

Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР
СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ЗАОЧНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Б. И. ИГОЛКИН, Б. А. КРИВИЦКИЙ, Ю. А. СИНЕВ

ПРИМЕНЕНИЕ
НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ
В МАШИНОСТРОЕНИИ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

ЛЕНИНГРАД

1982

УДК 621.01.002(075.8)

Иголкин Б. И., Кривицкий Б. А., Синев Ю. А. Применение неметаллических материалов в машиностроении: Учеб. пособие.— Л.: СЗПИ, 1982.— с. 80, ил. 18.

В учебном пособии рассматриваются структура и свойства неметаллических материалов, применяемых в машиностроении: синтетических полимеров и материалов на их основе (пластмасс, резин), силикатных, древесных, асбестовых материалов. Приводятся сведения о технологии изготовления изделий из неметаллических материалов. Кратко характеризуются наиболее распространенные материалы, области их применения.

Узкий круг вопросов по применению и переработке неметаллических материалов необходим для студентов специальностей 0305, 0601, 0605, 0636, 1609, 0513, 0501, 0531.

Рецензенты:

кафедра химии целлюлозы ЛТИЦБП (зав. кафедрой — О. И. Шаповалов, д-р техн. наук, проф.); В. В. Евсиков, канд. техн. наук, доц. кафедры энергетики и автоматизации производственных процессов ЛФ Московского технологического института.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие современной техники немыслимо без широкого использования различных неметаллических материалов. Некоторые из них обладают высокой твердостью, прочностью, термостойкостью, стойкостью против коррозии, другие — эластичностью при низких температурах, легкостью и химической стойкостью, третьи являются прекрасными тепло- и звукоизоляторами, отличными диэлектриками. Благодаря этим свойствам неметаллические материалы обуславливают повышение эффективности и надежности машин, приборов и инструментов, снижение их стоимости и массы, сокращение сроков изготовления и увеличение сроков службы, обеспечивают существенную экономию цветных металлов, специальных сталей и сплавов.

В данном учебном пособии рассмотрены: 1) синтетические полимеры и материалы на их основе; 2) силикатные материалы, стекломатериалы; 3) древесные материалы; 4) асбест.

Главное внимание уделено особенностям неметаллических материалов, обусловленным их строением, составом и технологическими процессами переработки в изделия. Учет этих особенностей является решающим для правильного, технически обусловленного применения неметаллических материалов в энергетике, машино-, приборостроении и других отраслях народного хозяйства.

Большое внимание в учебном пособии уделено и синтетическим полимерным материалам, объем промышленного производства которых к 2000 году превзойдет по данным ЮНЕСКО производство черных металлов в пять раз. Контрольными цифрами XXVI съезда КПСС намечено в одиннадцатой пятилетке довести выпуск синтетических смол и пластмасс до 6—6,25 млн. тонн. Данные материалы становятся важнейшим фактором технического прогресса, условием значительного роста производительности труда во всех отраслях народного хозяйства.

В связи с разработкой композиционных материалов на основе полимеров возрастает роль традиционных неметаллов — стекла, древесины, асбеста в приборо- и энергомашиностроении. Эти материалы также рассмотрены в пособии.

В пособии могут встретиться различающиеся количественные данные по свойствам материалов с одинаковым названием. Это объясняется тем, что показатели свойств материалов зависят от методов испытаний, многие из которых пока не унифицированы. Кроме того, ряд материалов, выпускаемых под одним и тем же названием, может иметь различные свойства в зависимости от технологии получения, наличия примесей или добавок и условий последующей переработки.

Все единицы в настоящем издании даны в системе СИ.

В пособии главы II, III и IV написаны Ю. А. Синевым, параграфы, посвященные способам получения деталей из термопластов и реактопластов, — Б. А. Кривицким; остальные — Б. И. Иголкиным.

ГЛАВА I

СИНТЕТИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРЫ И МАТЕРИАЛЫ НА ИХ ОСНОВЕ

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ

Полимерами называются высокомолекулярные соединения, молекулы которых (макромолекулы) состоят из большого числа одинаковых или различных атомных группировок, соединенных химическими связями. По своему происхождению полимеры подразделяются на природные (натуральный каучук, белки, целлюлоза) и синтетические. Синтетические полимеры получают синтезом (соединением) низкомолекулярных веществ, называемых мономерами. Название полимера образуется посредством прибавления к греческому слову «поли» (много) наименования полимера, например: продукт синтеза этилена называется полиэтиленом, стирола — полистиролом, тетрафторэтилена — политетрафторэтиленом (фторопласт-4) и т. д.*.

