, формование волокон и нитей, их вытягивание и термофиксация, отделка, подготовка к текстильной переработке.

Предварительная обработка сырья состоит в его очистке и иногда в химическом превращении в новые полимерные материалы, чтобы затем их можно было растворить в доступных растворителях.

При изготовлении химических волокон и нитей необходимо из твердого исходного полимера получить длинные и тонкие нити с продольной ориентацией макромолекул. Для этого необходимо перевести полимер в жидкое состояние или расплавить.

Процесс формования волокон и нитей заключается в дозированном продавливании раствора или расплава через отверстия фильеры, затвердевании вытекающих струек и наматывании полученных нитей на приемные устройства.

При вытягивании происходит распрямление макромолекул и ориентация их агрегатов в осевом направлении волокна, т.е. образуется более упорядоченная структура. Последующую термообработку проводят с целью релаксации внутренних напряжений.

Целью отделки является удаление примесей, оставшихся после формования на поверхности нитей и придания им некоторых свойств, например, мягкости, меньшей электризуемости, снижение усадки и т.д.

Этап подготовки волокон к текстильной переработке включает скручивание, вытягивание, термофиксацию крутки, отбеливание, крашение, перемотку, сортировку, маркировку.

Для выработки текстильных материалов текстильные волокна перерабатывают в текстильные нити.

Текстильная нить принципиально отличается от волокна только неограниченной длиной. Различают элементарную и комплексную нити. *Элементарная нить* – это элементарное волокно неограниченной длины. Если элементарная нить непосредственно используется для производства изделий, то она часто называется мононитью. Чаще используется *комплексная нить*, т.е. нить, состоящая из определенного количества элементарных нитей, расположенных параллельно и соединенных склеиванием (натуральный шелк) или скручиванием (все химические нити).

Комплексные нити широко используются в текстильной и трикотажной промышленности. Другим широко известным видом нитей является пряжа. *Пряжа* – нить, состоящая из волокон, расположенных ориентированно вдоль оси и соединенных скручиванием (хлопчатобумажная пряжа, льняная пряжа, шерстяная пряжа, лавсановая пряжа и т.д.). В пряже связь между отдельными волокнами осуществляется за счет сил трения.

В зависимости от свойств волокна, назначения и качественных показателей пряжи существуют различные способы или системы прядения текстильных волокон – гребенная, кардная, аппаратная.

Витебский государственный технологический университет

Кручеными называются нити, состоящие из двух или более первичных нитей (пряжи, комплексных нитей), расположенных параллельно и соединенных скручиванием (крученая пряжа, крученая комплексная нить, крученая комбинированная нить, т.е. нить, состоящая из разных составляющих). *Армированная нить* – это разновидность крученой нити, она состоит из сердечника, обвитого по всей длине другой нитью или волокнами.

Текстурированными нитями называют химические нити, структура которых изменена для создания большего объема и растяжимости. *Фасонная* нить – это нить, имеющая по всей длине повторяющиеся изменения цвета, структуры. Фасонная нить состоит из стержневой и нагонной составляющей, которая образует на поверхности нити спирали, узелки различной формы и протяженности, петли.

К основным показателям свойств текстильных нитей (пряжи) относятся линейная плотность, разрывное удлинение и разрывное усилие, крутка, направление крутки, число сложений в нити.

Линейная плотность характеризует массу (измеряется в г или кг) единицы длины нитей (соответственно 1м или 1км). Международной единицей измерения линейной плотности является «текс».

Крутка характеризуется числом кручений, приходящихся на 1 м длины нити. От крутки зависят пористость, жесткость, прочность нити, которые, в свою очередь, влияют на гигиенические свойства (паро-, воздухопроницаемость, теплопроводность и др.), а также устойчивость к истиранию, разрывную нагрузку, сминаемость и др.

Ткани вырабатывают из пряжи и нитей различных видов путем переплетения их в двух взаимно перпендикулярных направлениях на ткацких станках. Нити, располагаемые вдоль ткани, называются *основой*, а нити, располагаемые поперек ткани, – *утком*.

Производство тканей состоит из трех основных этапов: подготовительного, ткачества и отделки. На подготовительном этапе нити основы и утка готовят к выработке ткани на ткацком станке.

Ткачеству принадлежит основная роль в формировании структуры ткани, которая оказывает большое влияние на многие ее потребительские свойства.

Под отделкой понимают комплекс химических и физико-химических воздействий на ткань для улучшения ее потребительских свойств. Особое влияние отделка оказывает на эстетические свойства.

Все ткани классифицируют по виду волокна, назначению, способу выработки, отделки и расцветке.

По виду волокна ткани делятся на однородные, неоднородные и смешанные.

К однородным тканям относятся такие, которые выработаны из одного вида пряжи или нитей. К ним относятся хлопчатобумажные, льняные, шерстяные, шелковые ткани, а также ткани, выработанные из

Витебский государственный технологический университет

синтетических и искусственных нитей, которые часто называют искусственными шелковыми тканями.

Неоднородные ткани состоят из разных нитей. Например, ткань, которая содержит вискозную пряжу в основе, а хлопковые волокна – в утке.

Смешанные ткани вырабатывают из пряжи, полученной из смеси шерстяных и хлопковых или шерстяных и химических штапельных волокон.

Если состав волокон смешанный, то название ткани устанавливают по названию наиболее ценного компонента с прибавлением «полу». Все ткани по составу волокна делятся на хлопчатобумажные и смешанные, чистольняные, льняные, полульняные, чистошерстяные и полушерстяные, шелковые.

Ткани классифицируют по способу выработки, отделки и расцветке. По способу отделки различают ткани суровые, отбеленные, гладкокрашеные (окрашенные в один цвет), набивные (с печатным рисунком).

К основным характеристикам строения ткани относятся: линейная плотность по основе и утку, вид переплетения, поверхностная плотность ткани, заполнения (линейное, поверхностное, объёмное, по массе), пористость, фазы строения, опорная поверхность, фактурой и др.

Плотность ткани по основе (По) и по утку (Пу) определяется количеством нитей основы или утка, расположенных на 100 мм ткани. Плотность различных тканей колеблется в значительных пределах – от 50 для грубых льняных тканей, до 1100 и более – для тканей из натурального шёлка. Плотность большинства тканей находится в пределах от 100 до 500.

Поверхностная плотность характеризует массу 1м^2 ткани и зависит от назначения ткани.

Линейное заполнение определяется как отношение фактического числа нитей основы или утка, расположенных на определенной длине, к максимально возможному числу нитей того же диаметра, которые теоретически могут быть расположены без промежутков, сдвигов и смятий на аналогичной длине.

Поверхностное заполнение характеризуется отношением площади ткани, заполненной проекциями нитей основы и утка, ко всей площади ткани.

Объемное заполнение показывает, какую часть объема ткани составляет объем нитей основы и утка.

Заполнение по массе определяется отношением массы нитей к массе, которую мог бы иметь материал при условии полного заполнения его объема веществом волокна.

Пористость характеризует долю всех пор, расположенных между нитями, внутри нитей и волокон.

Переплетением нитей в ткани называется порядок взаимного пе-

Витебский государственный технологический университет

рекрытия нитей основы нитями утка. В зависимости от переплетения изменяется внешний вид и свойства ткани. Графическое изображение переплетения нитей в ткани называется рисунком переплетения. Места перекрещивания основных нитей с уточными называются перекрытиями. Если в месте перекрещивания основная нить находится над уточной, то перекрытие называется основным, если уточная – уточным. На рисунке 3.4дано изображение одного из простейших видов переплетений – полотняного.

Наименьшее число нитей, образующих законченный повторяющийся рисунок, называется *раппортом переплетения*. Различают раппорт переплетения по основе (R_o) и утку (R_y).

При выработке тканей используют разнообразные переплетения. От вида переплетения зависят характер и рисунок лицевой поверхности ткани, наличие блеска, продольных и поперечных полос. Вид переплетения влияет на прочность ткани, её растяжимость, толщину, жёсткость, осыпаемость, усадку, способность сутюживаться и оттягиваться в процессе влажно-тепловой обработки и на другие свойства.

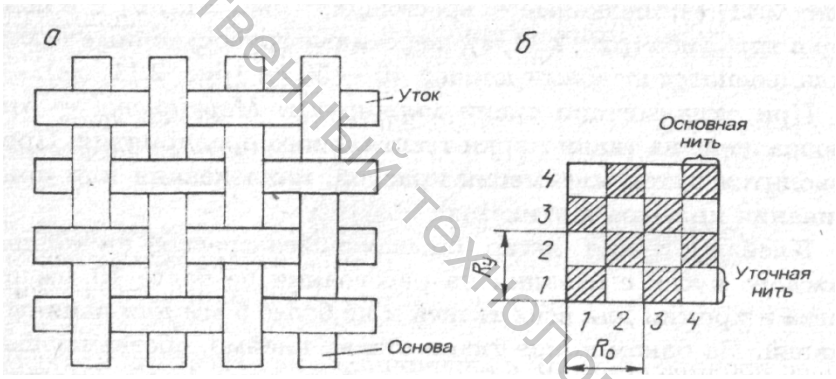


Рисунок 3.4 – Изображение полотняного переплетения:
а – образец ткани, б – изображение переплетения на рисунке

Все переплетения подразделяются на следующие классы: главные (простые); мелкоузорчатые, включающие производные от главных и комбинированные; сложные; крупноузорчатые (жаккардовые).

К классу *главных переплетений* относятся полотняное, саржевое и сатиновое (атласное). Для главных переплетений Ro=Ry.

Полотняное переплетение – наиболее распространённое из всех ткацких переплетений. В этом переплетении основные нити наиболее часто (через одну) перекрываются уточными нитями, поэтому ткани полотняного переплетения наиболее прочны. Лицевая и изнаночная стороны ткани полотняного переплетения имеют одно и то же строение и одинаковый внешний вид.

В саржевом переплетении основные и уточные перекрытия располагаются со сдвигом в одну сторону на одну нить. В результате на ткани

Витебский государственный технологический университет

образуются косые полоски, идущие под углом, величина которого зависит от соотношения плотностей нитей в ткани по основе и утку. Саржевым переплетением вырабатываются более плотные, толстые и тяжёлые ткани, по сравнению с полотняным переплетением. Такие ткани несколько уступают по прочности, но имеют более гладкую поверхность и меньший коэффициент трения, поэтому их часто используют в качестве подкладки. Ткани саржевого переплетения отличаются от тканей полотняного переплетения большей мягкостью, эластичностью, драпируемостью и растяжимостью, особенно по диагонали.

Сатиновое и атласное переплетения отличаются от полотняного и саржевого переплетений более гладкой и ровной поверхностью, повышенным блеском, мягкостью и эластичностью. Ткани сатинового переплетения характеризуются повышенной плотностью по утку, атласные – по основе. К недостаткам этих переплетений относится то, что они сообщают тканям, особенно шёлковым, некоторую осыпаемость и скольжение.

Класс *мелкоузорчатых переплетений* делится на два подкласса: производные переплетения, полученные за счёт видоизменения главных переплетений, и комбинированные, полученные путём комбинации главных переплетений и производных от них. Особенностью этих переплетений является наличие на поверхности тканей узоров различных форм и характера.

Сложные переплетения образуются из трёх и более систем нитей. Этими переплетениями вырабатывают наиболее толстые, плотные и тяжёлые ткани.

Крупноузорчатые переплетения могут иметь величину раппорта от нескольких десятков до нескольких тысяч нитей. Крупноузорчатыми переплетениями вырабатывают ассортимент костюмно-плательных тканей, мебельно-декоративных тканей и штучных изделий, основные и уточные гобелены, ворсовые полотна и ковровые изделия.

Вид поверхности ткани зависит от *фаз строения.* Фаза строения ткани характеризует взаимную изогнутость нитей основы относительно нитей утка.

Значение разделения тканей на фазы строения огромно, т.к. в зависимости от фаз строения у ткани образуется соответствующая *опорная поверхность,* т.е. поверхность, которой ткань касается плоскости; величина опорной поверхности в свою очередь влияет на интенсивность износа.

Под *фактурой* ткани понимают структуру ее поверхности, которая может быть гладкой, рельефной и ворсовой. Различную фактуру получают применением пряжи разного способа прядения, изменением крутки нитей и пряжи, вида переплетения и отделки.

Трикотаж – это вязаный текстильный материал, получаемый из одной нити или системы нитей путем образования петель и их взаимно-

Витебский государственный технологический университет

го переплетения на трикотажно-вязальных машинах.

Элементом структуры трикотажа является петля. Она представляет собой пространственную кривую, от длины и формы которой зависят важнейшие свойства трикотажа. Отдельные участки петли имеют свои названия (рисунок 3.5). Участок 2–3 называется игольной дугой, участки 1–2 и 3–4 петельными палочками, 4–5 – платиновой дугой или протяжкой. Часто игольную дугу вместе с петельными палочками называют остовом петли.

Различают петли открытые и закрытые. В открытых петлях контур остова не замыкается протяжкой (рисунок 3 5 а), а в закрытых – протяжка замыкает его (рисунок 3.5 б). Петли, расположенные по горизонтали, образуют петельные ряды, а петли, расположенные по вертикали, – петельные столбики.

По способу образования петельного ряда различают трикотаж *поперечновязаный* (или кулирный) и *основовязаный* (рисунок 3.6). В поперечновязаном трикотаже все петли одного петельного ряда образованы из одной нити. В основовязаном трикотаже каждая петля петельного ряда образована из отдельной нити. Для получения петельного ряда требуется столько нитей, сколько петель в ряду.

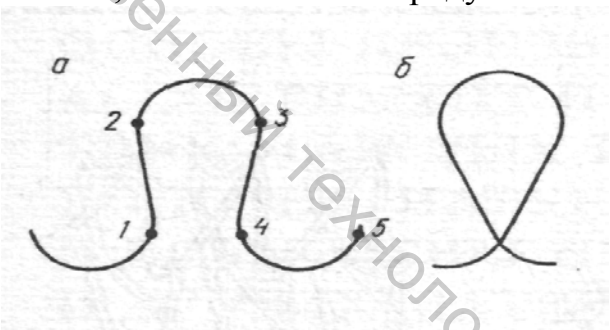


Рисунок 3.5 – Вид петель:
а – открытая; б – закрытая

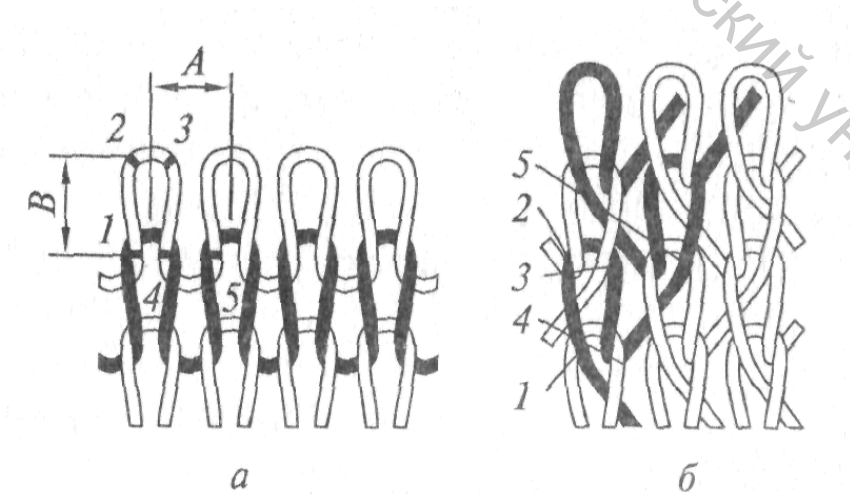


Рисунок 3.6 – Строение поперечновязаного (а) и основовязаного (б) трикотажа

Витебский государственный технологический университет

Лицевой стороной трикотажа считается та, на которой выступают палочки петель и закрывают дуги, а изнаночной – та, на которую выходят дуги, перекрывая палочки. Различают трикотаж двух видов: одинарный и двойной. Одинарный трикотаж вырабатывают на машинах с одной игольницей, двойной – на машинах с двумя игольницами.

Трикотаж вырабатывают из пряжи разнообразных видов и химических нитей. К этим нитям предъявляются повышенные требования в отношении равномерности по толщине, прочности, растяжимости, чистоте и равновесности по крутке. Неравномерная пряжа по тонине вызывает «зебристость» – характерную полосатость трикотажа. Недостаточная прочность и растяжимость приводят к обрывности пряжи в петлеобразующих системах. Повышенная крутка ведет к увеличению жесткости, поломке игл из-за образования сукрутин и изменению размеров петель, перекосам трикотажного полотна. В то же время пряжа с пологой круткой менее прочная и ровная, более ворсистая.

Трикотажные переплетения – это определенный порядок расположения и соединения петель в полотне.

Способ образования полотна определяет и свойства трикотажа. Так, поперечновязаным полотнам свойственны высокая растяжимость и эластичность, хорошая распускаемость, упругость. Таким полотнам отдаётся предпочтение при изготовлении верхних, бельевых, чулочно-носочных изделий.

Основовязаные полотна менее эластичны, практически не распускаются. Поэтому их не применяют в изделиях, которые должны хорошо облегать фигуру (спортивные, чулочно-носочные) и быть упругими. *Главные переплетения* представляют собой простейшие переплетения, состоящие из одинаковых петель. К ним относятся: поперечновязаные – гладь, ластик, изнаночное переплетения; основовязаные – цепочка, трико и атлас.

Гладь (рисунок. 3.7 а) – одинарное кулирное переплетение с различным характером лицевой и изнаночной сторон. Гладкая лицевая сторона образована петельными палочками, изнаночная шероховатая сторона состоит из игольных дуг и протяжек. Трикотаж, выработанный этим переплетением, отличается большой растяжимостью, распускаемостью и закручиваемостью по краям.

Ластик (рисунок 3.7 б) – двойное поперечновязаное переплетение, в каждом ряду которого чередуются лицевые и изнаночные петли. По сравнению с гладью ластик характеризуется большей растяжимостью и эластичностью, повышенной толщиной, он не закручивается по краям, меньше распускается. Ластик широко применяют для изготовления бельевых, верхних, чулочно-носочных и перчаточных изделий.

В изнаночном переплетении (рисунок 3.7 в) на лицевой и изнаночной сторонах чередуются ряды лицевых и изнаночных петель. Обе стороны полотна похожи на изнаночную сторону глади. Переплетение

Витебский государственный технологический университет

так же хорошо распускается, как и гладь, но не закручивается по краям. Полотна, выработанные изнаночным переплетением, одинаково хорошо растяжимы по длине и ширине; применяют его в основном при изготовлении головных платков и верхнего трикотажа.

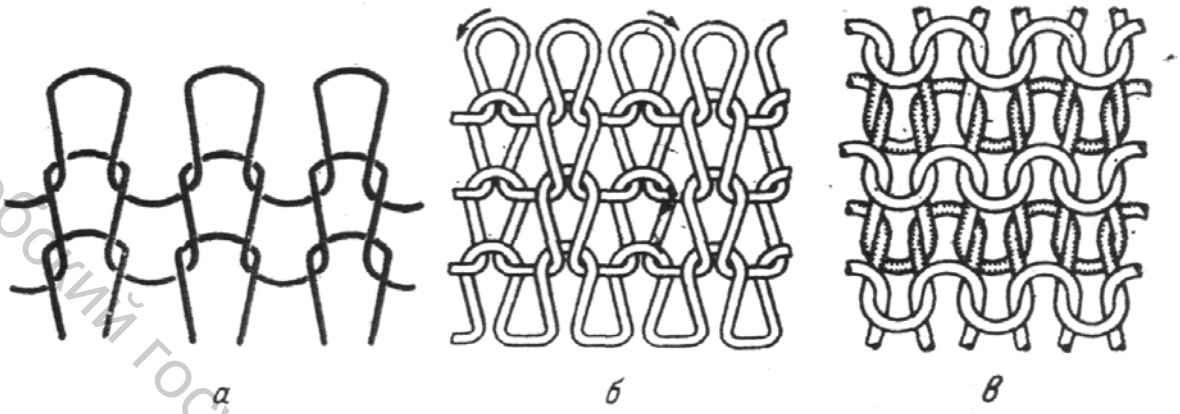


Рисунок 3.7 – Главные поперечновязаные переплетения:
а – гладь, б – ластик, в – двухизнаночное

Цепочка (рисунок 3.8 а, б) – одинарное основовязаное переплетение, представляет собой одиночный петельный столбик, связанный из одной петли. На рисунке показаны схема этого переплетения и его графическая запись. Графическая запись обычно производится снизу вверх и показывает схему движений нитевода при образовании одного петельного столбика: горизонтальные ряды точек условно соответствуют петельным рядам, а вертикальные – петельным столбикам. Цепочка может быть выработана как открытыми, так и закрытыми петлями. Применяется она в виде бахромы, а также в сочетании с другими видами переплетений (рисунчатый трикотаж

Трико (рисунок 3.8 в) – одинарное основовязаное переплетение, имеющее петли с односторонними протяжками, при этом нить прокладывается поочередно на две соседние иглы. Трико легко распускается вдоль петельного столбика и значительно деформируется по длине и ширине, поэтому применяется обычно в сочетании с другими переплетениями.