Многokrратно повторяющиеся атомные группировки (остатки мономеров) называются звеньями полимерной цепи. Число звеньев, или число повторений атомных группировок, называемое *степенью полимеризации*, может изменяться от нескольких единиц до десятков тысяч и более.

Произведение степени полимеризации n на молекулярную массу звена $M_{\text{зв}}$ равно молекулярной массе полимера. Полимеры с молекулярной массой 500—6000 называются *олигомерами*.

Основными реакциями получения — синтеза полимеров являются реакции полимеризации и поликонденсации. Различие между ними заключается в механизме процессов.

Ряд полимеров получают путем химической модификации природных полимеров (целлюлозы, натурального каучука). Получаемые при этом вещества называются искусственными полимерами.

Основными видами полимерных материалов являются: пластмассы, резины, пленки, волокна, лаки, эмали, краски и клеи.

Свойства полимерных материалов и технологический процесс изготовления изделий из полимеров зависят от ряда их характеристик. К важнейшим характеристикам относят: молекулярную структуру, физическое строение и физические (релаксационные) состояния полимеров.

* Для некоторых полимеров сохранилось название «смола» с указанием исходного вещества, например, фенолоформальдегидная смола, эпоксидная смола и др.

§ 1. Молекулярная структура полимеров

Молекулярная структура формируется на стадии синтеза полимеров и определяется природой исходных мономеров, методом и условиями синтеза и механизмом протекающих реакций. Она включает в себя: тип соединения атомных группировок в макромолекуле; химическую структуру звеньев, образующих основную цепь; регулярность построения (пространственную упорядоченность чередования звеньев).

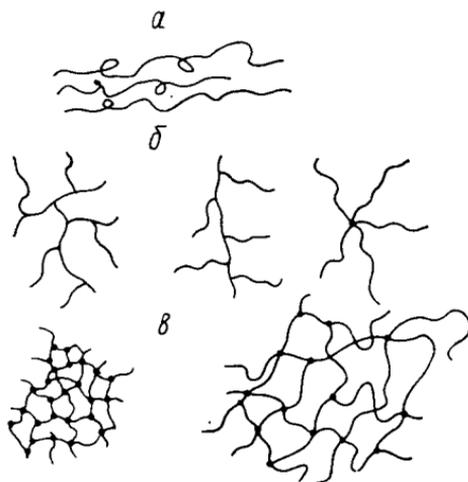


Рис. 1. Схемы строения полимеров: а — линейного; б — разветвленного; в — пространственного (сетчатого)

По типу соединения остатков мономеров в макромолекуле различают полимеры линейного, разветвленного и пространственного (сетчатого) строения. Линейные полимеры можно представить в виде нитей различной длины, т. е. различной молекулярной массы — полидисперсности (рис. 1, а). С увеличением средней молекулярной массы или длины макромолекул одинакового строения возрастают прочность и твердость полимера, снижается его растворимость. В разветвленных полимерах к скелетным атомам основной цепи присоединяются боковые цепи, характер расположения которых может быть различным (рис. 1, б). Разветвленность цепей ослабляет связи между основными цепями и тем самым снижает прочность полимера. Пространственными называются полимеры, построенные из

длинных цепей, соединенных более короткими поперечными (рис. 1, в). Мерой густоты сетки служит молекулярная масса (степень полимеризации) отрезка цепи между узлами сетки. Полимерами с редкой сеткой (макросеткой) являются резины, обладающие эластичностью. С увеличением частоты поперечных связей резины теряют эластичность, возрастает их прочность и теплостойкость.*

По химической структуре звеньев макромолекул полимеры могут быть гетероцепными. В главной цепи этих полимеров содержатся атомы различных элементов (углерода, азота, кремния, фосфора). В гомоцепных полимерах основные цепи построены из одинаковых атомов. Гомо- и гетероцепные полимеры, в главную цепь которых входит углерод, являются *органическими*. В *элементоорганических* полимерах в главной цепи углерод отсутствует, но может входить в обрамляющие главную цепь группы (радикалы). *Неорганические* полимеры построены из макромолекул с неорганическими главными цепями и без органических обрамляющих групп. Наличие тех или иных атомов в звеньях микромолекул и их взаимное сочетание изменяют химические и физические свойства полимера. Так, атомы фтора повышают химическую стойкость, снижают растворимость, повышают теплостойкость, сохраняя эластичность и диэлектрические свойства. Атомы хлора или фосфора замедляют горение и способствуют самозатуханию после удаления огня. Замена углеродных атомов в основной цепи макромолекул на силоксановую связь Si—O повышает термостойкость полимера, сохраняя его диэлектрические свойства.