Атлас (рисунок 3.8 г) – одинарное основовязаное переплетение, у которого петли располагаются зигзагообразно поочередно в нескольких соседних петельных столбиках. На лицевой стороне атласа образуются оттеночные полосы, по-разному отражающие свет из-за различного наклона петель на лицевой стороне и протяжек на изнанке. Трикотаж этого переплетения характеризуется закручиваемостью и распускаемостью, но малой растяжимостью. Атлас применяется для изготовления белья, легких верхних изделий и в сочетании с другими переплетениями.

Витебский государственный технологический университет

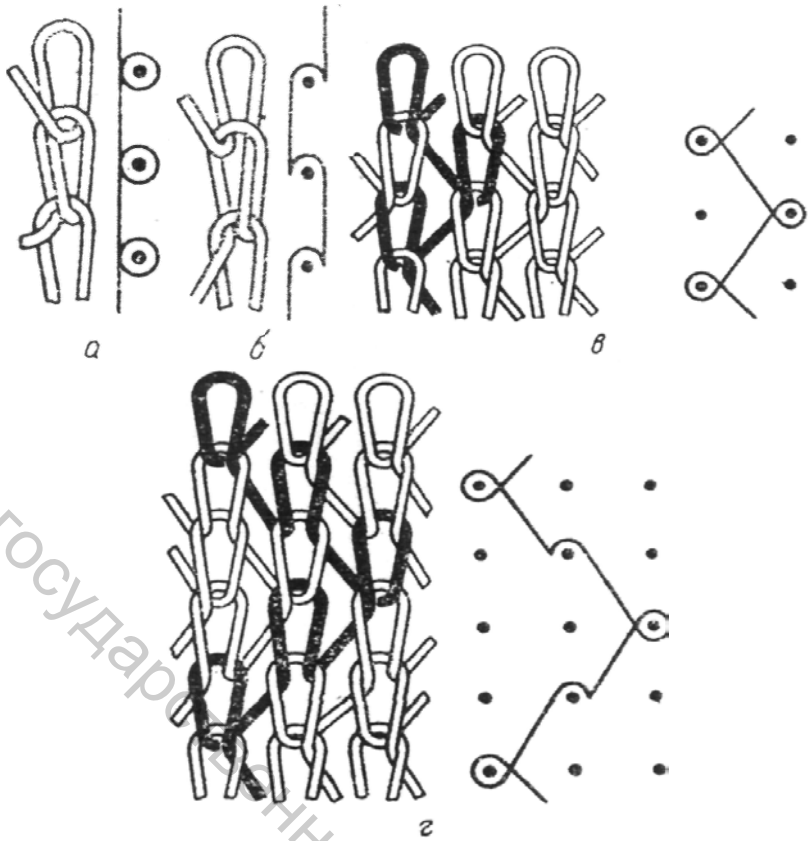


Рисунок 3.8 – Строение и графическая запись главных основовязаных переплетений: а – цепочка с открытыми петлями, б – цепочка с закрытыми петлями, в – трико, г – атлас

Производственные переплетения получают комбинированием двух и более одинаковых главных переплетений: между двумя петельными столбиками одного переплетения располагается один или два петельных столбика других переплетений. Такое строение сообщает полотнам большую прочность и меньшую растяжимость по сравнению с полотнами главных переплетений. К производным переплетениям относятся: производные от глади (двугладь), от ластика (двуластик, или интерлок), от трико (двутрико, или сукно; тритрико, или шарме), от атласа (атлас-сукно и атлас-шарме), от двойных основовязаных переплетений (интерлочное трико, интерлочный атлас).

Рисунчатые переплетения образуются на базе главных или производных изменением их структуры или введением дополнительных нитей, набросков.

К основным характеристикам структуры трикотажа относятся: высота петельного ряда, петельный шаг, число петель на условной длине, длина нити в петле и показатели заполнения.

Петельный шаг А – расстояние между двумя соседними петельными столбиками. *Высота петельного ряда В* – расстояние между двумя соседними петельными рядами (см. рисунок 3.6).

Витебский государственный технологический университет

Число петель на условной длине трикотажа, равной 100 мм, называется плотностью по горизонтали ($П_Г$) или по вертикали ($П_В$).

Длина нити в петле складывается из длин нитей остова и протяжки.

Линейное заполнение показывает, какая часть прямолинейного горизонтального или вертикального участка трикотажа занята диаметрами нитей.

Поверхностное заполнение показывает, какую часть от площади, занимаемой петлей, составляет площадь проекции нити и петле.

Объемное заполнение характеризует отношение объема нитей ко всему объему трикотажа.

Неткаными материалами называются полотна, вырабатываемые непосредственно из текстильных волокон, систем нитей или каркасных материалов (тканей, трикотажа, пленок), скрепляемых различными способами: механическими, физико-химическими и комбинированными. Процесс прядения и ткачества при этом отсутствует. В большинстве случаев основу нетканого материала составляет волокнистый слой – холст.

Преимущества производства нетканых материалов в сокращении количества операций и значительном повышении производительности оборудования, в возможности использования коротких непрядомых волокон, отходов прядильного производства, широком применении химических волокон и вторичного сырья, в значительном снижении трудовых затрат и меньших капиталовложениях. Поэтому себестоимость производства нетканых полотен значительно ниже, чем тканей. Специфические свойства нетканых материалов позволяют широко использовать их не только в качестве полноценных заменителей некоторых видов тканей, но и создавать материалы с новыми свойствами.

Нетканые материалы бытового назначения успешно заменяют многие виды тканей: прокладочные, одежные, полотенца, ткани для постельного белья и др.

Процесс производства нетканых текстильных полотен складывается из следующих основных этапов: выбор волокнистого сырья, его разрыхление, смешивание и очистка; формирование ватки – тонкого слоя холста из равномерно распределённых в нём волокон или образование сетки из продольно и поперечно уложенных нитей; скрепление элементов структуры волокнистого холста или сетки из нитей различными способами; отделка с целью придания нетканому полотну определённых свойств.

По способам производства различают нетканые полотна трёх классов: скреплённые механическим способом, физико-химическим способом и комбинированным.

Механическая технология скрепления основана на воздействии рабочих органов специального оборудования на волокнистый материал.

Витебский государственный технологический университет

При этом используются вязально-прошивной, иглопробивной и валяльно-войлочный способы соединения.

Вязально-прошивной – наиболее распространённый из них. Основа провязывается нитями на вязально-прошивной машине, которая является разновидностью трикотажной основовязальной машиной. При этом используются различные виды переплетений.

Иглопробивной способ основан на скреплении холста волокнами самого холста без применения прошивных нитей. Этого достигают при помощи специальных игл с зазубринами, совершающими возвратно-поступательное движение по вертикали. В результате иглопробивания волокна сближаются друг с другом и частично перепутываются. Скрепление холста происходит за счет возникающих сил трения. Чем больше глубина и количество проколов на единицу площади, тем плотнее полотно.

Валяльно-войлочный способ основан на способности шерстяного волокна свойлачиваться при совместном действии влаги, тепла и механической нагрузки; обычно используется холст с проложенным внутри каркасом из системы нитей. Материалы валяльного способа по внешнему виду напоминают сукно или драп, но более жёсткие.

Физико-химическая технология получения нетканых материалов основана на скреплении волокон холста, системы нитей, комбинации холста с нитями, тканью и т.п. полимерными связующими, которые могут быть в твердом и жидком виде. В качестве связующих веществ используют эмульсии и латексы; растворимые связующие; термопластичные волокна, обладающие низкой температурой плавления; термопластичные и термореактивные смолы в порошках. При увеличении содержания в холсте твердых связующих значительно повышается жесткость полотна, что нежелательно. Самым распространённым способом получения клеевых нетканых полотен является склеивание жидкими связующими.

Комбинированная технология получения нетканых полотен основана на сочетании механических и физико-химических способов скрепления. Полотна отличаются высокой упругостью и жесткостью.

Независимо от способа получения нетканых полотен можно выделить характеристики, которые будут одинаковыми для строения всех нетканых полотен. К ним относятся *линейная плотность* волокон, нитей и ниток, из которых изготовлено нетканое полотно, и его *пористость*.

Искусственный мех состоит из грунта и ворса. Грунт – основа меха, в нём закреплены волокна ворса. Ворс – волокнистый покров (в зависимости от способа изготовления, вида применяемых волокон и нитей, назначения меха может быть однородным и неоднородным по длине и толщине волокон, по густоте их расположения).

В качестве ворса используются: нитрон, лавсан, капрон, хлорин,

Витебский государственный технологический университет

вискоза, шерстяные волокна и другие, но часто волокна не в чистом виде, а в определенном сочетании, что повышает ряд свойств, а применение разноусадочных волокон дает имитацию ости, пуха и т.д.

Для закрепления ворса на изнаночную часть меха наносят латексное покрытие. При этом тепло- и ветрозащитные свойства улучшаются.

В зависимости от сырьевого состава искусственные меха обладают различными свойствами. Меха из синтетических волокон превосходят некоторые натуральные по износостойкости (стойкости к истиранию, действию света и светопогоды). Но они имеют сильную электризуемость, пониженные гигроскопичность и паропроницаемость. Для снижения электризуемости синтетические меха подвергают антистатической отделке. Ворсовый покров из полиэфирных волокон при эксплуатации пиллингуется.

Искусственный мех легче натурального, но обладает повышенной воздухопроницаемостью. По теплозащитным свойствам искусственные меха уступают натуральным из-за структуры и сырьевого состава. Так, густота ворсового покрова искусственных мехов до 8500 волокон на 1 см^2, натуральных – до 30000 волокон на 1 см^2.

Воздухопроницаемость и теплозащитные свойства искусственного меха зависят от способа получения.

По способу получения искусственный мех может быть тканым, трикотажным, накладным (с приклеенным ворсом) и нетканым.

Мех на трикотажной основе благодаря объёмности имеет более низкую теплопроводность по сравнению с тканым. Он характеризуется более высокой способностью к растяжению, однако края деталей из искусственного меха на трикотажной основе закручиваются, что вызывает неудобства при сборке изделий. Накладной искусственный мех имеет более низкие теплозащитные свойства.

Искусственный мех дешевле натурального, имеет одинаковые механические свойства по всей площади и процент его использования больше.

В настоящее время главной задачей в производстве искусственного меха является получение меха, наиболее полно имитирующего натуральный мех, как по внешнему виду, так и по свойствам.

Текстильно-галантерейные материалы вырабатывают из пряжи и нитей различных видов. К ним относятся плетеные материалы: тесьма, шнуры, ленты, кружево, гардинно-тюлевые изделия и др.

Дублированные текстильные материалы вырабатывают из тканей, трикотажа, нетканых полотен путем склеивания их.

Лекция 3.5 Материалы на основе древесины

Древесина с давних времен используется в производстве продук-

Витебский государственный технологический университет

ции различных отраслей промышленности и применяется как в натуральном виде, так и в виде разнообразных древесных материалов. Материалы на основе древесины представляют собой большой интерес для народного хозяйства, так как имеют постоянно возобновляемую сырьевую базу.

Качество древесины и материалов на ее основе зависит, прежде всего, от макро- и микроструктуры древесины.

На торцевом разрезе в направлении от периферии к центру различают следующие основные части ствола дерева: кору, камбий, собственно древесину, сердцевину (рисунок 3.9). У отдельных пород можно заметить еще сосуды, сердцевинные лучи, смоляные ходы. Удельный объем каждой части зависит от породы, возраста и условий произрастания дерева.

Кора– наружный слой ствола, защищающий дерево от насекомых, резких колебаний температуры, испарения влаги, а также механических повреждений. По коре движется нисходящий поток питательных веществ.

Камбий– очень тонкий (невидимый невооруженным глазом) слизистый слой, расположенный под корой. Он состоит из живых клеток, за счет деления которых происходит рост дерева.

Древесина состоит из множества годовых слоев в виде концентрированных окружностей. По числу годовых слоев можно установить возраст дерева.

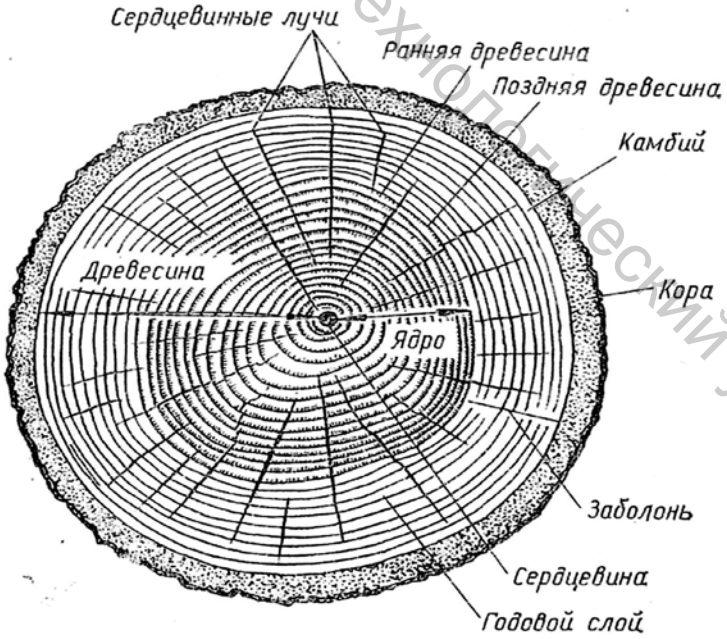


Рисунок 3.9 – Строение дерева на торцевом разрезе

Наружная часть древесины – *заболонь* – в отличие от внутренней рыхлая, мягкая, светлая, однако менее стойкая к гниению и механически непрочная. В заболонной древесине содержится меньше дубиль-

Витебский государственный технологический университет

ных, красящих (в лиственных породах) и смолистых (в хвойных) веществ, что сказывается на ее свойствах и внешнем виде.

Внутренняя часть древесины называется *ядром*. В ядровой древесине в отличие от заболонной содержится больше дубильных, красящих и смолистых веществ, поэтому она более темная, плотная, гнилостойкая и механически прочная.

Породы деревьев, древесина которых состоит из заболони и ядра, называются ядровыми, а породы, не имеющие ядровой древесины, – безъядровыми и заболонными. К ядровым породам относятся: из хвойных – лиственница, сосна, кедр, можжевельник и др.; из лиственных – дуб, ясень, вяз, тополь, ива рябина, яблоня и др. Безъядровые породы – ольха, липа, береза, граб, клен, самшит, груша и др.

От соотношения в стволе ядровой и заболонной древесины зависят ее свойства и свойства готовых изделий.

Сердцевина расположена в центре ствола дерева. Она состоит из слабосвязанных между собой клеток, образующих с древесиной первых лет роста дерева сердцевинную трубку. Диаметр сердцевинной трубки от 2 до 5 мм. Сердцевинная трубка у деревьев хвойных пород меньше, чем у лиственных.

Сердцевина больше подвержена гниению, чем другие части ствола, поэтому дерево начинает гнить с сердцевины. При изготовлении изделий сердцевинную трубку обычно удаляют. В сердцевине часто образуются трещины, она имеет малую прочность при растяжении.

Годовые слои представляют собой ежегодные наслоения древесины. За год образуется одно кольцо. При неблагоприятных условиях роста дерева (недостатке питательных веществ, сильной обрезке ветвей) для образования годового кольца требуются два года. При благоприятных условиях за один год могут образовываться два годовых слоя с неярко выраженной границей. На радиальном разрезе годовые слои имеют вид параллельных полос, на тангентальном – овальных или гиперболических линий.

Ширина годовых слоев зависит от породы, возраста и условий произрастания дерева. Ширина годового слоя влияет на плотность и механические свойства древесины: древесина с узкими годовыми слоями прочнее. Годовые слои хорошо заметны у дуба и хвойных пород, а у березы, ольхи они не видны невооруженным глазом.

В пределах одного годового слоя древесина состоит из двух частей – наружной и внутренней. Внутренняя древесина, обращенная в сторону сердцевины, более светлая, рыхлая, легкая и менее прочная. Называется она ранней древесиной, образуется в весенний период роста дерева. По ранней древесине растущего дерева идет восходящий поток питательных веществ. Наружная часть древесины, обращенная в сторону коры, более темная, плотная, тяжелая и механически прочная. Она называется поздней древесиной, образуется в летний и осенний перио-

Витебский государственный технологический университет

ды роста дерева. Поздняя древесина выполняет механические функции. От соотношения поздней и ранней древесины в годовом слое зависят прочность и другие свойства. Древесина считается прочной при содержании поздней древесины более 50%, средней прочности – от 25 до 50%, механически непрочной – менее 25%.

Древесина имеет капиллярно-пористое строение. В пределах годового слоя в древесине лиственных пород невооруженным глазом или с помощью лупы можно заметить сосуды – мелкие и крупные поры, расположенные вдоль волокон. Они имеют форму капиллярных трубок различной длины и диаметра. По сосудам идет поток питательных веществ от корней к кроне. Крупные сосуды располагаются преимущественно в древесине ранней части годового слоя и обусловливают ее пористость и пониженную механическую прочность, мелкие сосуды – чаще всего в поздней древесине.

Породы, у которых сосуды в виде колец сосредоточены в ранней древесине, называются кольцесосудистыми. К ним относятся дуб, ясень, вяз, ильм и др. У других пород сосуды называются рассеянно-сосудистыми. Это береза, ольха, бук, орех и др. От расположения, количества и размера сосудов зависят свойства и внешний вид древесины – текстура. Древесина кольцесосудистых пород имеет красивую, выразительную текстуру, она лучше гнется без разрушения волокон. Но на такую древесину, особенно с крупными сосудами, трудно наносить лицевую отделку. Изделия из нее во избежание проседания пленки отделывают преимущественно лакированием; отделка полированием возможна только после тщательного заполнения сосудов специальными порозаполнителями. В древесине хвойных пород сосудов нет.

Сердцевинные лучи – тонкие и блестящие линии, радиально расходящиеся на торцовом разрезе от сердцевины к коре. Сердцевинные лучи есть у всех пород, но хорошо заметны лишь у некоторых. Ширина лучей колеблется от 0,005 до 1 мм. Широкие лучи хорошо видны невооруженным глазом у дуба, бука. У хвойных и некоторых лиственных пород (ясеня, каштана, березы, тополя и др.) сердцевинные лучи заметны плохо или только через лупу. От количества и величины лучей зависят прочность, блеск и текстура древесины. С увеличением их объема повышается блеск и уменьшается прочность, особенно при сжатии вдоль волокон. Это объясняется тем, что лучи состоят из слабой ткани и связаны друг с другом прочнее, чем с волокнами.

Смоляные ходы – тонкие каналы в древесине ряда хвойных пород, заполненные смолой. Смоляные ходы бывают вертикальными и горизонтальными. Вертикальных ходов примерно в 5 – 6 раз больше. Вертикальные ходы расположены преимущественно в поздней древесине, что способствует повышению ее стойкости к гниению.

Смола отрицательно влияет на склеивание и лицевую отделку древесины. Поэтому перед отделкой такую древесину обессмоливают.

Витебский государственный технологический университет

Смола понижает водопоглощение древесины. Она является сырьем для получения канифоли, скипидара и др.

Свойства древесины можно разделить на физические, химические и биологические.

Физические свойства древесины в зависимости от того, какую ее особенность они характеризуют, подразделяют на следующие группы: определяющие ее внешний вид; отношение древесины к влаге; массу и плотность; отношение к теплу, звуку, электричеству, к механическим нагрузкам и др.

Физические свойства древесины анизотропны – отдельные свойства и показатели их специфичны для каждой породы дерева, что необходимо учитывать при изготовлении из нее изделий.

Внешний вид древесины обусловливается ее цветом, блеском и текстурой, которые зависят от породы, района произрастания и других особенностей древесины. Цвет, блеск и текстура определяют декоративную ценность древесины.

По цвету можно определить состояние и доброкачественность древесины. Прежде всего, он зависит от содержания в древесине красящих, дубильных и смолистых веществ и продуктов их окисления, имеющихся в полостях и стенках клеток. На цвет влияют возраст и район произрастания дерева, а также состояние древесины (например, влажность). Так, древесина районов с жарким климатом (дуба, ореха, тисса, самшита, красного дерева и др.) имеет более темную окраску, древесина пород умеренного пояса (ели, сосны, осины, березы и др.) – более бледную. Натуральный цвет древесины меняется при гниении и изменении влажности, а также под влиянием воздуха и света.

Блеск зависит от количества, величины и характера расположения сердцевинных лучей, а также вида разреза древесины и особенно ценится для производства мебели. Большой блеск древесина имеет на радиальном разрезе, на котором сердцевинные лучи хорошо заметны, полностью открываются, занимают значительную площадь, имеют вид широких полос с сильным блеском. Повышенным блеском характеризуется древесина дуба, бука, клена, платана и др. Древесину лиственных пород, имеющую мелкие сосуды и более плотную, отделывать легче, чем древесину с крупными сосудами (дуба и ясеня), и особенно мягких лиственных и хвойных пород.

Текстура – рисунок древесины на поверхности разреза. Она также, как и цвет, является особенностью каждой породы и важным признаком для распознавания ее. Текстура имеет большое значение при выборе древесины для производства мебели и других изделий. Она зависит от строения древесины (количества и характера расположения волокон, сердцевинных лучей, годовых слоев, ширины их поздней и ранней частей). Большое значение имеют также вид разреза и угол перерезания волокон. Каждый разрез имеет своеобразную текстуру. Самая красивая

Витебский государственный технологический университет

текстура у древесины лиственных кольцесосудистых пород, и менее выразительная – у хвойных пород. Для имитации древесины с невыразительной текстурой под ценные породы применяют текстурную бумагу и искусственный шпон.

Отношение древесины к влаге характеризуется ее влажностью, усушкой, разбуханием и связанными с этим короблением и растрескиванием, а также гигроскопичностью и водопоглощением.

При росте дерева вода оказывает положительное влияние на его жизнедеятельность. Однако она отрицательно влияет на механические, тепловые и другие свойства срубленной древесины, а также способствует ее гниению.

Различают влагу свободную, или капиллярную, гигроскопическую и химически связанную. Свободная влага заполняет полости клеток, сосудов и межклеточные пространства. Она легко удаляется, не оказывая влияния на изменение формы и размеров изделий из древесины. Количество свободной влаги зависит от объемной массы и объема пустот в древесине.

Гигроскопической влаги в стенках клеток содержится от 25 до30 %. Уменьшение ее количества приводит к изменению размеров клеток и, следовательно, древесины и изделий из нее. При этом происходит усушка, которая сопровождается короблением или растрескиванием. При повышении количества гигроскопической влаги до точки насыщения наблюдается разбухание клеток древесины и изделий. Когда содержание этой влаги выше точки насыщения, размеры изделий заметно не изменяются.

Количество гигроскопической влаги в точке насыщения практически не зависит от породы дерева. Она заметно влияет на механические, тепловые, электрические и другие свойства древесины. Поэтому, например, по изменению электропроводности древесины определяют ее влажность. Химически связанная влага (около 1 %)– составная часть химических веществ древесины. Учитывают ее только при химической переработке древесины.

При изготовлении мебели и других изделий древесину во избежание деформации и коробления предварительно высушивают до влажности, при которой изделия эксплуатируются (столярные изделия – 15 %, мебель– 8–10 %, паркет– 8 %).

Усушка — изменение размеров древесины при уменьшении ее влажности ниже точки насыщения. Величина ее зависит от направления волокон и вида разреза: вдоль волокон – до 0,1 %, в радиальном направлении – 3,6 %, в тангентальном – 6–12 %.

При увлажнении древесины и изделий происходит разбухание – размеры их увеличиваются примерно в тех же пределах, что и при усушке. Разбухание – отрицательное свойство древесины.

Гигроскопичность древесины зависит от влажности древесины,

Витебский государственный технологический университет

температуры и относительной влажности воздуха. Сухая древесина легко поглощает пары влаги, при этом изменяются ее масса, форма, размеры. При постоянных температуре и влажности воздуха гигроскопичность всех пород примерно одинакова. Она является нежелательным свойством древесины. Для устранения или уменьшения гигроскопичности изделия покрывают лаками, красками либо пропитывают искусственными смолами.

Водопоглощение – способность древесины впитывать капельно-жидкую влагу. Количество поглощенной влаги зависит от породы древесины, величины пористости, начальной влажности и температуры. С уменьшением пористости и увеличением объемной массы водопоглощение снижается. Водопоглощение хвойных пород меньше, чем лиственных.

Плотность, объемная масса и пористость имеют большое значение при оценке механических, тепловых, акустических и других свойств и показателей древесины.

Плотность, оцениваемая массой древесного вещества в единице объема, для всех пород примерно одинакова – 1,50–1,56 г/см^3.

Объемная масса древесины – масса в единице объема вместе с порами и пустотами – колеблется в пределах от 0,1 до 1,42 г/см^3. Зависит она от пористости и количества сосудов, сердцевинных лучей, годовых слоев на 1 см, ранней и поздней древесины, от соотношения между заболонной и ядровой древесиной и влажности. Чем выше пористость и больше сосудов и сердцевинных лучей, тем меньше объемная масса. Она тем выше, чем больше поздней и ядровой древесины.

По величине объемной массы (г/см^3) породы древесины делят на следующие группы: особо легкие – менее 0,4 (пихта, криптомерия, бальза – 0,1–0,13); легкие – 0,6–0,4 (вяз, каштан, сосна, ель, тополь, осина, липа, ольха, кедр); тяжелые – 0,8–0,6 (дуб, груша, белая акация, граб, бук, ясень, клен, платан, береза, лиственница, можжевельник); особо тяжелые – более 0,8 (кизил, самшит, хурма, железное дерево).

По объемной массе древесины можно ориентировочно судить о ее пористости, теплозащитных, механических и других свойствах. Пористость обратно пропорциональна объемной массе: чем выше объемная масса, тем ниже пористость. Пористость оказывает большое влияние на водопоглощение, процессы крашения и лицевой отделки. Так, от поверхностной пористости древесины зависит равномерность лаковой пленки по толщине.

Отношение древесины к теплу характеризуют следующие основные свойства – теплоемкость, теплопроводность и тепловое расширение.

Теплоемкость абсолютно сухой древесины не зависит от породы и объемной массы. На теплоемкость влажной древесины, кроме собственно древесины, заметно влияет теплоемкость влаги. Влажность оказыва-

Витебский государственный технологический университет

ет большое влияние на теплоемкость древесины при положительной температуре и меньшее – при температуре ниже нуля. Теплоемкость древесины учитывают при ее сушке, пропаривании и пропитке для определения потребности в тепле.

Теплопроводность древесины зависит от объемной массы, влажности, температуры и направления волокон. С увеличением объемной массы, влажности и температуры коэффициент теплопроводности повышается. При увеличении влажности на 1 % теплопроводность возрастает на 1 %. Вдоль волокон она в 1,5– 3 раза выше, чем поперек. Теплопроводность древесины в радиальном направлении на 16 % выше, чем в тангентальном, что объясняется наличием сердцевинных лучей.

Благодаря малой теплопроводности древесина является теплозащитным материалом. Это свойство ее учитывают при возведении различных строений. Кроме того, из отходов древесины изготовляют теплоизоляционные материалы.

Тепловое расширение древесины незначительно.

Акустические свойства древесины характеризуются звукопроводностью, звукопроницаемостью и резонирующей способностью. Они зависят от породы древесины, направления волокон, характера строения, имеют большое значение в производстве музыкальных инструментов и при оценке звукоизоляционных материалов.

Звукопроводность, характеризующаяся скоростью распространения звука, значительно выше вдоль волокон, чем поперек. В тангентальном направлении она ниже, чем в радиальном. Звукопроводность древесины вдоль волокон примерно равна звукопроводности металлов, а поперек волокон — в несколько раз меньше ее. Со звукопроводностью древесины связано ее звукопоглощение, характеризующееся коэффициентом, равным отношению звуковой энергии, поглощенной материалом, к падающей. По звукопоглощению древесина превосходит такие материалы, как кирпич, стекло, линолеум, но уступает войлоку, вате.

Звукопроницаемость характеризуется коэффициентом звуковой проницаемости, равным отношению звука, прошедшего через древесину, к падающему на нее. Древесина хорошо проводит звук, особенно вдоль волокон, поэтому она не обладает хорошими звукоизоляционными свойствами.

Резонирующая способность – способность древесины усиливать звук без искажения тона. Имеет значение при выборе древесины для изготовления музыкальных инструментов. Она зависит от объемной массы древесины, влажности, ширины и угла наклона годовых слоев к плоскости изгиба, дефектов строения и наличия лакокрасочного покрытия. Лучшей является древесина влажностью не более 7 % и объемной массой 0,40–0,45 г/см^3. Ширина годовых слоев при этом должна быть от 2 до 5 мм при содержании поздней древесины от 15 до 25 %. Угол наклона годовых слоев к плоскости изгиба должен приближаться к пря-

Витебский государственный технологический университет

мому. Толщина лакокрасочной пленки не должна превышать 60 мкм. Для повышения резонирующей способности древесину хвойных пород подвергают термической обработке, при которой удаляется смола. Отрицательно влияют на данное свойство и дефекты строения древесины.

Отношение древесины к электричеству определяется электропроводностью, электрической прочностью и др. Древесина характеризуется низкой электропроводностью. В технике древесина в сухом состоянии известна как электроизоляционный материал.

Электропроводность древесины зависит от породы, направления волокон, влажности и температуры. Вдоль волокон она меньше, чем поперек.

С повышением влажности древесины удельное электрическое сопротивление ее снижается, особенно в пределах точки насыщения.

Электропроводность древесины заметно возрастает с увеличением температуры.

Электрическая прочность характеризуется пробивным напряжением в вольтах на 1 см толщины. Электрическая прочность древесины невысока. Вдоль волокон она в 3 раза ниже, чем поперек. С повышением влажности она уменьшается. Сердцевинные лучи снижают пробивное напряжение в радиальном направлении больше, чем в тангентальном. Для повышения электрической прочности древесину пропитывают олифой, смолами, парафином и другими веществами.

Механические свойства характеризуют отношение древесины к различным нагрузкам и имеют большое практическое значение. Эти свойства древесины различны и зависят от направления действия нагрузок (вдоль волокон, поперек, на радиальном или тангентальном разрезе и др.), характера их приложения (динамические и статические), состояния древесины (влажная, сухая, здоровая или пораженная гнилями, с дефектами или без них), объемной массы и влажности. Важными механическими свойствами древесины являются прочность, твердость, сопротивление раскалыванию и др.

Прочность древесины характеризуется пределом прочности при растяжении, сжатии и изгибе. Наиболее прочная древесина сухая, здоровая, без дефектов, с большой объемной массой, и прежде всего вдоль волокон (при растяжении, сжатии, изгибе).

Механическую прочность древесины учитывают при изготовлении из нее строительных деталей и мебели. Древесину широко используют в строительстве в качестве несущих элементов, работающих на изгиб. Способность древесины к изгибу учитывают при изготовлении гнутой мебели, колец и других криволинейных деталей, т. е. в тех случаях, когда деталям и изделиям необходимо придать форму без разрушения волокон древесины и снижения механической прочности. Способность к изгибу, как правило, выше у кольцесосудистых пород (дуба, ясеня и др.) и некоторых рассеянно-сосудистых пород с повышенной пластич-

Витебский государственный технологический университет

ностью, например, бука. Древесина ели, сосны и других пород непригодна для изготовления гнутых изделий.

Прочность древесины при скалывании невелика, причем прочность поперек волокон в 2 раза ниже прочности вдоль волокон. Прочность при скалывании древесины лиственных пород в 1,5 раза превышает прочность хвойных пород.

*Твердост*ь учитывают при обработке древесины режущими инструментами и изготовлении изделий, подвергающихся в процессе эксплуатации истиранию, ударам и толчкам. Она зависит от объемной массы и влажности. С увеличением объемной массы твердость возрастает, а с повышением влажности – уменьшается. Твердость зависит и от состояния древесины: она выше у здоровой древесины без дефектов. По величине торцовой твердости породы древесины делят на три группы – очень твердые, твердые и мягкие.

К очень твердым относятся самшит, белая акация, граб, груша, хурма, кизил, тисс, железное дерево и др. Твердые – это лиственница, береза, рябина, бук, вяз, дуб, ильм, карагач, ясень, орех, клен и др. К мягким относят сосну, ель, кедр, пихту, можжевельник, тополь, липу, осину, ольху, каштан и др. Породы очень твердые и твердые лучше сопротивляются истиранию, обрабатываются легче и чище, чем мягкие.

Основными *химическими свойствами* являются стойкость к действию кислот, щелочей и других реагентов.

Древесина под действием кислот и щелочей постепенно разрушается. Химическая стойкость ее различна в зависимости от среды, концентрации реагентов и породы. Древесина обладает большей стойкостью по отношению к щелочам и меньшей – к кислотам. С увеличением концентрации щелочей и кислот химическая стойкость древесины снижается. Более стойкой является древесина хвойных пород, и прежде всего ее ядровая часть, менее стойкой – заболонная. Снижение химической стойкости древесины сопровождается изменением ее цвета – побурением, иногда происходит полное обугливание. Древесина постепенно разрушается и при длительном воздействии на нее газов – $S0_2$, $S0_3$, NO, $N0_2$ и др.

Биологические свойства древесины выражаются через стойкость древесины к грибам, плесени и насекомым, которая зависит от содержания смолистых, дубильных и других веществ. Наиболее стойкие в этом отношении следующие породы: хвойные – сосна и лиственница; лиственные – дуб. Ядровая часть древесины более стойкая по сравнению с заболонью. Биостойкость повышается с возрастом дерева и увеличением объемной массы.

По биостойкости древесину подразделяют на три группы: наиболее стойкая (каштан, дуб, лиственница и др.), среднестойкая (сосна, кедр) и малостойкая (береза, бук, осина, липа, клен и др.).

Для защиты древесины от преждевременного разрушения грибами

Витебский государственный технологический университет

и насекомыми применяют меры для создания и поддержания условий, в которых не могут развиваться грибы. Развитие грибов исключается полностью или замедляется при пониженной влажности и температуре, поэтому древесину высушивают и защищают от чрезмерного увлажнения.

Стойкость к гниению древесины повышают путем пропитки антисептиками. К ним относятся органические и минеральные вещества, которые имеют высокую токсичность к грибам и насекомым и сохраняют ее в течение длительного времени, безвредны для древесины, человека и животных, легко проникают в толщу древесины, недороги и просты в применении. В качестве антисептиков используют фторид и кремнефторид натрия, хлористый цинк, креозотовое масло и др. Стойкость к гниению повышается пропиткой синтетическими смолами с последующей их полимеризацией. Это позволяет также понизить влагопоглощение древесины и снизить ее горючесть.

Материалы и изделия из древесины делят на несколько групп: лесоматериалы, получаемые путем механической обработки дерева; модифицированная древесина, обработанная синтетическими смолами, прессованная, пластифицированная аммиаком и др.; древесные изделия; фанера, столярные плиты, древесно-стружечные и древесноволокнистые плиты, древесно-слоистые пластики и др.

Лесоматериалы классифицируются на круглые, пиленые, лущеные, фрезерованные (строганые), колотые и побочные продукты: опилки, стружки, щепа, древесная мука.

Круглые лесоматериалы – стволы поваленного дерева, очищенные от сучьев. Их делят на части разной длины. В зависимости от качества древесины (наличия пороков) и дефектов при обработке круглые лесоматериалы делят на четыре сорта, из которых в строительстве используют главным образом 2-й и 3-й.

Пиломатериалы делят на бруски, брусья, пластины, четвертины, доски и горбыль. Бруски имеют толщину менее 100 мм и ширину не более двойной толщины; брусья имеют толщину и ширину более 100 мм; доски имеют толщину менее 100 мм и ширину более двойной толщины. Брусья и доски бывают обрезные и необрезные (кромки не пропилены или пропилены меньше, чем по половине длины). Доски тоньше 32 мм называют тонкими, или тесом, длина досок составляет от 1 до 6,5 м.

Наибольшее применение получили пиломатериалы хвойных пород, особенно сосна, что связано с ее высокой прочностью, большей устойчивостью к загниванию. Лиственные породы (дуб, ясень, бук, береза) также используются для изготовления пиломатериалов, однако их целесообразней применять для изделий, изготовление которых связано с механическим деформированием (гибкой) материала.

Доски и брусья хвойных пород делят на пять сортов: отборный, 1-й, 2-й, 3-й и 4-й. В столярном производстве используют только 1-й и 2-й

Витебский государственный технологический университет

сорта. Пиломатериалы лиственных пород делят на три сорта. Для производства деталей готовых изделий применяют так называемые заготовки – доски и брусья, прирезанные применительно к заданным размерам и с припусками на механическую обработку и усушку. Их используют для клееных конструкций, а также для изготовления плинтусов, галтелей, карнизов, наличников и др.

Изделия из древесины (элементы небольшого поперечного сечения) представляют собой деревянные фрезерованные детали, называемые погонажными (их измеряют погонными метрами) – плинтусы, галтели, карнизы, пояски, наличники, поручни для лестничных перил, обшивки, раскладки, а также доски и бруски для покрытия полов (на одной кромке имеют паз, на другой гребень).

Столярные плиты состоят из внутреннего щита, который изготовляют из узких реек путем их тесного состыковывания впритык и наклеенных на него с обеих сторон шпона в один или два слоя. Для производства столярных плит используют древесину хвойных и лиственных мягких пород, главным образом отходы производства (горбыли, рейки и др.). Из этих плит изготовляют двери, перегородки, щитовую мебель и др.

К *паркетным изделиям* относят штучный паркет, паркетные доски, паркетные щиты и мозаичный (наборный) паркет. Штучный паркет состоит из планок твердых пород дерева (дуба, ясеня, бука, клена и др.), определенных размеров и формы. Планки на них имеют длину 140 – 170 мм, ширину 20 – 30 мм и толщину 6 – 8 мм.

Паркетные щиты состоят из деревянного основания из брусков и лицевого покрытия из паркетных планок (чаще квадратных). Щиты размерами 400 х 400 или 800 х 800 мм соединяются между собой в паз и гребень или на вкладные шпонки.

Наборный (мозаичный) паркет состоит из отдельных планок из твердых пород дерева, наклеенных лицевой поверхностью на бумагу водорастворимым клеем, который смывается после укладки паркета на основание.

К изделиям из древесины относится также *фанера*, применяемая в качестве отделочного и конструктивного материала в деревянных конструкциях. Фанера состоит из отдельных тонких слоев древесины (шпона), полученных лущением на специальных лущильных машинах или строганием распаренных древесных кряжей, склеенных между собой. Слои шпона располагают так, чтобы направление волокон в соседних слоях было взаимно перпендикулярно. Чаще всего фанера имеет нечетное число слоев – 3, 5, 7 и т.д., толщину от 1,5 до 18 мм и размеры листа до 2400 х 1525 мм. Фанера бывает обычная клееная и декоративная, облицованная пленочным покрытием из смол или декоративной бумагой. Применяется также бакелизированная фанера из листов березового шпона, склеенных феноло- или крезолоформальдегидными смолами,

Витебский государственный технологический университет

которая отличается повышенной прочностью и водостойкостью.

Столярно-строительные изделия – оконные и дверные блоки, перегородки и панели жилых и гражданских зданий – относятся к крупноразмерным изделиям. Изготовляются целые комплекты для сборных деревянных домов (брусковых, каркасно-обшивных и каркасно-щитовых). Их производство осуществляется на специализированных деревообрабатывающих заводах; там же изготовляют балки для перекрытий, щиты для наката и перегородок, арки и части металлодеревянных ферм, сваи, шпунт, мостовые брусья и шпалы.