По расположению звеньев и боковых заместителей (радикалов) относительно плоскости, образуемой скелетными атомами, полимеры делятся на регулярные и статистические (нерегулярные).

В регулярных сополимерах чередование мономерных звеньев различного типа подчиняется определенной периодичности: ...АВАВАВ... (А и В — различные мономерные звенья). В регулярных блоксополимерах определенной периодичности подчиняются длины блоков и их чередование: ...АААВВВ ААА ВВВ... В регулярных привитых сополимерах строго чередуются длина и расстояние между присоединенными цепями другого строения. Стереорегулярные, или тактичные, полимеры характеризуются правильностью чередования радикалов по отношению к плоскости вытянутой цепи. В изотактических полимерах все радикалы ориентиро-

* Образование полимеров пространственного строения в промышленности пластмасс называется отверждением, в резиновой — вулканизацией, в лакокрасочной — сушкой.

ваны по одну сторону цепи, в синдиотактических — правильно чередуются сверху и снизу, в атактических — расположены в пространстве нерегулярно.

Регулярность построения макромолекул, особенно стереорегулярность, играет решающую роль в формировании физической структуры полимеров и, следовательно, их эксплуатационных свойств.

В самой полимерной цепи атомы соединяются прочными химическими связями длиной $1-1,5 \cdot 10^{-10}$ м, а между цепями на расстоянии $3-4 \cdot 10^{-10}$ м существуют значительно более слабые межмолекулярные связи физической природы. Наличие различного характера связей вдоль цепи и между цепями составляет основную особенность молекулярного строения полимерных тел.

§ 2. Гибкость полимерных цепей

Взаимосвязь между физико-механическими свойствами полимеров и их молекулярной структурой проявляется через гибкость макромолекул. Под **гибкостью** понимается способность полимерных цепей изменять свою форму (конформацию) в результате внутримолекулярного теплового движения звеньев или под влиянием внешних механических сил. На рис. 2 приведена схема, поясняющая изменение конформации цепи за счет вращения мономерных звеньев вокруг одиночных связей основной цепи. При этом вращение звеньев происходит без изменения валентного угла, определенного конфигурацией электронного облака химической связи между скелетными атомами и атомами заместителей. В реальных системах молекулы полимеров окружены другими себе подобными молекулами и между ними всегда существует межмолекулярное взаимодействие, ограничивающее подвижность цепи.

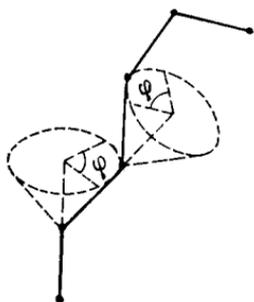


Рис. 2. Схема измерения конформации цепи: φ — угол, характеризующий жесткость макромолекулы

Наибольшее ограничение на подвижность цепи оказывает полярность заместителей.* Интенсивность взаимодействия и соответственно степень торможения характеризуются потен-

В полярных молекулах (группах) средняя плотность электронного облака у одного атома больше, чем у другого. Вследствие этого молекулы приобретают электрический, или дипольный, момент μ , численно равный произведению электрического заряда q на расстояние между зарядами ($\mu = q \cdot l$). Молекула может быть неполярной, если полярные связи расположены симметрично.

циальным барьером вращения. Полимеры с малыми значениями потенциального барьера вращения обладают большой кинетической гибкостью (скоростью перехода из одной конформации к другой). К ним относятся полиэтилен, полипропилен, а также полимеры, у которых полярные заместители редко расположены по цепи (нитрильные каучуки, сополимеры стирола и бутадиена, полиуретаны). Полимеры, у которых полярные заместители расположены часто по цепи (полистирол, поливинилхлорид), а также имеющие при одном атоме углерода два заместителя (полиметилметакрилат), являются жесткими. Полимеры, цепи которых имеют высокую кинетическую гибкость, характеризуются низкими температурами стеклования, пониженными диэлектрическими свойствами.

Кинетическая гибкость возрастает с увеличением молекулярной массы, уменьшением густоты пространственной сетки, ростом температуры.