В последние годы широко применяются клееные конструкции – крупноразмерные элементы, изготовляемые путем склеивания сравнительно небольших деревянных заготовок друг с другом или с другими материалами (арки, балки двутаврового сечения, блоки и т.д.). Их изготовляют на водостойких и высокопрочных полимерных клеях. От обычных конструкций из древесины они отличаются большей прочностью, водостойкостью, био- и огнестойкостью, не подвержены усушке и короблению. Использование клееных конструкций – один из наиболее экономически эффективных путей применения древесины в строительстве.

В последние годы увеличился выпуск *материалов из древесных отходов*. Данная группа материалов в большей мере относится к искусственным материалам (ИСК), так как при их получении происходит частичное или полное изменение химического состава древесины под влиянием химической обработки. Вместе с тем эти материалы можно рассматривать как пример отсутствия четкой границы между природными и искусственными материалами, применяемыми в строительстве.

Ежегодно заготовляется огромный объем древесины, которая направляется главным образом на нужды строительства. Однако чем больше вырабатывается деловой древесины, тем большие отходы получаются при лесозаготовках и переработке стволовой древесины. Из древесных отходов производят столярные и древесноволокнистые плиты, деревобетон (арболит), древесно-стружечные, щитовые и другие плиты, для изготовления которых пригодны отходы практически любых размеров. Такие изделия анизотропны по свойствам, не коробятся, не усыхают и как полуфабрикат используются при производстве красивых фанерованных дверей, встроенной мебели, облицовочных панелей, перегородок, теплоизоляционных изделий и деталей, стеновых блоков и панелей (из арболита), паркета, кровли и т.п.

Из кусковых отходов лесопиления и деревообработки могут быть изготовлены клееные панели, щиты и плиты, щитовой паркет, дверные коробки, кровельная и штукатурная дрань, кровельная плитка и гонт, заготовки для столярного производства, арболит и стеновые блоки и панели из него, древесноволокнистые и древесностружечные плиты и др. Они с успехом заменяют деловую древесину. Среди них особой попу-

Витебский государственный технологический университет

лярностью в строительстве пользуются древесноволокнистые плиты, которые являются современным строительным и отделочным материалом. Особо ценные сорта плит используют для отделки стен, перегородок, дверных проемов, встроенной мебели, облицовки кухонной мебели и других элементов в жилых, общественных и промышленных зданиях. Плиты для декоративных целей обрабатывают для получения необходимой окраски их поверхности, тиснения и др. Как стеновой материал широко применяется арболит.

Из опилок и стружек материалы и изделия изготовляют либо на основе вяжущих веществ (опилкобетон, ксилолит, термиз, термопорит, гипсопилочные блоки и др.), либо без применения специальных вяжущих материалов (лигноуглеводные пластики, вибролит и др.).

При изготовлении опилочных конгломератов с введением в них вяжущих веществ кроме опилок в смесь вносятся песок, гравий, минерализаторы (жидкое стекло, известковое молоко, раствор фтористого натрия и др.). В качестве вяжущих используются цемент, известь, гипс, каустический магнезит и др. В так называемые твердые опилочные плиты в качестве связующего вносятся аммиак, смолы или смесь смолы с аммиаком, а при производстве листового тырсолита толщиной от 1,5 до 8 мм используют карбамидную смолу с примесью отвердителя.

Кроме рассмотренных выше материалов и изделий из древесных отходов имеется большое количество освоенных промышленностью и широко применяемых традиционных органических теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных материалов: древесностружечные плиты, древесноволокнистые плиты, фибролит, арболит, камышитовые плиты, торфяные плиты и др. Они получаются с применением растительного сырья и отходов лесного и сельского хозяйства.

Древесные пластики представляют собой материал, изготовленный из листов лущеного шпона, склеенных синтетическими смолами в процессе термической обработки под давлением.

Древесностружечные плиты получают горячим прессованием измельченной древесины со связующими веществами (синтетическими смолами). В зависимости от конструкции они бывают одно-, трех-, пяти- и многослойные, но плотности – малой (менее 500 кг/м^3), средней (500 – 600 кг/м^3) и высокой (более 650 кг/м^3).

Древесноволокнистые плиты представляют собой материал, получаемый путем высокотемпературного прессования линолецеллюлозных волокон древесины или других растительных волокон. В зависимости от назначения и степени уплотнения их делят на мягкие (марок М-4, М-12, М-20), полутвердые (ПТ-100, НТ), твердые (Т-350, Т-400), сверхтвердые для покрытия полов (Ст-500), твердые с окрашенной поверхностью, волокнистостружечные и звукопоглощающие. Цифры в марке показывают предел прочности при изгибе.

К материалам, получаемым из древесины, относится бумага и

Витебский государственный технологический университет

картон.

Бумага – это материал из растительных волокон, соответствующим образом обработанных и беспорядочно соединенных в тонкий лист, в котором волокна связаны между собой поверхностными силами сцепления. Бумажные листы могут содержать проклеивающие вещества, минеральные наполнители и натуральные волокна, пигменты и красители. Бумажные материалы относятся к прогрессивным, для производства которых используется вторичное сырье.

Исходным сырьем для производства бумажной продукции являются древесина, тростник, льнопеньковые и хлопковые отходы, макулатура и другие волокнистые материалы.

По принятой классификации в зависимости от целевого назначения бумагу делят на 11 классов: для печати, для письма, чертежно-рисовальная, электроизоляционная, папиросная, впитывающая, для аппаратов, светочувствительная, переводная, промышленно-технического назначения, оберточная.

В зависимости от приданных в процессе производства свойств различают бумагу армированную (упрочненная тканью или нитями), с водяными знаками, влагопрочную, водо- и жиронепроницаемую, ацетилированную (с повышенной гидрофобностью и термостойкостью), впитывающую, электроизоляционную, щелочестойкую, биоцидную, бактерицидную, инсектицидную (предотвращающую вредную деятельность насекомых), фунгицидную (предотвращающую вредную деятельность плесневых грибков) и др.

Картон – это твердый толстый листовой или лентообразный материал, состоящий преимущественно из растительных волокон, с массой квадратного метра более 250 г. Картон делят на шесть классов: переплетный, коробочный, электроизоляционный, промышленно-технического назначения, строительный и обувной. В зависимости от назначения он бывает тарный, для полиграфического производства, легкой промышленности, фильтровальный, технический, строительный, электроизоляционный, коробочный, переплетный.

Лекция 3.6 Минералы и материалы на их основе

Минерал – природное тело, приблизительно однородное по химическому составу и физическим свойствам, образующееся в результате физико-химических процессов в глубинах и на поверхности Земли. Известно около 3 тысяч минеральных видов, наиболее распространенными из которых являются: силикаты (25% от общего числа минералов), окислы и гидроокислы (около 12 %), сульфиды и их аналоги (около 13 %), фосфаты, арсенаты, ванадаты (около 18 %) и др. Физические и химические свойства минералов обусловлены их кристаллической струк-

Витебский государственный технологический университет

турой и химическим составом.

Ниже рассмотрены минералы, которые изучаются в дальнейшем в специальных курсах товароведения непродовольственных товаров.

Стекло – вещество аморфно-кристаллитной структуры, получаемое путем переохлаждения расплава, состоящего из различных оксидов, обладающее при постепенном повышении вязкости механическими свойствами твердых тел независимо от химического состава и температурной области затвердевания. Переход из жидкого состояния в стеклообразное является обратимым.

Сырьевые материалы, применяемые для производства стекла, принято делить на главные и вспомогательные.

К главным сырьевым материалам стекольного производства относят природные или искусственные вещества, необходимые для введения в состав стекла оксидов, являющихся основой для получения изделий с необходимыми физическими и химическими свойствами.

К вспомогательным сырьевым материалам относят различные соединения многих химических элементов, необходимые для окрашивания и глушения стекла, обеспечения нужных условий для получения изделий высокого качества, ускорения процессов варки и осветления полученной массы. Часто одни и те же материалы выполняют различные функции.

Характеристика главных материалов стекольного производства

Кремнезем (SiO_2) является основным стеклообразующим оксидом в бытовых стеклах (от 55 до 75 %). В стекловарении для введения кремнезема применяют в основном кварцевый песок. Он представляет собой обломочную породу, состоящую в основном из зерен кварца.

На качество готовых изделий оказывают влияние содержание примесей в песках, однородность зернового состава песка и размер зерен. Примеси оксидов алюминия, кальция, магния калия и натрия не являются вредными, так как они входят в состав почти всех стекол, но их содержание необходимо учитывать при расчете шихты. Примеси окрашивающих оксидов, которые придают стеклам нежелательные цветовые оттенки и снижают их прозрачность, являются вредными для здоровья людей. К их числу относятся оксиды железа, титана, хрома, марганца, ванадия и некоторые другие. Например, оксид железа (III) Fe_2O_3, который в том или ином количестве присутствует во всех песках, окрашивает стекло в желтый цвет. Нередко присутствующий в песках оксид железа (II) FeO придает стеклу голубой оттенок. Если в наличии оба оксида железа, стекло приобретает зеленоватые оттенки.

Однородность состава песков и размер зерен оказывают влияние главным образом на скорость варки и количество пороков в стекле. Наиболее пригодными для стекловарения считаются пески со средним размером зерен от 0,15 до 0,40 мм в диаметре. Крупные зерна кварца (0,8–2 мм) провариваются медленно или этого не происходит вообще,

Витебский государственный технологический университет

что является причиной образования порока «инородное включение». Мелкие зерна провариваются быстро, поэтому целесообразнее применять мелкозернистые пески. Но обязательным условием при их использовании является их однородность. Неоднородность мелкозернистых песков также является причиной образования инородного включения в стекле.

Оксид натрия (Na_2O) наряду с кремнеземом является важнейшей составной частью большинства стекол. Он ускоряет стеклообразование и понижает температуру варки, облегчает процесс осветления, повышает коэффициент теплового расширения, снижает термическую и химическую устойчивость стекла.

Основными сырьевыми материалами для введения в стекло оксида натрия являются сода (кальцинированная Na_2CO_3 или кристаллическая Na_2CO_3 $10H_2O$) и сульфат натрия (Na_2S0_4). При варке стекла указанные материалы разлагаются на оксид натрия и соответствующие газообразные вещества, которые далее улетучиваются.

Оксид калия (K_20) снижает склонность стекла к кристаллизации, улучшает его цветовой оттенок и придает блеск. По этой причине оксид калия непременно используют при производстве столовой посуды, хрусталя и цветных стекол.

Оксид кальция (CaO), являясь наряду с кремнеземом и оксидом натрия основным сырьевым материалом производства, придает стеклу химическую стойкость.

При введении в стекло *оксида бора (B_2O_3)* пропорционально снижению в шихте оксида натрия повышается химическая стойкость, снижается коэффициент термического расширения, благодаря чему значительно увеличивается термостойкость стекла. При замене оксидом бора части оксида кремния снижается склонность стекла к кристаллизации, увеличивается скорость варки, улучшается его осветление.

Оксид алюминия (глинозем), который повышает механическую прочность стекла, термическую и химическую устойчивость, в шихту вводят в основном в виде природного глиноземсодержащего сырья (полевых шпатов, пегматитов и каолинов).

Оксид магния (MgO) снижает склонность стекла к кристаллизации и увеличивает скорость твердения стекломассы. При вводе совместно с глиноземом повышается химическая стойкость стекла.

Оксид бария (BaO) придает стеклу блеск, повышает коэффициент преломления света. Добавлением в стекло оксида бария получают так называемый «бариевый хрусталь». Небольшие (0,2–0,5 %) добавки BaO ускоряют процесс варки.

Оксид свинца (PbO) применяют для производства хрустальных стекол, которых отличают большая плотность, высокий показатель преломления, характерный блеск, хорошая способность к гранению, шлифовке и полировке.

Витебский государственный технологический университет

Оксид цинка (ZnO) понижает коэффициент термического расширения и повышает химическую устойчивость стекла. Применяется для производства лабораторной посуды, оптических и цветных стекол.

Характеристика вспомогательных материалов стекольного производства

В качестве красителей в стекловарении используют соединения различных металлов, которые окрашивают стекло либо растворяясь в нем (молекулярные красители), либо равномерно распределяясь в стекломассе в виде мельчайших коллоидных частичек (коллоидные красители).

Большое разнообразие красителей позволяет придавать стеклу любую окраску. На характер его окрашивания, кроме химической природы красителя, влияют концентрация, химический состав окрашиваемого стекла и условия варки.

Для устранения нежелательного цветового оттенка (который придают стеклу в основном оксиды железа) при получении бесцветных стекол в состав стекольной шихты вводят обесцвечиватели. Различают физические, химические и смешанные обесцвечиватели.

Сущность *физического* обесцвечивания заключается во введении в состав стекла красителей, которые окрашивают его в цвет, дополнительный к окраске соединениями железа. В результате такого двойного окрашивания стекло приобретает нейтральный, серый оттенок, но его светопропускание понижается. Следует различать светопрозрачные и обесцвеченные стекла. В качестве физических окислителей применяют селен, оксид никеля, небольшие добавки оксида кобальта.

Химическое обесцвечивание сводится к тому, чтобы по возможности перевести содержащийся в стекле оксид железа (II) в оксид железа (III) (FeO окрашивает стекло в 10 раз интенсивнее, чем Fe_2O_3). В качестве химических обесцвечивателей применяют сильные окислители: селитру, оксиды мышьяка, сурьмы и др.

Смешанные обесцвечиватели производят одновременно и физическое, и химическое обесцвечивание. Наиболее характерным обесцвечивателем данного типа является пиролюзит MnO_2.

Для получения непрозрачного (глушеного) стекла применяют *глушители*. В основном это соединения фтора и фосфора.

К осветлителям относятся материалы, способствующие удалению из стекломассы видимых мелких и крупных газообразных пузырей. В их качестве применяют материалы, которые под воздействием высоких температур разлагаются с выделением большого количества газообразных веществ (селитры, аммонийные соли и даже сырая древесина).

Ряд химических соединений ускоряет варку стекломассы, понижает температуру варки. В качестве ускорителей варки стекломассы используют соединения фтора, аммонийные соли, хлорид натрия и др.

Показателями ряда потребительских свойств являются физико-

Витебский государственный технологический университет

химические свойства стекол. Плотность стекла изменяется от 2 г/см^3– у кварцевого стекла и до 8 г/см^3– у высокосвинцового хрусталя. Она зависит от наличия в составе стекла оксидов тяжелых металлов и влияет на массу изделий, а также на оптические и термические свойства. С увеличением плотности возрастают показатель преломления, блеск, игра света на гранях, однако термостойкость и прочность снижаются.

Механические свойства стекла характеризуются отсутствием пластических деформаций, высокой прочностью при сжатии (500–800 МПа) и низкой при растяжении и изгибе (25–100 МПа) и особенно при ударе (15–20 МПа). Прочность стекла зависит от химического состава: увеличивается при наличии в составе оксидов кремния, алюминия, бора, магния и уменьшается в присутствии оксидов свинца и щелочных металлов. Твердость стекла также зависит от химического состава и находится в пределах 5–7 (по шкале Мооса).

Теплофизические свойства стекла характеризуются низкой теплопроводностью (0,6–0,8 Вт/(мК)), значительной теплоемкостью и небольшим термическим расширением. Термостойкость изделий из стекла увеличивается с повышением механической прочности, теплопроводности и уменьшением термического расширения и теплоемкости. Например, термостойкость кварцевого стекла составляет 1000°С, а посуды из сортового стекла – 95°С.

Звукоизолирующая способность стекла достаточно высокая. Стекло толщиной 1 см по звукоизоляционным свойствам соответствует кирпичной стене толщиной в 12 см.

Оптические свойства стекол достаточно разнообразны. Стекла могут быть прозрачными (коэффициент пропускания 0,85 и более) и заглушенными, бесцветными и окрашенными, с блестящей и матовой поверхностью.

Химическая устойчивость стекла весьма высокая, особенно по отношению к воде, органическим и неорганическим кислотам (за исключением фтороводородной).

Материалы, применяемые в керамической промышленности

Керамика – один из самых древних искусственных материалов. Уже первобытные люди умели применять обожженную глину для изготовления простейших сосудов. Свойства, характерные для керамики (высокая гигиеничность глазурованной поверхности и природная декоративность наряду с низкими показателями прочности) обусловили ее применение для производства в основном бытовой посуды и художественно-декоративных изделий.

Материалы, применяемые в керамической промышленности, делят на *основные и вспомогательные*. Первые идут на образование черепка, глазури и получение керамических красок, вторые – для изготовления форм (формования) и капселей, применяемых при обжиге изделий.

Витебский государственный технологический университет

Основные материалы подразделяются на пластичные и непластичные. Пластичные при смешивании с водой способны принимать под действием внешних сил ту или иную форму и сохранять ее после сушки и обжига. Они представляют собой тонкодисперсные горные породы осадочного происхождения. К основным пластичным материалам относятся *глина, каолин и бентонит*.

Глины разнообразны по химическому и минералогическому составу и свойствам. Пригодность их для изготовления керамических изделий, помимо состава, определяется пластичностью (связующей способностью), усадкой (воздушной и огневой), огнеупорностью, интервалом спекания, белизной и др.

Химический состав глин колеблется в значительных пределах. Основными соединениями, содержащимися в них, являются кремнезем (до 80 %), оксид алюминия и вода. С повышением содержания в глинах кремнезема снижаются их пластичность, прочность при сжатии и изгибе и резко повышается пористость. Из глин, содержащих более 80 % SiO_2, получить изделие практически невозможно.

Примеси соединений железа в глинах снижают их огнеупорность, обусловливают деформацию и образование таких дефектов, как выплавки и мушки, которые ухудшают внешний вид товаров. Изделия, изготовленные из глин с повышенным содержанием оксидов железа, имеют темную окраску (от светло-желтой до коричневой).

Под усадкой глины понимают изменение линейных размеров образца из нее под влиянием процессов сушки и обжига. Усадка происходит в результате того, что при испарении влаги в изделии появляются напряжения сжатия. Воздушная усадка глин колеблется от 6 до 10 %. При обжиге глины спекаются, уплотняются и уменьшаются в объеме от 5 до 20 %. Большая воздушная и огневая усадка приводит к деформации изделий и появлению трещин. Усадка зависит от пластичности глины, с повышением которой она увеличивается.

Огнеупорность характеризуется способностью глин сопротивляться действию высоких температур без расплавления. Она влияет на температуру обжига изделий. Огнеупорность зависит от примесей щелочных и железистых оксидов: чем их больше, тем она ниже. Увеличение содержания в глине оксида алюминия повышает ее огнеупорность. По степени огнеупорности глины делят на огнеупорные (с температурой плавления выше 1580 °С), тугоплавкие (от 1350 до 1580 °С) и легкоплавкие (ниже 1350 °С).

Для изготовления фарфоровых и фаянсовых изделий применяют огнеупорные глины, состоящие в основном из каолинита. От каолина огнеупорные глины отличаются большей дисперсностью, пластичностью, менее выраженным кристаллическим строением и большим содержанием окрашивающих примесей, дают более темный черепок. Они имеют больший интервал спекания. Тугоплавкие и легкоплавкие гли-

Витебский государственный технологический университет

ны, содержащие больше плавней (от 10 до 30 %) и других примесей, применяют для изготовления майоликовых изделий.

Каолин относится к мономинеральным породам и состоит в основном из минерала каолинита. В отличие от глины он имеет ярко выраженное кристаллическое строение, меньшую пластичность и большие огнеупорность и температуру спекания, что затрудняет формование из него изделий. Каолин содержит меньше примесей, в том числе и окрашивающих. При обжиге дает черепок белого цвета, что очень ценится в производстве фарфоровых и фаянсовых изделий.

Для повышения пластичности и улучшения формующих свойств в массу добавляют *бентонит*. Бентонитовые глины представляют собой продукт гидратации и гидролиза стекловидной фазы пеплов, туфов и лав. При смешивании с водой они сильно набухают, увеличиваются в объеме до 10 раз и образуют гелеобразную массу. В керамической промышленности их используют в качестве добавок (от 3 до 5 %) взамен огнеупорной глины (8–15 %). Это позволяет сохранить хорошую формующую способность массы и за счет увеличения содержания в ней каолина повысить белизну изделий. Бентониты имеют огнеупорность 1300–1400 ° С и играют роль пластификатора и минерализатора, способствуя ускорению процессов образования керамического черепка.

Отощающие материалы применяют для регулирования технологических свойств и получения изделий с заданными свойствами (уменьшения усадки, деформации и растрескивания изделий). Их делят на *искусственные и естественные.*

К *искусственным* относится шамот, представляющий собой обожженную при температуре 700–900 °С глину. При обжиге из нее удаляется химически связанная вода, и она теряет пластические свойства. В качестве отощающего материала используют также отходы производства (бой).

Естественные отощители – кварц, кварцевый песок, кремень и другие, которые не обладают пластическими свойствами. При температуре ниже 1000°С эти материалы повышают капиллярность массы, что способствует ускорению процессов сушки изделий. Отощающие материалы образуют как бы каркас, который цементируется при сушке и обжиге пластичными материалами.

Содержание отощающих материалов в керамических массах колеблется в пределах от 30 до 80 %. Влияние таких материалов на свойства массы и готовых изделий зависит от их природы и количества, гранулометрического состава и температуры обжига. При увеличении размера зерен шамота уменьшаются усадка и прочность на сжатие и повышаются пористость и термическая стойкость готовых изделий.

При введении кварца учитывают его полиморфные превращения в пределах, которые могут привести к образованию трещин на изделиях.

К *плавням* относятся вещества, которые при взаимодействии с

Витебский государственный технологический университет

компонентами керамических масс образуют легкоплавкие соединения. Их вводят в состав масс для снижения температуры обжига. При этом повышается плотность изделий, и уменьшаются их прочность и термическая стойкость. При увеличении плавней в массе возрастает содержание стекловидной фазы, в результате чего улучшается просвечиваемость изделий. В качестве плавней используют полевые шпаты, пегматиты, мел, нефелиновые сиениты, сподумены и другие вещества. В массу вводят от 5 до 30 % плавней.

Глазурь представляет собой тонкий стекловидный слой на поверхности керамических изделий. Ее наносят для защиты поверхности от загрязнений, придания декоративности, а также повышения газо- и водонепроницаемости черепка. Глазурь отличается от черепка большим содержанием плавней и меньшим количеством глинистых веществ. Закрепляют глазурь на поверхности черепка обжигом.

Глазури различают по химическому составу, температуре плавления и прозрачности. По составу они бывают полевошпатовыми, баритовыми, титановыми, стронциевыми, циркониевыми и др. По температуре плавления они бывают легкоплавкими и тугоплавкими. Глазури с повышенным содержанием кремнезема и пониженным щелочных и щелочноземельных элементов являются тугоплавкими, а с повышенным содержанием щелочных и щелочно-земельных элементов и меньшим количеством кремнезема – легкоплавкими. Температура плавления тугоплавких глазурей 1400–1370°С, легкоплавких 1250–1080 °С и ниже.

Различают глазури прозрачные и глухие, бесцветные и цветные. Глухие содержат нерастворимые или плохо растворимые соединения в виде двуокиси олова или циркония, титана, церия и др. В состав цветных глазурей входят красители, применяемые в этой отрасли промышленности. Глухими и цветными глазурями скрывают дефекты черепка, а также естественную окраску, чтобы придать ему большую декоративность.

Прозрачные и бесцветные глазури применяют при нанесении подглазурных украшений на черепок белого цвета. Глазури должны соответствовать основному черепку по коэффициенту термического расширения, иначе может произойти разрушение глазурного слоя (цек или отскок). Они также должны обладать высокой химической и термической стойкостью, механической прочностью, хорошо сплавляться с черепком, равномерно разливаться по поверхности изделий и придавать ей блеск. Глазури не должны содержать вредных для организма человека веществ.

Керамические краски используют для украшения фарфоровых, а также фаянсовых, майоликовых и других изделий. К ним относятся оксиды различных металлов, в том числе и редкоземельных, которые при нагревании образуют с силикатами окрашенные соединения на черепке. Кроме красящих веществ, они содержат легкоплавкое стекло, или флю-

Витебский государственный технологический университет

сы. Последние способствуют равномерному распределению пигмента и сцеплению с черепком. Керамические краски делят на подглазурные, которыми покрывают неглазурованный черепок, и надглазурные. Их наносят на предварительно заглазурованный черепок.

Подглазурные краски после нанесения на черепок покрывают глазурью и закрепляют при политом обжиге. Они должны выдерживать газовую среду и температуру политого обжига, а также воздействие глазури. Эти краски более тугоплавки благодаря тому, что находятся под слоем глазури. Они более стойки к химическим и механическим воздействиям при эксплуатации изделий и, кроме того, обладают повышенным блеском. Ассортимент подглазурных красок ограничен, потому что не всякое красящее вещество способно выдержать высокую температуру политого обжига (особенно фарфора – 1350–1400 °С) без разрушения и изменения цвета.

Для получения подглазурных красок используют в основном оксиды кобальта (синие и голубые тона), хрома (зеленые и красные), урана и титана (желтые), железа (коричневые и красные), марганца (розовые, фиолетовые и коричневые). Оксиды железа, хрома, марганца и цинка в смеси дают гамму цветов от темно-коричневого до черного; оксид хрома в сочетании с оксидом олова – гамму красных цветов.

Подглазурные краски применяют для украшения фаянсовых изделий, температура политого обжига которых 1050–1180 °С, и реже – фарфоровых (кроме кобальтовых).

Надглазурные краски более легкоплавки, скорее разрушаются от химических и механических воздействий. Закрепляют их муфельным обжигом при температуре 600–840 °С. Ассортимент надглазурных красок более разнообразен. Они представляют собой легкоплавкое стекло, в котором во взвешенном состоянии находится красящее вещество. В качестве красящих веществ используют окислы хрома, железа, марганца, сурьмы, кобальта, меди, олова, а также их соединения с алюминием и кремнеземом. Надглазурные краски чаще используют для украшения фарфоровых изделий.

Наряду с красками применяют *люстры*, представляющие собой особый вид глазурей с металлическим блеском. Они являются сплавами тяжелых металлов с канифолью и бывают бесцветными или цветными. Бесцветные люстры получают на основе висмута, свинца, цинка и алюминия. К цветным относятся железные, кобальтовые, урановые, хромовые и др. Закрепляют люстры на поверхности черепка при температуре около 800 °С. При этом происходит диффузия металла в слой глазури, что и обусловливает характерный радужный блеск, возникающий вследствие интерференции падающих и отраженных световых лучей.

Для украшения керамических изделий широко применяют препараты жидкого и порошкообразного золота, а также серебра. Жидкое золото – раствор органического соединения золота в смеси скипидара и

Витебский государственный технологический университет

хлороформа. Металлического золота в препарате содержится от 10 до 15 %.

Керамические материалы выгодно отличаются от металлических и полимерных следующими свойствами: многофункциональностью, доступностью сырья, низкой энергоемкостью производства, возможностью создания экологически безопасных технологий получения, коррозионной стойкостью, биологической совместимостью, возможностью регулирования свойств материала в широких пределах за счет изменения структуры, низкой плотностью.

К минералам относятся также ***камни***, применяемые в производстве ювелирных изделий. Их подразделяют на *природные* и *искусственные*.

Природные камни могут быть минерального (алмаз, рубин, аметист и др.) и органического происхождения (жемчуг, янтарь, коралл). Их делят на *драгоценные, полудрагоценные* и поделочные. Искусственные камни, как правило, имеют минеральную основу.

Драгоценные камни минерального происхождения (самоцветы) характеризуются высокой прозрачностью, твердостью, красивой игрой света. К ним относят алмаз, изумруд, рубин, сапфир. Мерой веса драгоценных камней является карат (0,2 г).

Алмаз – самый твердый камень, состоящий из кристаллического углерода. Отличается сильным блеском и высоким показателем преломления света. Граненый алмаз называется бриллиантом. Основными параметрами, характеризующими бриллианты, является форма, масса, цвет, дефектность и геометрические размеры. Наиболее ценными являются бесцветные алмазы, а также камни с голубой, синей, красноватой или зеленоватой окраской.

*И*зумруд – это разновидности минерала берилла. Камень зеленого цвета, по твердости уступает рубину и сапфиру, хрупок.

Рубин и сапфир – самые твердые после алмаза камни. Основу их составляет кристаллический глинозем (корунд). Окраска определятся присутствием незначительных примесей оксидов металлов. Рубины имеют красный цвет. Сапфиры чаще синие, иногда встречаются красновато-синие или фиолетовые.

Полудрагоценные камни отличаются разнообразием. Эти камни прозрачные и полупрозрачные, бесцветные или цветные. Неодинаковы и их свойства, определяемые преимущественно химическим составом, внутренним строением. По химическому составу выделяют несколько групп полудрагоценных камней: группа берилла (аквамарин, александрит), группа кварца (аметист, горный хрусталь, опал) и др. Мерой веса полудрагоценных камней является грамм.

Аквамарин – камень синевато-голубых оттенков, напоминающих морскую воду.

Александрит – изумрудно-зеленого цвета при дневном освещении

Витебский государственный технологический университет

и фиолетово-красного – при искусственном.

Аметист – фиолетового или голубовато-фиолетового цвета.

Горный хрусталь – прозрачный, бесцветный.

Опал – полупрозрачный, чаще молочно-белый.

Бирюза – непрозрачный минерал небесно-голубого цвета.

Гранат – имеет по цвету более 30 оттенков (наиболее ценятся камни темно-красного цвета).

Топаз – бесцветный, винно-желтый, розовый и др. оттенков.

Поделочные камни – это непрозрачные или слабо просвечивающиеся цветные минералы. Ценность их зависит от яркости окраски, изящества и богатства рисунка. Из поделочных камней в ювелирной промышленности применяются агат, нефрит, яшма, малахит и др.

Агат – полупрозрачный, просвечивающийся, многоцветный (до 20 оттенков), рисунчатый (полосатый, слоистый) камень. Разновидность агата, имеющего полоски черного и белого цвета, называют *ониксом.*

Нефрит – полупрозрачный камень, преимущественно зеленых оттенков, после полирования имеет маслянистый блеск.

Яшма – непрозрачный камень, отличается разнообразием цветовой гаммы.

Малахит – непрозрачный ярко-зеленый камень со сложным извилистым рисунком.

Витебский государственный технологический университет

4. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Лекция 4.1 Структура композитов

Композиционные материалы представляют собой многофазные системы, которые состоят из двух или более компонентов, сохраняющих индивидуальность (структуру и свойства) своего вещества в составе композита. Чаще всего композит образован объемным сочетанием химически разнородных фаз. Размер фазовых включений в композиционном материале обычно превышает разрешающую способность оптического микроскопа (около 0,3 мкм).

Классификация композиционных материалов может быть осуществлена по нескольким существенным с позиций материаловедения критериям: происхождению, назначению, типу материала матрицы, природе компонентов, размеру фазовых включений, признакам структуры, методам получения.

По происхождению различают природные, искусственные и синтетические композиционные материалы. Природные композиты находятся в готовом виде. Искусственные и синтетические композиты являются продуктом трудовой деятельности человека.

По назначению композиты подразделяются на две большие группы – материалы общетехнического и специального назначения. Первые предназначены для восприятия и передачи механической нагрузки. Из них изготавливают элементы конструкций. Вторые (тоже могут быть конструкционными) выполняют в составе изделий специальные функции: снижение трения и изнашивания подвижных сопряжений, защита от коррозии металлических деталей; звуко- и теплоизоляция и т. п. По материалу матрицы различают:

- полимерные композиты (термопластичные, на основе реактопластов, на основе смесей полимеров);
- металлические композиты (в том числе получаемые методом порошковой металлургии и сплавы, состоящие из макронеоднородных фаз);
- керамические и другие неорганические композиты (на основе неорганических полимеров, на минеральной, углеродной, оксидной и других неорганических матрицах);
- комбинированные (полиматричные) композиты.

Матрица придает изделию из композита заданную форму и монолитность, обеспечивает передачу и распределение нагрузки в объеме материала, защищает армирующие элементы от внешних воздействий. Тип матрицы в наибольшей мере определяет диапазон рабочих температур, коррозионную стойкость, электрические свойства, теплофизические характеристики, кинетические закономерности старения, технологию изготовления и важнейшие эксплуатационные характеристики ком-

Витебский государственный технологический университет

позиционного материала и изделий из него.

По природе компонентов, вводимых в матрицу, композиты подразделяются на группы, соответствующие признакам модифицирующих компонентов. Номенклатура последних очень широка и включает практически все технические материалы, поэтому классификация композитов по этому признаку имеет иерархическую структуру. Первой ступенью в ней является разделение композитов на наполненные и армированные.

Наполненные композиты содержат в матрице наполнители – дисперсные (т. е. раздробленные, мелкие) частицы неорганических и органических веществ, которые могут находиться в любой фазе. Наполнители выполняют в композитах следующие функции: изменяют механические показатели композитов и придают им специальные свойства (электрическую проводимость, химическую стойкость, звукопоглощение и т. д.); улучшают технологичность композитов, т. е. их приспособленность к переработке в изделия (например, антифрикционные компоненты улучшают прессуемость порошковых смесей; пластификаторы увеличивают смачивание связующим порошковых частиц; активные добавки усиливают адгезию компонентов и т. п.); снижают стоимость изделий, так как наполнители (например, газовые включения, песок, каолин и др.), как правило, дешевле связующих.

Армированные композиты имеют в составе армирующие элементы (арматуру) более прочные, чем матрица. При эксплуатации изделия они воспринимают значительную часть приложенной к нему механической нагрузки. С помощью наполнителей прочность матрицы можно увеличить в 1,5–2,0 раза, а путем армирования – на порядок и более. Кроме того, армирующие элементы могут придавать композитам тепло- и электропроводность, а также такое специфическое свойство, как радиопоглощение (способность поглощать электромагнитные волны радиодиапазона), анизотропию механических и других свойств, создавать необычную структуру поверхностного слоя и т. д. Вклад армирующих компонентов (волокна, нити, ткани, листовые материалы, объемные волокнистые или пористые элементы и др.) в свойства композитов нередко является определяющим, поэтому в названиях композитов часто находит отражение химическая природа арматуры – графитопласты, металлокерамика, стекловолокниты и т. п.

В состав композитов могут одновременно входить и наполнители, и армирующие элементы.

По размеру фазовых включений разработчики материалов изначально отличали композиты от однородных по структуре материалов. Типичным признаком композита являются различимые в его структуре невооруженным глазом разнородные включения. По мере того, как технология получения материалов совершенствовалась, компоненты становились все более мелкими, так что различать их во многих случаях

Витебский государственный технологический университет

приходилось с помощью микроскопа (размер частиц порядка 1 мкм). На рубеже XX – XXI вв. возникла тенденция формирования композиционных материалов из частиц нанометрового размера (10^{-9} м). Значительную долю объема такой частицы занимает поверхностный слой, поэтому свойства столь малой частицы отличаются от свойств составляющего ее вещества, когда оно находится в достаточно большом количестве (макрообъем). В технологических операциях формирования композита, состоящего из наночастиц, огромную роль играют поверхностные явления. *Нанокомпозит* – композиционный материал, компоненты которого имеют размерность коллоидных частиц (10^{-9}–10^{-7} м). Высокая прочность нанокомпозитов реализуется в наибольшей мере, если компоненты в виде частиц нанометрового размера имеют равные объемные доли и равномерно распределены в объеме изделия. Главное достоинство нанокомпозитов – высокая ударная вязкость. Сила удара поглощается миллионами индивидуальных наночастиц. Это приводит к диссипации (рассеянию) энергии во множестве микротрещин, которые не нарушают целостность композита.

Классификация композитов по размеру фазовых включений имеет философский аспект: какой должен быть минимальный размер компонента, находящегося в матрице, чтобы термин «композиционный материал» не стал настолько общим, что включал бы практически все материалы? Действительно, межатомные расстояния в молекулах имеют порядок 10^{-10} м, расстояния между повторяющимися элементами кристаллической структуры – 10^{-10}–10^{-9} м, а размер наименьших межмолекулярных пустот в полимерах – 10^{-8} м. Средние размеры наночастиц (углеродная сажа – 10^{-8} м, пигменты для пластмасс – 10^{-8}–10^{-5}, диаметр монокристаллических волокон или «усов» – 10^{-7}–10^{-5}, стеклянных микросфер – 10^{-6}–10^{-4} м) соизмеримы с приведенными параметрами монолитных простых материалов, т. е. нанокомпозиты занимают в совокупности технических материалов место между композиционными и простыми материалами.

По признакам структуры различают дисперсно-наполненные, волокнистые, слоистые, каркасные и комбинированные композиты.

Дисперсно-наполненные композиты состоят из непрерывной матрицы, в которой распределена дисперсная фаза в виде твердых частиц (порошка, коротких волокон, микросфер и т. п.) либо включений жидкости или газа (рисунок 4.1). Частицы дисперсной фазы могут быть расположены в матрице хаотически (а, б), но чаще их стараются разместить в определенном порядке (в, г, д). При хаотическом расположении частиц материалы *изотропны*, т. е. их свойства одинаковы во всех направлениях. Если наполнитель ориентирован в матрице определенным образом (в) или дисперсные частицы распределены в матрице неравномерно (г), с градиентом концентрации (градиент – вектор grad *и,* характеризующий интенсивность изменения скалярного поля *и),* то композиты

Витебский государственный технологический университет

анизотропны, т. е. их свойства зависят от направления. Анизотропия, «проектируемая» в композиционных материалах с целью придания изделиям определенных свойств, называется конструкционной. Технологическая анизотропия возникает самопроизвольно вследствие протекания процессов формирования композитов. Физическая анизотропия присуща кристаллическим материалам и связана с особенностями их кристаллизации. Композиционный материал *квазиизотропен:* он анизотропен в микрообъемах, но изотропен в целом (схема приведена на рисунке 4.1 д).

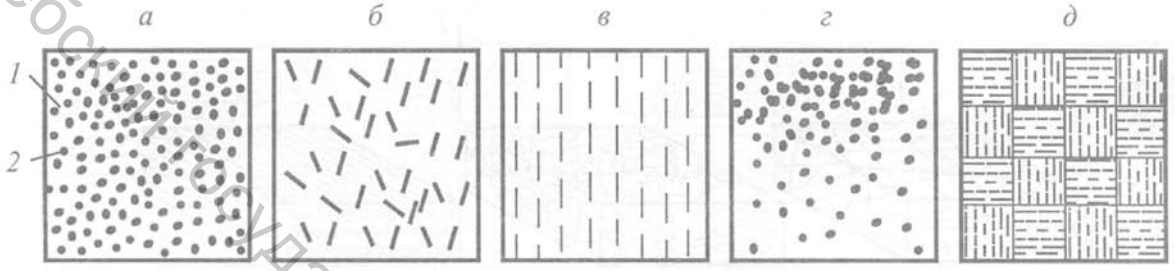


Рисунок 4.1. – Схемы структуры дисперсно-наполненных композитов: наполнители в виде: а, г - частиц порошка, включений жидкости или газа; б, в, д, – коротких волокон; композиты: а, б – изотропные; в, г – анизотропные; д – квазиизотропные; 1 –матрица; 2 – дисперсная частица

Волокнистые композиты – материалы с непрерывной матрицей, соединяющей длинные волокна (рисунок 4.2). При хаотическом расположении однонаправленных (а) или извитых (б) волокон композиты изотропны. Одноосное ориентирование волокон (в) придает композиту анизотропию. В плоскости YZ, перпендикулярной направлению X укладки волокон, такой композит изотропен. Подобные материалы относят к классу *трансверсально-изотропных.*

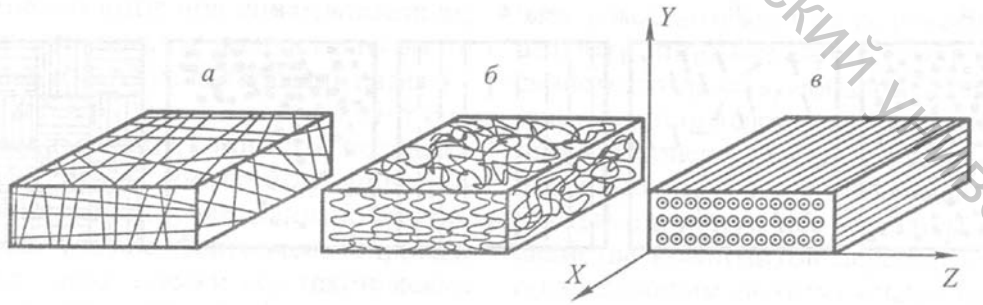


Рисунок 4.2 – Схемы структуры волокнистых композитов:
а, б – изотропных; в – анизотропного

Слоистые композиты – материалы, состоящие из листовых или расположенных послойно волокнистых компонентов, скрепленных между собой с помощью связующего. На рисунке 4.3 представлены основные типы таких материалов. Простейшим из них является композит

Витебский государственный технологический университет

со структурой в виде чередующихся горизонтальных слоев ориентированных волокон, которые направлены по нормали друг к другу(а).