§ 3. Физическая структура полимеров

Под физической структурой полимеров понимают способ упаковки макромолекул в пространственно выделяемых элементах, размеры и форму элементов и их взаимное расположение в пространстве. Физическая структура определяется стереорегулярностью цепей и их гибкостью.

По физической структуре полимеры разделяют на аморфные и кристаллические. Для аморфных полимеров характерно наличие ближнего порядка в расположении молекул при отсутствии дальнего. Твердые аморфные полимеры называют стеклообразными или стеклами. В пределах аморфного возможно существование ориентированного состояния, для которого характерна ориентация макромолекул преимущественно в одном направлении. Это состояние имеет основное значение в полимерных волокнах и пленках. В первых создается одноосно-ориентированное состояние, во вторых ориентация может изменяться от одноосной до плоскостной. Для ориентированных полимеров характерны более высокие значения прочности и модуля упругости в направлении ориентации, отличаются они также оптическими и другими физическими свойствами. В аморфных полимерах макромолекулы могут образовывать различные агрегаты — надмолекулярные структуры в виде дендритов, шаров и полосатых структур. В этих случаях полимеры обладают хорошо выраженными ближним и дальним порядком в расположении звеньев. Однако термодинамические исследования показывают отсутствие фазовых превращений, что говорит о жидком, а не кристаллическом фазовом состоянии.

В кристаллических полимерах строго одинаковое расположение атомов по всему объему не сохраняется, в них всегда чередуются области большего и меньшего порядка, т. е. кристаллические и аморфные участки. Для характеристики полимеров используют понятие степени кристалличности — объемной доли кристаллов в общем объеме полимера. Степень кристалличности колеблется от 20 до 80%, но может достигать 95—96% (полиформальдегид, политетрафторэтилен). С ростом степени кристалличности повышается прочность, твердость, модуль упругости. Она снижается при уменьшении регулярности цепи, например атактические полимеры не кристаллизуются ни при каких условиях. Существование аморфных участков обеспечивает способность к сравнительно большим обратимым деформациям.

Изменяя условия кристаллизации из раствора или расплава полимера, можно получить различную степень кристалличности. Например, при быстром охлаждении расплава можно получить полностью аморфный полимер. Свойства кристаллических полимеров зависят также от типа структурных элементов (монокристалл, сферолит и т. п.) и их размеров (от 10^{-8} до 10^{-3} м).

§ 4. Физические состояния полимеров

По характеру молекулярной подвижности и преобладающей деформации полимеры могут находиться в трех физических состояниях: стеклообразном, высокоэластическом и вязкотекучем. Температурными границами этих состояний являются температуры стеклования T_c и текучести T_T .

При **стеклообразном** состоянии полимера атомы, входящие в состав цепи, колеблются около положения равновесия. Колебательное движение звеньев и перемещение цепи как единого целого практически отсутствует. При нагревании выше T_c начинают проявляться крутильные колебания звеньев, возникает подвижность независимых кинетических элементов основной цепи макромолекул — сегментов. Это состояние аморфного полимера называется **высокоэластическим**. При дальнейшем нагревании линейного полимера (выше T_T) реализуется подвижность цепи как целого и полимер может начать течь. Такое состояние называется **вязкотекучим**.

В стеклообразном состоянии деформация полимера подчиняется закону Гука и обусловлена изменением средних межатомных расстояний и деформацией валентных углов. В высокоэластическом состоянии преобладающими являются большие (достигающие тысячи процентов) упругие деформации, связанные с распрямлением длинных свернутых цепей,

В вязкотекучем состоянии преобладают пластические деформации, связанные с необратимым перемещением молекул друг относительно друга (рис. 3). Наиболее наглядно о физических состояниях полимера можно судить по термомеха-

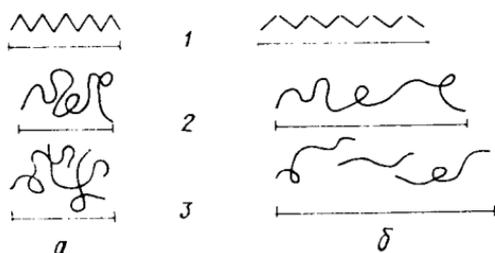


Рис. 3. Схема молекулярных процессов деформации: а — без напряжения, б — под напряжением; 1 — упругость Гука; 2 — высокоэластичность; 3 — вязкость (пластичность)

ническим кривым, получаемым при исследовании зависимости деформации от температуры при постоянной нагрузке (рис. 4). Все три состояния возможны не только у линейных аморфных полимеров, но и у кристаллизующихся. У сетчатых полимеров с редкой сеткой сшивок возможно стеклообразное и высокоэластическое состояние.