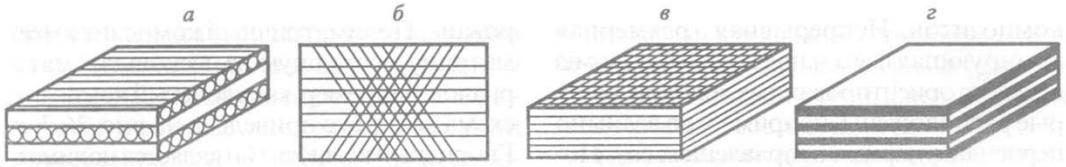


Рисунок 4.3 – Схемы структуры слоистых композитов:
а – волокна расположены взаимно перпендикулярно; б – звездная укладка волокон; в – слои выполнены из ткани; г – материал состоит из листовых компонентов

Угол между волокнами, лежащими в соседних слоях, может отличаться от 90°. Такую укладку волокон называют звездной (б). Если угол между волокнами смежных слоев меньше 72°, композит со звездной укладкой обладает изотропией деформационно-прочностных характеристик в плоскостях, параллельных слоям. Композит может быть образован слоями ткани (в) или нетканого волокнистого материала, состоять из листовых (бумага, фольга, пленка) компонентов (г). Регулированием расположения нитей в тканях можно улучшить прочностные и некоторые другие свойства композитов, но это обычно приводит к увеличению их стоимости. Снижение стоимости, как правило, достигается при использовании нетканых волокнистых материалов. Видно, что не для всех слоистых композитов понятие матрицы имеет тот смысл, какой вкладывается в него при определении дисперсно-наполненных и волокнистых композитов: «непрерывная фаза, содержащая все другие компоненты». Матрица слоистых композитов расположена дискретно, и ее можно считать непрерывной только в тех случаях, когда листовые компоненты несплошны или между волокнами в слоях имеются промежутки. Материал матрицы находится в этих несплошностях или промежутках, соединяет верхний и нижний слои матрицы, образуя объемную структуру. К матрице слоистых композитов в наибольшей мере подходит термин «связующее».

Каркасные композиты – материалы, состоящие из двух или более непрерывных фаз. На рисунке 4.4 приведены схематические изображения структур каркасных композитов. Непрерывная трехмерная армирующая фаза чаще всего состоит из семейств ориентированных волокон, которые расположены, например, во взаимно перпендикулярных направлениях (а). Подобный каркас может быть образован не только тремя, но и *n* семействами волокон. Еще один типичный каркасный композит – пористая матрица, пропитанная жидким отверждающимся компонентом (б).

Витебский государственный технологический университет

Считают, что фаза непрерывна, если образующие ее структурные элементы находятся в контакте друг с другом. Примером такой фазы служит каркас, состоящий из плотноупакованных сфер (в). Его физические свойства, например, электропроводность, аналогичны свойствам сплошного материала этой же фазы. Подобное проявление свойств характерно для частиц углеродной сажи в резине.

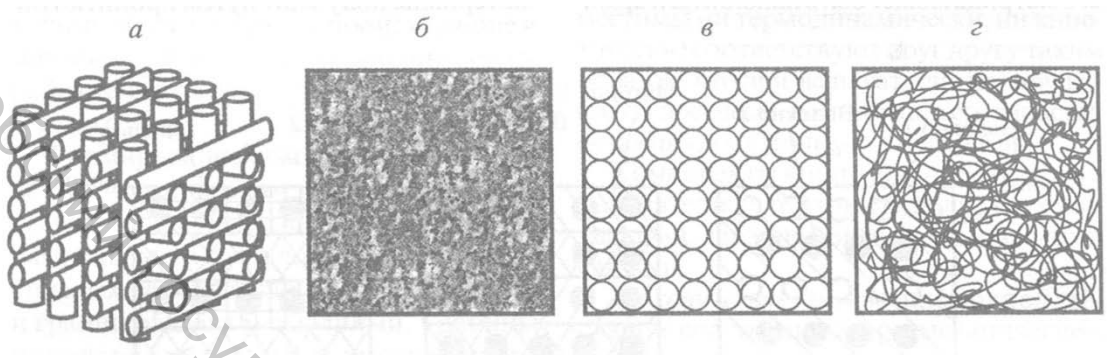


Рисунок 4.4 – Схемы структуры каркасных композитов:
а – каркас образован волокнами, ориентированными во взаимно перпендикулярных направлениях; б – пористый каркас пропитан отверждающимся компонентом; в – каркас образован плотноупакованными сферами; г – каркас в виде объемной структуры из длинномерных волокон

На рисунке 4.4 (г) изображен композит, каркас которого имеет вид объемной структуры, состоящей из длинномерных волокон. Промежутки между ними заполнены второй непрерывной фазой.

Комбинированные композиты имеют признаки, дающие основания отнести их к нескольким структурным типам композиционных материалов. Полиармированный (рисунок 4.5 а) композит содержит два или более различных по природе и (или) структуре армирующих элемента, например, его матрица может быть наполнена и армирована. Полиматричный композит имеет матрицу, состоящую из нескольких материалов, например, как слоистый композит, схема которого приведена на рисунке 4.5 (б). Гибридный композит (в) является полиматричным и полиармированным. Гибридные композиты, как правило, формируют одновременно с изделием. Благодаря этому соответствующий компонент (материал матрицы, частицы наполнителя, армирующий элемент, имеющие заданные химическую природу и структуру) удается разместить в нужном месте конструкции, где его свойства реализуются наиболее полно.

По методам получения композиты подразделяют на классы в зависимости от нескольких признаков.

Витебский государственный технологический университет

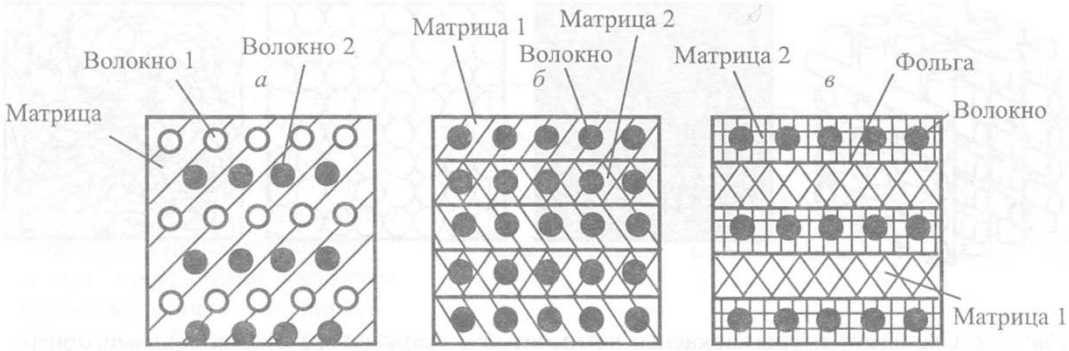


Рисунок 4.5 – Схемы комбинированных композитов:
а – полиармированный; б – полиматричный; в – гибридный

Наиболее общей является классификация *по фазовому состоянию* компонентов во время их соединения в композиционный материал. Компоненты могут находиться в твердой или жидкой фазах, могут быть осаждены с помощью газофазных процессов, связаны в композит с применением вязкотекучего состояния одной или нескольких фаз, наконец, композит может быть сформирован путем комбинирования названных состояний компонентов.

Перспективы использования композитов

Прогресс техники всегда базировался, прежде всего, на росте производства и расширении номенклатуры конструкционных материалов, главным свойством которых является высокая прочность. Успехи физических наук, металловедения и технологии металлов позволили увеличить предел прочности алюминиевых сплавов и сталей до 1200 и 2200 МПа соответственно. Считается, что резервы дальнейшего экономически целесообразного повышения прочностных характеристик металлов практически исчерпаны. Существенный рост производства металлических материалов приводит к их удорожанию и истощению наиболее богатых и доступных месторождений руд. Кроме того, добыча, транспортировка и переработка металлических руд сопряжены с громадными материальными затратами и загрязнением окружающей среды.

Создание и применение композитов – один из наиболее перспективных путей обеспечения производства конструкционными материалами, позволяющими повысить рабочие параметры новой техники и экономию ресурсов.

Современные композиты сочетают высокую прочность и незначительную массу. Их использование в машинах, оборудовании, сооружениях позволяет снизить вес конструкции на 25–50 %, трудоемкость их изготовления – в 1,5–3 раза, энергоемкость производства – в 8-10 раз, материалоемкость – в 1,6–3,5 раза. За счет применения композитов можно в 1,5–3 раза увеличить технический ресурс машин, снизить до минимума потери от коррозии, расход топлива и т. д.

Витебский государственный технологический университет

Определились две области высокоэффективного использования композиционных материалов: в качестве заменителей наиболее дефицитных традиционных материалов – цветных металлов, металлических профильных материалов, натуральной кожи, тканей, редких пород древесины и др. – как конструкционных материалов многофункционального назначения.

Первое направление реализуют путем использования в качестве сырьевой базы для производства композитов отходов промышленности и сельского хозяйства – опилок, обрезков синтетических волокон, отходов зернового производства, химической промышленности и т. п. Из композитов этого типа изготавливают:

- древесно-полимерные и волокнистые листовые материалы для отделки интерьера кабин автомобилей, тракторов, комбайнов и других машин;
- длинномерные профильные материалы, используемые в качестве направляющих станков и подъемно-транспортных механизмов, для устройства окон, дверей и отделки помещений на строительных объектах;
- теплоизоляционные, звуко- и вибропоглощающие панели и покрытия;
- малонагруженные корпусные изделия.

Второе направление – разработка нового поколения технических изделий. Конструкционные композиты со специальными функциональными свойствами (низкая плотность, высокая термо-, износо- и коррозионная стойкость, устойчивость к воздействию динамических и ударных нагрузок) нашли свою нишу в электро- и радиотехнике, электронике, авиации, космическом, автомобиле- и судостроении, военной технике.

Многие научные коллективы в развитых странах мира работают над созданием «умных» композитов, способных не только «приспосабливаться» к условиям эксплуатации, но и обладающих обратной связью, с помощью которой регулируется степень «приспособления». По мнению специалистов НАСА (ведомство США по авиации и космической технике), человечество вступает в эпоху композиционных материалов, сконструированных с помощью компьютера. Компоненты этих композитов (нанокомпозитов) будут сконструированы на атомно-молекулярном уровне с тем, чтобы оптимально соответствовать требованиям эксплуатации, прежде всего, касающимся прочности и плотности материалов. Эти структуры определяют контуры будущих космических кораблей и образцов современной техники. Таким образом, на основе оценок специалистов материаловедения сложилось общественное мнение, что будущее – за композиционными материалами.

Витебский государственный технологический университет

Лекция 4.2 Композиционные пластики

Композиционные материалы на полимерной матрице (КПМ) содержат полимерное связующее (матрицу), которое объединяет все компоненты материала в единую структуру и обусловливает их совместную работу в составе КПМ.

К КПМ относятся многие пластмассы – материалы, основу которых составляют полимеры, находящиеся во время формования изделий в вязкотекучем или высокоэластическом состоянии, а при эксплуатации – в стеклообразном или кристаллическом состоянии.

Понятия «КПМ» и «пластмассы» неидентичны: они отличаются прежде всего содержанием терминов, обозначающих полимерные части этих материалов. Полимерный компонент КПМ называется «связующим», или «матрицей». Полимерная часть пластмасс называется «основой» и обозначает то, из чего преимущественно состоит материал. Номенклатура пластмасс ограничена физическим состоянием основы, для КПМ таких ограничений не существует. Итак, КПМ и пластмассы – разные классы полимерных материалов, и только некоторая часть последних может быть отнесена к обоим классам.

Начало КПМ положили искусственные материалы на полимерной матрице, созданные в середине XX в. и не укладывающиеся в рамки традиционных понятий материаловедения – пластмассы, армированные волокнами, тканями и объемными элементами; металлопласты, состоящие из чередующихся слоев металла и полимерного материала; полимерные микрокапсулы; сотопласты и др. В настоящее время номенклатура КПМ насчитывает сотни наименований материалов с уникальными удельной прочностью и коррозионной устойчивостью, регулируемыми магнитными и электрическими характеристиками, разнообразными функциональными свойствами. Верхняя граница рабочих температур КПМ соответствует +200...+400 °С, однако сочетание высокой прочности и стойкости к коррозии делает их перспективным материалом авиа-, авто- и судостроения, сельскохозяйственного машиностроения, систем трубопроводного транспорта.

Матрицами КПМ могут быть любые органические полимеры. В качестве наполнителей и армирующих компонентов КПМ используют материалы в любой фазе.

Как структурно единый материал КПМ превосходит отдельные компоненты по средним или суммарным показателям свойств, обнаруживая синергетический эффект. Необходимый уровень адгезии между компонентами в большинстве КПМ нельзя обеспечить путем только механического контакта компонентов. В то же время образование химических связей между полимерной матрицей, для которой характерны устойчивые ковалентные связи, и компонентами с преобладанием металлических или ионных связей не всегда возможно. Для улучшения адге-

Витебский государственный технологический университет

зии в КПМ широко используют модифицирование поверхностного слоя компонентов. При смачивании армирующих элементов и частиц наполнителя расплавом или раствором полимерного материала увеличивается площадь касания компонентов и уменьшается вероятность образования на границе «матрица-наполнитель» газовых включений, являющихся концентраторами напряжений. В процессе отвердевания полимерного связующего вблизи границ раздела фаз развиваются механические напряжения, обусловленные усадкой матрицы и различием температурных коэффициентов расширения компонентов КПМ. При прочих равных условиях напряжения тем ниже, чем меньше модуль упругости полимерного связующего. Иногда химическая структура компонентов влияет на отверждение связующего таким образом, что напряжения в матрице увеличиваются.

Прочность КПМ выше, если распределение нагрузки между матрицей и усиливающими компонентами пропорционально их модулям упругости. Это условие практически выполняется, когда удлинение при разрушении полимерной матрицы больше или равно удлинению при разрушении усиливающего компонента.

Наполненные пластики

Наполненные пластики – название наиболее представительной по номенклатуре и объему потребления группы КПМ (пластики – то же, что пластмассы). В качестве дисперсных наполнителей полимерной матрицы таких материалов применяют твердые, жидкие и газообразные вещества. Выбор наполнителя, его содержание и распределение в матрице зависят от задач, решаемых при создании КПМ. Главными из них являются достижение нужных свойств и снижение стоимости материала, а также возможность регулирования свойств изделия. Номенклатуру наполненных пластиков образуют группы материалов конструкционного и специального назначения с дополнительными функциональными свойствами.

Порошковые пластики содержат дисперсные наполнители в твердой фазе. В эту группу входят следующие материалы.

Конструкционные (общетехнические) пластики– КПМ с матрицей из конструкционных термопластов, содержащей твердые дисперсные наполнители преимущественно неметаллической природы.

Металлонаполненные пластики – КПМ, содержащие в качестве наполнителя металлические порошки.

Металлонаполненные пластики имеют более высокие, чем исходные полимеры, показатели прочности, термостойкости и теплопроводности. Электрическая проводимость металлополимерных пластиков зависит от природы металла, степени наполнения, адгезии матрицы к частицам металла и технологии формования материала.

Металлические порошковые наполнители придают пластикам как конструкционным материалам дополнительные функциональные свой-

Витебский государственный технологический университет

ства: железо и никель – ферромагнетизм; алюминий и медь – низкую по отношению к газам и жидкостям проницаемость; свинец, кадмий, вольфрам – свойство поглощать излучение высоких энергий и т. д.

Металлонаполненные пластики применяют вместо цветных и драгоценных металлов при изготовлении подшипников, уплотнителей, электрических контактов, в производстве магнитных лент, экранов для защиты от электромагнитных волн и ионизирующих излучений, нагревателей, устройств для отвода статического электричества, элементов радио- и электротехники, в частности электропроводящих клеев для монтажа электронных приборов, и др.

Графитопласты – КПМ, содержащие в качестве наполнителя природный и искусственный графит или карбонизированные продукты (кокс, термоантрацит и т. п.). Характерным представителем графитонаполненных полиамидов является АТМ-2 – антифрикционный самосмазывающийся литьевой материал на основе капрона, обладающий повышенными механической прочностью, жесткостью, теплопроводностью, низким и стабильным коэффициентом линейного расширения.

Порошковые фено- и аминопласты имеют широкую номенклатуру, включающую материалы для литейных форм и стержней (наполнитель – кварцевый песок, 95 – 97 %), для абразивных инструментов (при наполнении корундом, оксидом алюминия, алмазами), теплообменной и химической аппаратуры и др.

КПМ, содержащие компоненты в жидкой фазе, – это материалы на полимерной матрице, снабженной порами, в которых находится жидкость. Технологическую основу большинства КПМ этого класса составляют студни.

Студни полимеров – структурированные системы полимер-растворитель, образующиеся при отверждении растворов полимеров или набухании твердых полимерных материалов. Для студней характерны большие обратимые деформации при почти полном отсутствии течения. Специфическим свойством студней является синерезис – самопроизвольное уменьшение объема, сопровождающееся отделением жидкости.

Антимикробные полимерные материалы содержат препараты, обладающие свойством подавлять жизнедеятельность микроорганизмов (бактерицидные) или ограничивать их развитие (бактериостатические). В качестве антимикробных препаратов применяют химические консерванты (сорбиновую, бензойную, нитробензойную кислоты, их соли и эфиры), антибиотики (низин, тетрациклин и их производные), ионы металлов (серебра, меди, цинка, ртути) и др.

Ионообменные смолы, или *синтетические органические иониты*,– это нерастворимые в воде и органических растворителях высокомолекулярные полиэлектролиты – полимеры, в состав которых входят группы, распадающиеся на ионы в растворе. При контактировании ионитов

Витебский государственный технологический университет

с растворами электролитов имеет место обмен подвижных ионов смолы на ионы электролита.

Противокоррозионные пластики – КПМ, содержащие ингибиторы коррозии металлов. В зависимости от назначения и условий эксплуатации используют полимерные материалы с матрицами, снабженными системами сообщающихся или закрытых пор. В первом случае выделение ингибиторов коррозии из матрицы на поверхность сопряженной металлической детали происходит самопроизвольно, во втором – открытие пор, в которых заключен ингибитор, имеет место при внешних воздействиях (давлении, изнашивании и т. п.).

Микрокапсулирование – создание тонкой прочной оболочки вокруг микрообъемов газа, капель жидкости или твердых частиц. Полимерные микрокапсулы, содержащие малые объемы (от 10^{-6} до 1 мм^3) веществ в любой фазе, представляют собой специфический вид КПМ.

Полимерные оболочки (толщиной порядка 1–10 мкм) микрокапсул формируют методом пленкообразования из растворов расплавов, а также путем полимеризации или поликонденсации низкомолекулярных веществ. В качестве пленкообразующих материалов для оболочки капсул используют:

- высокомолекулярные соединения животного и растительного происхождения, например, белки (желатин, альбумин, казеин), декстрины (бактериальные полисахариды), производные целлюлозы, природные смолы (камеди, шеллак).

- синтетические полимеры и олигомеры – полиолефины, поливиниловый спирт, поливинилацетат и др., а также парафины и стерины.

Высвобождение капсулированного вещества из оболочек может происходить при их механическом разрушении (раздавливании, истирании, разрыве изнутри парами или газами, выделяющимися при изменении внешних условий), растворении оболочек или в результате диффузии капсулированного вещества через стенку микрокапсулы.

<u>*Армированные пластики*</u>

Армированные пластики – обширная группа КПМ, содержащих в качестве упрочняющего наполнителя волокнистые, тканевые, сеточные и листовые материалы. Различают волокнистые армированные пластики с полимерной матрицей, упрочненной непрерывными или дискретными волокнами, и слоистые, компоненты которых выполнены в виде послойно расположенных структурных элементов.

Для изготовления изделий из армированных пластиков применяют специальные технологические методы: намотки, контактного формования, штампования и др.

Волокнистые пластики – активно развивающийся вид конструкционных материалов. В настоящее время промышленность выпускает высокопрочные волокна широкой номенклатуры – угольные, борные, оксидные, полимерные и другие. Номенклатуру созданных на их основе

Витебский государственный технологический университет

волокнистых пластиков составляют следующие материалы.

Пластики, армированные природными волокнами, – один из первых и самых известных видов КПМ. Наполнителями чаще всего служат целлюлозные волокна, преимущественно хлопковые, а также волокна льна, конопли, сизаля, джута и др. В начале XX в. в качестве связующих использовали термореактивные полимеры, главным образом фенолоформальдегидную смолу резольного типа. В настоящее время наблюдается новая волна интереса к КПМ на природных волокнах, но на термопластичной матрице. Это обусловлено их технологичностью и легкостью вторичной переработки, что привлекло к ним внимание, прежде всего, производителей автомобилей. Армированные природными волокнами КПМ на основе полипропилена перерабатывают методами термоформования и литья в листы и маты, используемые в конструкции корпуса автомобилей. Природными волокнами усиливают полиуретановые детали кабины, что позволяет увеличить их жесткость и звукопоглощение, снизить плотность и стоимость.

Волокниты – пресс-материалы, состоящие из рубленого волокна, пропитанного термореактивной синтетической смолой. Волокниты, содержащие хлопковое или химическое волокно, называют органоволокнитами, стекловолокно – стекловолокнитами, углеродное – карбоволокнитами, борное – бороволокнитами и т. д. Матрицы волокнитов чаще всего изготавливают из фенолоформальдегидной смолы резольного или новолачного типа, иногда для пропитки волокнистых наполнителей используют другие синтетические смолы. В этом случае в названии материала к слову «волокнит» добавляют начальные слоги из названия смолы, например мелаволокнит – КПМ на основе меламиноформальдегидной смолы. Из волокнитов изготавливают детали с высоким сопротивлением ударным нагрузкам: строительные панели, шестерни, втулки и др.

Органоволокниты – пластики, в которых армирующим наполнителем служат тканые и нетканые материалы из синтетических волокон (полиамидного, полиэфирного, полиакрилонитрильного, полиимидного и др.). В качестве связующего термореактивных органоволокнитов чаще всего используют полиэфирные, эпоксидные и фенолоформальдегидные смолы. В термопластичных органоволокнитах полимерной матрицей служат полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид, полиметилметакрилат. Термореактивные органоволокниты можно длительно эксплуатировать при температурах +100...+150 °С, а на основе полиамидных волокон – при +200. ..+300 °С. Они находят применение в электро- и радиопромышленности.

Стеклопластики – материалы на полимерной матрице, армированной стеклянным волокном. В стеклопластиках высокая прочность сочетается со сравнительно низкими плотностью и теплопроводностью, высокими электроизоляционными характеристиками, радиопрозрачно-

Витебский государственный технологический университет

стью.

Асбопластики – теплостойкие КПМ, матрица которых наполнена асбестовыми материалами. Они в течение длительного времени сохраняют механические свойства при температурах до +400 °С. Известным асбопластиком является *паронит* – композиционный материал на основе каучука, наполненного асбестом и другими компонентами. Из паронита изготавливают прокладки для уплотнения фланцевых соединений трубопроводов, перекачивающих перегретый и насыщенный пар, горячий воздух и газы, слабые растворы щелочей и кислот.

Углеродопласты (карбопласты, углепластики) – КПМ, содержащие в качестве упрочняющего наполнителя углеродные волокна. Это прочные, жесткие, термически и химически устойчивые материалы с высокими электро- и теплопроводностью, небольшой плотностью, низкими значениями коэффициентов линейного расширения и трения. Из углепластиков выполняют спортинвентарь, детали самолетов, судов и др.

Боропластики – композиционные материалы на матрице из термопластичных и термореактивных полимеров, содержащие волокна бора в качестве упрочняющего наполнителя. Боропластики отличаются очень высокими прочностью, жесткостью и термостойкостью. Из них изготавливают несущие детали (винты, рули, обшивка крыльев, лопатки вентиляторов) самолетов, турбин, электрогенераторов, спортивный инвентарь.

Металлонаполненные волокнистые КПМ – пластики с металлическим волокнистым наполнителем. Наполнение полимера металлическими волокнами приводит к большему возрастанию прочности и теплопроводности пластиков, чем при наполнении металлическим порошком.

Текстолиты – материалы, формируемые из слоев ткани, пропитанной термореактивной синтетической смолой. Характеризуются высокой прочностью, которая в диапазоне рабочих температур связующего мало зависит от температуры. Различают текстолиты на основе хлопчатобумажной ткани, стеклотекстолиты (стеклоткань), асботекстолиты (асбестовая ткань), органотекстолиты (ткань из органических синтетических волокон), карботекстолиты (угольная ткань).

Дублированные пластики – слоистые материалы, состоящие из листов полиэтилена, полипропилена и других термопластов, соединенных подслоем на основе ткани, химически стойкой резины, нетканых волокнистых материалов и т. п. Подслой обеспечивает крепление листов к изделиям или конструкциям с целью защиты их от коррозии. Получили распространение материалы, в которых сочетаются два химически стойких компонента, например дуплен-листовой полиэтилен, дублированный бутилкаучуком. Прорезиненные ткани – ткани, пропитанные или покрытые с одной или двух сторон резиной – сочетают высокие механические свойства, стойкость к воздействию сред, микроорганиз-

Витебский государственный технологический университет

мов, непроницаемость или избирательную проницаемость по отношению к жидкостям и газам. Широкое применение в технике находят капроновые ткани, пропитанные полиизобутиленом и другими полимерами.

Линолеум – полимерный рулонный материал для покрытия полов – представляет собой многослойный или на тканевой основе КПМ, содержащий алкидные смолы, поливинилхлорид, синтетические каучуки и другие полимеры.

Гигиеническую продукцию (нетканые воздухопроницаемые пеленки, салфетки, прокладки и др.) изготавливают на основе дублированных волокнистых КМП. Эти материалы состоят из адгезионно соединенных полимерной пленки, снабженной микропорами, и волокнистого нетканого полимерного слоя.

Гетинакс – слоистый пластик на основе бумаги, пропитанной термореактивной синтетической смолой. Благодаря высоким механическим и электроизоляционным свойствам его применяют в основном для изготовления электротехнических изделий. Листы и цилиндрические заготовки из гетинакса используют в производстве трансформаторов, телефонов, радиоаппаратуры и т. д. Для изготовления гетинакса электротехнического назначения используют бумагу из сульфатной целлюлозы. Органогетинакс – слоистый пластик на основе бумаги из синтетических волокон. Иногда гетинакс армируют металлической фольгой, облицовывают хлопчатобумажными, стеклянными или асбестовыми тканями. В качестве связующих при производстве гетинакса применяют фенолоформальдегидные, эпоксидно-фенольные, меламиноформальдегидные и другие смолы.

Металлопласт – конструкционный материал, состоящий из металлического листа, снабженного с одной или двух сторон полимерным покрытием из полиэтилена, фторопласта или поливинилхлорида. Простейшая технология изготовления металлопласта включает наклеивание на металлические листы полимерной пленки. Покрытие может быть нанесено из паст, напылением порошкообразного полимера с последующим оплавлением и другими методами. Металлопласты можно длительно эксплуатировать в интервале температур от -40 °С до +65 °С, штамповать, сваривать электродуговой сваркой без удаления покрытия. Их применяют для защиты от коррозии и декоративной отделки стен и крыш зданий, в производстве кузовов автомобилей, холодильников и др.

Древесно-слоистые пластики – материалы, получаемые «горячим» прессованием заготовок из древесины (шпона), пропитанных синтетическими термореактивными смолами. Шпон из лиственных пород древесины (береза, бук, липа) толщиной 0,3–0,8 мм пропитывают водоэмульсионными или спиртовыми смолами в автоклавах. Иногда на шпон наносят смолу на вальцах. Затем его подсушивают, собирают в

Витебский государственный технологический университет

пакеты и прессуют при нагревании. Характеристика свойств слоистых материалов приведена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Эксплуатационные характеристики слоистых КПМ

Показатель	Текстолиты на основе х/б тканей и фенолоформальдегидных смол	Кожа искусственная «Тексон-437» (Франция)	Гетинакс	Древесно-слоистые пластики
Плотность, кг/м^3	1300-1400	1000-1200	1200-1400	1230-1400
Предел прочности, МПа, при: растяжении; сжатии в направлении: перпендикулярно слоям; параллельно слоям	 50-100 200-250 120-150	 19 - -	 70-160 - -	 100-280 100-180 30-60
Ударная вязкость, кДж/м^2	20-35	-	8-20	25-80
Теплостойкость по Мартенсу, °С	125-140	90	150	90
Водопоглощение за 24 ч, %	0,3-1,0	75	0,2-1,0	5-75
Удельное электрическое сопротивление: поверхностное, Ом; объемное, Ом·м	 10^{10}-10^{12} 10^{9}-10^{12}	 - -	 10^{8}-10^{10} 10^{4}-10^{5}	 (3-8)10^{11} (1-6)10^{7}
Электрическая прочность, МВ/м	2-7	-	8-16	0,3-0,4

Смеси полимеров – название группы КПМ, представляющих собой полимер–полимерные системы разнообразной структуры.

Типичные представители этой группы – сплавы разнородных полимеров. Комплекс их физико-механических характеристик определяется, прежде всего тем, совместимы (т. е. взаимно растворимы) или несовместимы компоненты смеси. Как правило, смешивают полимеры, которые плохо совместимы или несовместимы. Немногочисленные примеры промышленных полимеров, которые взаиморастворимы неограниченно или в достаточно широком интервале: ПВХ и бутадиенитрильный каучук (СХН-40), ПВА и нитроцеллюлоза, полистирол и полифениленоксид. Смешение взаимно нерастворимых полимеров приводит к образованию гетерофазной системы, т. е. дисперсии одного полимера в матрице другого.

Промышленность выпускает следующие смеси полимеров:

- полипропилена с полиэтиленом с целью расширения сырьевой базы конструкционных пластиков;

- полиэтилена с каучуком для повышения эластичности и ударной вязкости полиэтилена;

Витебский государственный технологический университет

- ПВХ с АВС-пластиком для повышения прочности, ударной вязкости, улучшения технологических свойств ПВХ;

- полистирола с каучуками с целью получения ударопрочного полистирола;

- поликарбоната с АВС-пластиком и полиэтиленом с целью повышения ударной вязкости, трещиностойкости и технологичности поликарбоната.

Нетипичными смесевыми КПМ являются нетканые волокнистые полимерные материалы и древесные плиты.

Изделия из нетканых материалов: фильтроэлементы, утепляющие прокладки, сукна для бумагоделательных машин и т. д. Из электропроводных нетканых материалов на основе металлических, металлизированных и углеродных волокон изготавливают плоские и рулонные нагреватели, экранирующие и поглощающие элементы радиоэлектронной аппаратуры и т.п.

Древесные плиты – КПМ, формируемый из смеси древесных стружек или волокон с небольшим содержанием синтетического полимерного связующего. Для повышения стойкости против влаги, огня, насекомых и микроорганизмов в состав плит вводят гидрофобизирующие вещества, антипирены, антисептики.

Полимерные смесевые нанокомпозиты – новое поколение полимерных смесей. Они отличаются повышенной прочностью, особенно при ударных нагрузках. Развивается компьютерный подход к проектированию таких КПМ. Его основная идея состоит в том, что малые частицы отличаются от обычных большой величиной отношения $D = n_n/n_o$, где n_n и n_0 – количество атомов на поверхности частицы и в ее объеме. По этой причине в физико-химическом взаимодействии с частицами участвует гораздо больше макромолекул, чем в обычных смесевых композитах. Моделирование нанокомпозитов с учетом этой закономерности дает возможность прогнозировать их свойства в зависимости от химической природы полимерных компонентов и размера фазовых частиц. В настоящее время КПМ являются одним из интенсивно развивающихся типов материалов, номенклатура которых непрерывно пополняется.

Лекция 4.3 Композиты на металлической матрице

Композиционные материалы на металлической матрице (КММ) значительно превосходят по эксплуатационным характеристикам обычные металлические сплавы, прежде всего, по жаростойкости, жесткости и удельной прочности. Физико-химическое взаимодействие матрицы и усиливающих компонентов КММ протекает главным образом в форме диффузии и химических реакций. Это обусловливает поиск универсальных технологий формирования множества материалов этого класса, а также необходимость оптимизации технологических режимов произ-

Витебский государственный технологический университет

водства изделий из КММ. Использование широкой номенклатуры усиливающих компонентов привело к созданию КММ с уникальными деформационно-прочностными характеристиками, стимулировало придание им многофункциональности и расширило область их применения. Из КММ изготавливают детали и изделия, к которым предъявляют повышенные требования стабильности размеров, прочности и надежности.

Материалы на матрице из алюминия чаще всего армируют оксидами. КММ с торговым названием САП (спеченный алюминиевый порошок) сформированы из алюминиевых частиц, покрытых оксидной пленкой. В процессе формирования КММ из смеси алюминиевого порошка и сажи происходит образование карбида Al_4C_3. КММ на основе алюминия при температурах эксплуатации + 300... +500 °С превосходят по прочности все промышленные алюминиевые сплавы, имеют высокие параметры длительной прочности и ползучести.

КММ на основе бериллия подразделяют на «естественно» упрочненные сплавы Be-BeO из окисленного порошка и «искусственно» упрочненные карбидами сплавы $Be\text{-}Be_2C$. Они имеют повышенные показатели длительной прочности и устойчивости к ползучести при высоких температурах.

Дисперсно-упрочненные стали содержат в качестве упрочняющих компонентов оксиды: Al_2O_3, TiO_2, ZrO_2 и др. Выбор оксидов, а не карбидов или нитридов, обусловлен тем, что кислород значительно меньше растворяется в матричном железе, чем углерод или азот. Многие легированные стали более прочны, чем дисперсно-упрочненные КММ на стальной матрице. Однако, последние не имеют себе равных по стойкости к охрупчиванию в условиях нейтронного облучения.

КММ на матрице из кобальта в качестве дисперсной добавки содержат оксид тория, на *матрице из магния* – собственные оксиды.

Материалы на основе меди, упрочненные оксидами, карбидами, нитридами, приобретают жаростойкость, которая сочетается с высокой электропроводностью медной матрицы. Такие КММ используются для изготовления электрических контактов, электродов для роликовой сварки, инструментов для искровой обработки и т. д.

КММ на основе никеля, наполненные оксидом тория (ВДУ-1) и оксидом гафния (ВДУ-2), предназначены для работы при температурах выше +1000°С.

Псевдосплавы – дисперсно-упрочненные КММ, состоящие из металлических и металлоподобных фаз, не образующих растворов и не вступающих в химические соединения. Технология формирования псевдосплавов относится к области порошковой металлургии. Заключительной операцией получения псевдосплавов является пропитка либо жидкофазное спекание формовок.

Номенклатура псевдосплавов включает преимущественно материалы триботехнического назначения.

Витебский государственный технологический университет

Лекция 4.4 Композиты на керамической матрице

Композиты с матрицами на основе неорганических веществ, которые широко распространены в природе или могут быть получены из природных материалов с применением достаточно простых технологий, являются перспективным конструкционным материалом.

Типичными представителями неорганических связующих КМ являются силикаты, керамика, нитриды, бориды, карбиды. Интерес к ним вызван не только доступностью сырья, но и высокой прочностью атомных связей в молекулах этих связующих. Совершенствование керамических композиционных материалов обусловило в ряде случаев разработку принципиально новых технических изделий, позволило повысить температуры, нагрузки и скорости эксплуатации автомобилей, двигателей самолетов и ракет, улучшить параметры криогенной и вычислительной техники.

Матрицы керамических композиционных материалов (ККМ) получают спеканием неметаллического минерального сырья (глин, оксидов и других природных соединений).

По виду сырья различают ККМ на матрице из *оксидной* (технической) *керамики*, основу которой составляют оксиды металлов (Al_2O_3, ZrO_2, CaO, MgO, UO_2 и др.), и из *безоксидной керамики* – на основе бескислородных соединений типа карбидов (MeC), боридов (MeB), нитридов (MeN), силицидов (MeSi).

По структурным признакам ККМ подразделяют на следующие основные группы: дисперсные, армированные, эвтектические, слоистые.

Дисперсные ККМ состоят из керамической матрицы и распределенных в ней частиц наполнителя.

Армированные ККМ содержат усиливающие элементы (арматуру), чаще всего волокнистые, расположенные в матрице произвольно или ориентированно. В качестве арматуры применяют проволоку и сетки различного плетения на основе углеродистых, нержавеющих и мартенситостареющих сталей. Высокопрочные материалы армируют проволокой из титана, бериллия, вольфрама, молибдена.

Эвтектические ККМ, чаще всего металлоксидные, формируются в процессе направленной кристаллизации эвтектик. Они состоят из керамической матрицы, в которой распределены выращенные в ней армирующие монокристаллы металла. Эвтектические ККМ более устойчивы к повышенным температурам, чем дисперсные.

Слоистые ККМ состоят из компонентов, расположенных в виде слоев различного состава. В структуру таких материалов часто вводят металлическую фольгу. Разработана группа гранулослоистых ККМ, содержащих гранулы различных модификаторов, расположенных послойно в керамической матрице.

Витебский государственный технологический университет

Лекция 4.5 Композиционные материалы на основе отходов производства

В данной лекции рассмотрены композиционные материалы на основе отходов, образующихся в обувной и кожгалантерейной промышленности.

В УО «ВГТУ» разработана технология получения композиционных материалов на основе отходов искусственных кож, пенополиуретанов. При этом в состав композиции в качестве наполнителя (до 50%) могут быть введены отходы натуральной кожи, картона, текстиля, нетканых материалов и т. д.

Сущность предлагаемой технологии заключается в том, что отходы производства, имеющие в своем составе хотя бы один термопластичный компонент, подвергают измельчению на роторно-ножевой дробилке. После этого измельченные отходы засыпают в бункер шнекового экструдера, где под действием повышенной температуры и сдвиговых деформаций термопластичный компонент переходит в вязкотекучее состояние. Перемешиваясь с отходами нетермопластичного (или имеющего более высокую температуру плавления) компонента, образуется композиционный материал. Находясь в указанном агрегатном состоянии, материал перемещается по виткам шнека и, при продавливании через формообразующую фильеру, приобретает окончательную форму.

При наличии в составе композиции в качестве наполнителя измельченных отходов текстильных материалов, после переработки получают композиционный материал, в котором основу составляют следующие три элемента: волокна, матрица и граница раздела между ними. В таких материалах волокнистый наполнитель во многом определяет прочность и модуль упругости композиционных материалов, т. е. обеспечивает стойкость материала к деформированию и разрушению под действием механических сил. Матрица в композиционном материале передает и распределяет внешнюю нагрузку между отдельными волокнами, а также поддерживает индивидуальные волокна в заданной ориентации. Матрица предохраняет волокна от истирания, действия влаги или других факторов окружающей среды и обусловливает совместное сопротивление волокон деформированию и разрушению при действии механических сил. Полимерная матрица также определяет максимально возможную температуру эксплуатации материала.

Природа границы раздела, в первую очередь адгезионное взаимодействие наполнителя и матрицы, в решающей степени определяет уровень свойств композиционных материалов и их сохранение при эксплуатации. Локальные напряжения в композиционном материале достигают максимальных значений как раз вблизи или непосредственно на границе раздела, где обычно и начинается разрушение материала. Гра-

Витебский государственный технологический университет

ница раздела должна обладать определенными свойствами, чтобы обеспечить эффективную передачу механической нагрузки, воспринимаемой от матрицы, на волокна. Установлено, что при увеличении длины волокон текстильного наполнителя повышаются прочностные показатели композиционного материала, однако значительно увеличивается и жесткость при изгибе. Соотношение в композиции волокнистого наполнителя и полимерной матрицы позволяет варьировать свойства получаемых композиционных материалов в широких пределах.

Композиционные материалы на основе отходов производства по своим физико-механическим свойствам могут быть рекомендованы для изготовления подошв для обуви весенне-осеннего периода носки, а также в кожгалантерейной промышленности в качестве внутреннего прокладочного материала в дорожных сумках.

На предприятиях обувной промышленности в настоящее время применяется технология получения вкладыша на основе отходов производства, где в качестве связующих компонентов используются отходы, образующиеся при литье подошв, а в качестве наполнителя – отходы кожи, картона или тканых и нетканых материалов, а также резиновой крошки при следующем соотношении компонентов, масс. %: связующее – 40–90; наполнитель – 10–60. Изготавливается вкладыш одним из известных методов прессовой или экструзионной технологии при воздействии температуры, обеспечивающей материалу пластичность, и давления, придающего необходимую форму.

Лекция 4.6 Материалы для покрытий

Модифицирование поверхностного слоя деталей с целью придания им особых свойств, не характерных для материала в объеме деталей, можно добиться нанесением на них покрытий – относительно тонких слоев материала, адгезионно связанных с поверхностью изделия.

Номенклатура материалов для покрытий очень широка. Это металлы и сплавы, полимеры, оксиды и другие химические соединения. Металлические покрытия, наносимые в основном методами химического и электрохимического осаждения, играют важную роль в повышении коррозионной стойкости и износостойкости металлических изделий. Широко распространены в настоящее время полимерные покрытия, которые сочетают защитную способность, электроизоляционные, декоративные и другие свойства. Для изделий, работающих при высоких температурах и в агрессивных средах, применяют покрытия из оксидов, нитридов и других химических соединений неорганической природы.

Развивается технология нанесения композиционных покрытий, включающая такие высокоэффективные методы, как газоплазменное и плазменное напыление, электроконтактное припекание, лазерное и плазменное диспергирование.

Витебский государственный технологический университет

Виды покрытий и способы их нанесения

По механизму закрепления тонкого модифицирующего слоя на поверхности изделий различают диффузионные и наслоенные покрытия. Диффузионные покрытия внедряются в поверхностный слой изделия, практически не изменяя его размеров, т. е. формирование покрытий этого вида происходит по механизму диффузии атомов материала покрытия в поверхностный слой изделия. Глубина диффузионного слоя обычно не превышает 200 мкм, но иногда составляет 2–3 мм. Наслоенные покрытия представляют собой тонкий слой материала покрытия, адгезионно закрепленный на поверхности изделий. Толщина наслоенных покрытий колеблется в широких пределах – от долей микрометра до десятков миллиметров. Диффузионные покрытия образуются при длительном контактировании защищаемой поверхности с летучими соединениями металлов и неметаллов в активных газовых средах. Их также формируют из паст, расплавов и порошков, слой которых наносят на нагретые изделия. Если диффузия не реализуется или протекает недостаточно интенсивно, происходит формирование наслоенных или диффузионно-наслоенных покрытий.

По назначению наиболее широкое распространение получили коррозионно-стойкие, жаростойкие, износостойкие, антифрикционные и декоративные покрытия.

Технология нанесения покрытий на изделия объединяет множество принципиально разных способов. Выбор того или иного способа зависит от формы и размеров изделий, допустимых пределов их нагревания, природы материалов покрытия и изделия и т. п.

Лакокрасочные материалы

К *лакокрасочным материалам* (ЛКМ) относят жидкие композиции преимущественно на полимерной основе, способные при нанесении на поверхность изделий высыхать с образованием пленок – лакокрасочных покрытий. Назначение таких покрытий – защита изделий из металлов, дерева, пластмасс, бетона и других материалов от воздействия окружающей среды, придание им изоляционных и декоративных свойств.

Лакокрасочные материалы подразделяют на основные материалы (лаки, эмали и масляные краски) и вспомогательные (грунтовки, шпатлевки и грунтшпатлевки). По назначению ЛКМ делят на атмосферостойкие, водостойкие, специальные, маслобензостойкие, химически стойкие, термостойкие и электроизоляционные.

Главными компонентами ЛКМ являются пленкообразующие вещества, растворители, пластификаторы, сиккативы, или отвердители, антистарители, красители или пигменты, разбавители, наполнители и добавки.

В последнее время все большее распространение находят полиуретановые лаки и эмали, а также лакокрасочные материалы на кремнийорганической и полиамидной основах, на основе сополимеров ви-

Витебский государственный технологический университет

нилхлорида и акриловых сополимеров. К перспективным окрасочным материалам часто относят порошковые краски на основе синтетических полимеров, которые тонким слоем наносят на поверхность изделия и оплавляют.

Так как основной компонент, определяющий свойства лакокрасочных материалов и покрытий, – пленкообразователь, все ЛКМ подразделяют на группы, различающиеся природой пленкообразователя. Условные обозначения наиболее распространенных пленкообразователей следующие: глифталевых – ГФ, пентафталевых – ПФ, меламинных – МЛ, фенольных – ФЛ, эпоксидных – ЭП, полиэфирных ненасыщенных – ПЭ, акриловых – АК, нитроцеллюлозных– НЦ, перхлорвиниловых– ХВ, кремнийорганических– КО, поливинилацетатных– ВЛ, битумных – БТ, масляных– МА.

Внутри перечисленных групп ЛКМ классифицируют по назначению, например: 1 – атмосферостойкие, 4 – водостойкие, 9 – электроизоляционные и т. д. Условные обозначения грунтовок – 0, шпатлевок – 00. Марка ЛКМ указывает химическую природу пленкообразователя и назначение материала. Например, ХВ-16 – перхлорвиниловая атмосферостойкая эмаль с регистрационным номером 6; ЭП-0026– эпоксидная шпатлевка с регистрационным номером 26.

Порошковые полимерные покрытия

Порошковые материалы, применяемые для получения покрытий (полимеры, наполнители и др.), имеют размер частиц порядка 0,1–100 мкм. Чаще всего порошки бывают полидисперсными. Для слоя полимерных порошковых материалов характерна высокая пористость, которая обусловлена наличием сквозных или замкнутых пор в частицах (внутричастичная пористость) и в промежутках между ними (межчастичная пористость или объем пустот). Межчастичная пористость большинства технических порошков колеблется в пределах от 25 до 90 % по объему.

Порошковые материалы, подобно жидкости, под действием собственного веса или внешних воздействий принимают форму емкости, в которую они насыпаны. При разобщении частиц порошка и удалении их друг от друга за пределы радиуса молекулярного или электростатического притяжения, например с помощью газового потока, порошковый материал можно транспортировать по трубам как жидкость.

Вследствие развитой поверхности порошковые материалы обладают повышенной сорбционной способностью. Частицы, как правило, содержат в поверхностном слое примеси других веществ, адсорбированных из окружающей среды в процессе получения или хранения порошка. Неизменным спутником всех порошковых материалов являются адсорбированные газы и влага. Влажность порошков зависит от природы (гидрофильности) материала частиц и условий хранения. Она отрицательно влияет на технологические свойства порошков как материала

Витебский государственный технологический университет

покрытий и вынуждает применять специальные меры при хранении и транспортировке порошкового сырья.

Для получения порошковых композиций и покрытий в равной степени пригодны как некристаллизующиеся, так и кристаллические полимеры. Покрытия из первых имеют более высокую адгезию, однако менее химически стойки, проницаемы по отношению к жидкостям и газам.

Покрытия из металлов и сплавов

Металлические покрытия, нанесенные на изделия из металлов и неметаллов, в большинстве своем отличаются высокой адгезией и хорошо выдерживают механические и тепловые удары. Их можно наносить почти всеми существующими в технике способами, причем метод нанесения в значительной мере определяет эффективность покрытия.

Покрытия из металлов и сплавов широко используют главным образом для повышения коррозионной стойкости и износостойкости металлических изделий. С этой целью наиболее часто применяют покрытия из алюминия, кадмия, никеля, олова, свинца, хрома, цинка и их сплавов. Для повышения надежности скользящие и разрывные электрические контакты покрывают благородными металлами и их сплавами.

Для нанесения противокоррозионных покрытий используют технологии гальванического осаждения, металлизацию распылением, погружение в расплавы и другие методы. Металлические противокоррозионные покрытия подразделяют на анодные и катодные в зависимости от соотношения электродных потенциалов металлов покрытия и подложки. Электродный потенциал анодных покрытий ниже, чем потенциал металлической подложки – детали, на которую их наносят, поэтому при нарушении целостности покрытия происходит его электрохимическое растворение. К таким покрытиям относятся, например, покрытия из цинка и кадмия на стальных деталях. Катодные покрытия защищают металл изделия только до тех пор, пока сохраняется их сплошность, в противном случае более активно идет коррозия изделия. Катодные покрытия на стальных изделиях формируют, например, из олова и никеля.

Наибольшее распространение получили покрытия стальных деталей цинком (цинкование), никелем (никелирование), кадмием (кадмирование) и хромом (хромирование).

Неорганические неметаллические покрытия

Неорганические покрытия формируют, как правило, с целью защиты металлических изделий от коррозии, снижения коэффициента трения, повышения жаро- и износостойкости. Основными материалами для таких покрытий являются оксиды, карбиды, нитриды и фосфаты металлов, эмали и твердые смазочные материалы. Толщина наносимого слоя варьируется в зависимости от назначения покрытия. Самые тонкие (2–3 мкм) применяют для защиты от атмосферной коррозии, относительно толстые (до 2 мм) – для повышения износостойкости или стой-

Витебский государственный технологический университет

кости в кислотах и щелочах. Неорганические покрытия на стальных изделиях формируют следующими методами: термической и химической обработкой изделий, наплавкой из порошков, химическим осаждением из газовой фазы, катодным распылением в вакууме и др.

Защитные оксидные покрытия образуются в результате окисления поверхностного слоя металлических изделий. Их можно считать покрытиями весьма условно, так как фактически они являются результатом модифицирования поверхностного слоя детали химико-термическими методами. Широко распространенными методами защиты стальных изделий являются термическое оксидирование (воронение), химическое оксидирование в кипящем едком натре и фосфатирование (образование фосфатной пленки). На поверхности изделий из алюминия защитную оксидную пленку формируют химическим и электрохимическим (анодирование) способами.

Высокопрочные и износостойкие покрытия на основе оксида алюминия наносят на изделия из металлов, твердых сплавов и керамики методами плазменного напыления. Оксиды циркония и гафния используют для получения жаростойких покрытий на специальных сталях.

Карбидные, нитридные и карбонитридные покрытия наносят на изделия из стали и твердых сплавов для повышения износостойкости и коррозионной стойкости. Нанесение покрытий осуществляют в основном ионно-плазменными методами и химическим осаждением из газовой фазы (газофазным осаждением). Часто применяют многослойные и композиционные покрытия такого типа. В качестве материалов для покрытий обычно используют карбид, нитрид и карбонитрид титана, а также карбиды хрома и молибдена. Принципиальным различием ионно-плазменного и газофазного методов является то, что в первом случае не требуется нагрев изделия до высоких температур, а во втором – температура нагрева достигает +900...+1100°С, ограничивая применимость метода. Толщина покрытий из нитридов и карбидов составляет обычно 4—8 мкм. Износостойкость стальных изделий, на которые нанесено покрытие из нитрида титана, в несколько раз превышает износостойкость деталей из высокопрочных легированных сталей и даже стальных деталей с наплавками из твердых сплавов.

Силикатные покрытия (эмали) сочетают прочностные свойства металлов с коррозионной, термической и абразивной стойкостью силикатов. Порошки и эмали наносят на изделия из стали и чугунов, а затем подвергают обжигу при температуре +1000 °С. Для изделий из алюминия применяют покрытия из легкоплавких эмалей с высоким содержанием свинца и температурой плавления около +500 °С.

Дополнительные возможности в области эмалирования открылись в связи с созданием стеклокристаллических силикатных материалов – ситаллов. Ситалловые покрытия представляют собой специальным образом закристаллизованные силикатные эмали со значительным (30 % и

Витебский государственный технологический университет

более) содержанием тонкодисперсной равномерно распределенной кристаллической фазы. Для основных составов ситалловых покровных эмалей характерно значительное содержание окислителя Li_20 (3–12 %), который инициирует мелкодисперсную и объемную кристаллизацию ситаллов. Ситалловые покрытия, в отличие от обычных стеклообразных эмалей, обладают значительно большей ударной прочностью, повышенной микротвердостью и износостойкостью, более высокой стойкостью к перепадам температур.

Неорганические твердосмазочные покрытия используют для снижения коэффициента трения в узлах машин, работающих без смазки, например в вакууме, при повышенных температурах, сверхвысоких скоростях и т. д. Материалами для таких покрытий служат графит, дисульфид молибдена, дисульфид вольфрама и другие дихалькогениды переходных металлов, а также галогенные соединения металлов, как в чистом виде, так и в виде композиций с полимерными, металлическими и силикатными связующими.

Покрытия из однокомпонентных твердосмазочных материалов часто наносят на поверхности деталей натиранием с помощью щеток или тканей. При использовании силикатного связующего (жидкого стекла) нанесенный на деталь слой композиции нагревают для удаления воды и отверждения. Если связующее состоит из термореактивных органических или силиконовых полимеров, порошкообразную смесь твердосмазочного материала и связующего напыляют на поверхность изделия, а затем нагревают. Нанесение таких материалов, как дисульфид молибдена, осуществляют методом плазменного напыления. Толщина напыляемых в плазме смазочных слоев намного меньше (около 0,2 мкм), чем при нанесении порошковых суспензий в связующем (до 15 мкм), но срок службы тонких покрытий намного выше.

В последние годы большое значение придается армированию покрытий. Армирование – один из наиболее эффективных способов повышения срока службы хрупких покрытий, в первую очередь, на основе керамических и вяжущих материалов. Наиболее эффективный способ армирования – приваривание к поверхности детали металлической сетки, ячейки которой заполняют материалом покрытия. Таким образом, например, удается повысить в несколько раз устойчивость покрытий из AL_2O_3 на стальных деталях к многократным резким сменам температур от комнатной до +1000 °С.

Другой принцип армирования заключается в пропитке пористой основы покрытий суспензиями, содержащими твердую дисперсную фазу из антифрикционного материала. Например, плазменное пористое покрытие из жаростойкой стали пропитывают суспензией на основе эмали или других оксидов. После обжига суспензионного слоя получают покрытие, состоящее из металлического каркаса, заполненного эмалью и оксидами.

Витебский государственный технологический университет

ЛИТЕРАТУРА

1. Струк, В. А. Материаловедение : учебник / В. А. Струк [и др.]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2008. – 519 с.
2. Товароведение одежно-обувных товаров. Общий курс : учеб. пособие / В. В. Садовский [и др.]. – Минск : БГЭУ, 2005. – 427 с.
3. Магомедов, Ш. Ш. Товароведение и экспертиза обуви : учебник / Ш. Ш. Магомедов. – Москва : Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2004. – 381 с.
4. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности : учебник для студ. высш. учеб. заведений / А. П. Жихарев [и др.]. – Москва : Издательский центр «Академия», 2004. – 448 с.
5. Зурабян, К. М. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности : учеб. для вузов / К. М. Зурабян, Б. Я. Краснов, Я. И. Пустыльник. – Москва : Информ-Знание, 2003. – 384 с.
6. Справочник обувщика (Проектирование обуви, материалы) / Л. П. Морозова [и др.]. – Москва : Легпомбытиздат,1988. – 432 с.
7. Ильин, С. Н. Искусственные кожи / С. Н. Ильин, М. Х. Бернштейн. – Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 184 с.
8. Иванова, В. Я. Материаловедение изделий из кожи : учебное пособие / В. Я. Иванова. – Москва : Альфа-М : ИНФРА-М, 2008. – 282 с.
9. Обувные материалы из отходов пенополиуретана / А. Н. Буркин [и др.]. – Витебск : УО «ВГТУ», 2001. – 173 с.
10. Полимерные материалы для деталей низа обуви : учебное пособие для студ. вузов, обучающихся по направлению подготовки «Технология, конструирование изделий и материалы легкой промышленности» / П. С. Карабанов, А. П. Жихарев, В. С. Белгородский. – Москва : КолосС, 2008. – 167 с.
11. Жихарев, А. П. Практикум по материаловедению в производстве изделий легкой промышленности : учебное пособие для студ. вузов / А. П. Жихарев, Б. Я. Краснов, Д. Г. Петропавловский. – Москва : Издательский центр «Академия», 2004. – 464 с.
12. Алексеев, Н. С. Товароведение хозяйственных товаров : учебник для студ. вузов. В 2 т. / Н. С. Алексеев. – Москва : Экономика, 1989.– Т.1. – 351 с.
13. Ещенко, В. Ф. Товароведение хозяйственных товаров : учебник для студ. вузов. В 2 т. / В. Ф. Ещенко, Е. Д. Леженин. – Москва : Экономика, 1988. – Т.2. – 400 с.
14. Матвейко, Н. П. Основы материаловедения : пособие / Н. П. Матвейко, В. Г. Зарапин, В. В. Садовский. – Минск : БГЭУ, 2009. – 289 с.
15. Попов, А. Н. Основы материаловедения : учебное пособие / А. Н. Попов, В. П. Казаченко. – Минск : Изд-во Гревцова, 2010. – 176 с.

Витебский государственный технологический университет

16. Шепелев, А. Ф. Товароведение и экспертиза ювелирных и металлохозяйственных товаров : учебное пособие для студ. вузов / А. Ф. Шепелев, И. А. Печенежская. – Ростов н/Д : Феникс, 2002. – 256 с.

17. Краснов, Б. Я. Материаловедение обувного и кожгалантерейного производства : учебник / Б. Я. Краснов. – Москва: «Высшая школа», 2005.– 326 с.

18. Краснов, Б. Я. Материалы для изделий из кожи : учебник для техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп. / Б. Я. Краснов. – Москва : Легпромбытиздат, 1995. – 344 с.

19. Смелков, В. К. Ассортимент текстильных материалов для изделий из кожи : учеб. пособие / В. К. Смелков. – Витебск : УО «ВГТУ», 2002. – 101 с.

20. Лобацкая, О. В. Материаловедение швейного производства : учеб. пособие / О. В. Лобацкая. – Минск : Беларус. энцыкл. імя П. Броукі, 2010. – 371 с.

21. Гвоздев, Ю. М. Химическая технология изделий из кожи : учебное пособие для студентов высших учебных заведений. / Ю. М. Гвоздев. – Москва : Издательский центр «Академия», 2003. – 245 с.

22. Андрианова, Г. П. Искусственные кожи – что это такое. Искусственные кожи – типы, строение, свойства и применение / Г. П. Андрианова // Обозревательный журнал. – 2000. – № 9.– С. 52-58.

23. Буркин, А. Н. Материаловедение кожевенно-обувного производства : учебное пособие / А. Н. Буркин [и др.]. – Минск : Беларус. энцыкл. імя П.Броукі, 2011. – 310 с.

24. Матвеев, К. С. Композиционный материал, пространственно армированный синтетическими волокнами / К. С. Матвеев [и др.] // Композиционные материалы в промышленности : материалы XXIII международной конференции и выставки, Ялта / УИЦ «Наука. Техника. Технология». – Киев : 2003. – С. 138-140.

25. Наполнители для полимерных композиционных материалов : справочное пособие / под ред. П. Г. Бабаевского. – Москва : Химия, 1981. – 736 с.

26. Буркин, А. Н. Обувные материалы из отходов пенополиуретана / А. Н. Буркин [и др.]. – Витебск : УО «ВГТУ», 2001. – 173 с.

27. Матвейко, Н. П. Основы материаловедения : пособие / Н. П. Матвейко, В. Г. Зарапин, В. В. Садовский. – Минск : БГЭУ, 2009. – 289 с.

28. Попов, А. Н. Основы материаловедения : учеб.пособие / А. Н. Попов, В. П. Казаченко. – Минск : Изд-во Гревцова, 2010. – 176 с.

29. Струк, В. А. Материаловедение : учебник / В. А. Струк [и др.]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2008. – 519 с.

Витебский государственный технологический университет