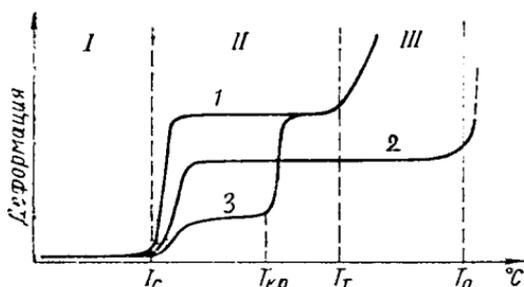


Рис. 4. Термомеханические кривые некристаллического линейного (1), макросетчатого (2) и кристаллического (3) полимеров: I, II, III — соответственно зоны стеклообразного, высокоэластического и вязкотекучего состояний; T_c — температура стеклования; $T_{кр}$ — кристаллизации; T_G — начала вязкого течения; T_0 — начала химического разложения

При охлаждении полимеры линейной (и разветвленной) структуры из вязкотекучего состояния снова возвращаются в высокоэластическое, а затем в стеклообразное. Процесс перехода из одного физического состояния в другое является для них обратимым и может совершаться многократно. По-

этому полимеры линейные и разветвленные называют **термопластичными** или **термопластами**.

Полимеры сетчатой структуры называются **термореактивными** или **реактопластами**, так как на определенной стадии переработки они становятся вязкотекучими, а затем, благодаря образованию поперечных сшивок, утрачивают способность переходить в это состояние. Типичная термомеханическая кривая реактопласта приведена на рис. 5.

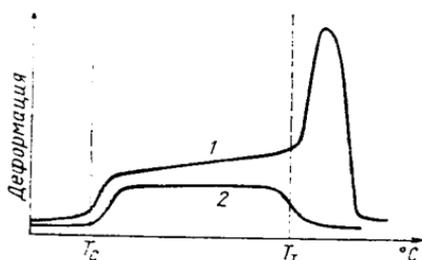


Рис. 5. Термомеханическая кривая сетчатых полимеров: 1 — сшивка происходит выше температуры текучести; 2 — ниже температуры текучести. Обозначения те же, что и на рис. 4

Выше температуры стеклования или плавления полимеры размягчаются и теряют способность сохранять форму под нагрузкой. Поэтому эти температуры определяют верхний температурный предел эксплуатации полимеров, их теплостойкость. Нижней границей эксплуатации по температуре является температура хрупкости T_p (рис. 6).

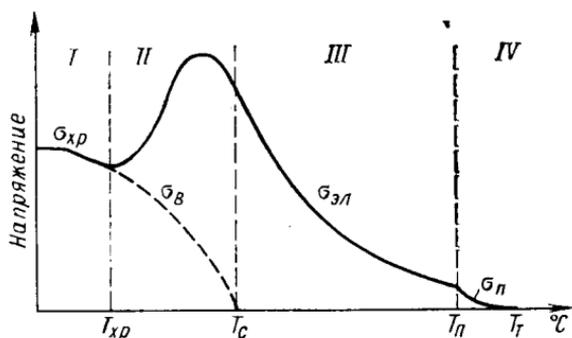


Рис. 6. Температурная зависимость прочности линейных полимеров при достижении области хрупких (I), вынужденно-эластических (II), высокоэластических (III), пластических (IV) деформаций: T_{xp} — температура хрупкости; T_n — температура плавления, остальные обозначения те же, что и на рис. 4

Для полимерных материалов, эксплуатируемых в высокоэластическом состоянии, например резин, температуры T_c и T_{xp} должны быть как можно более низкими, они определяют морозостойкость таких материалов.*

Способность полимеров переходить в вязкотекучее состояние играет решающее значение в их переработке в изделия. В большинстве случаев полимеры перерабатываются при температурах выше T_t . Именно там расположена для большинства полимеров температура химического разложения T_0 , определяющая термостойкость полимера, связанную с разрывом химических связей. В общем случае более термостойкими являются менее разветвленные и в особенности стереорегулярные полимеры.

Для некоторых полимеров (фторопласт-4) T_0 лежит ниже T_t , что делает невозможным формирование таких полимеров высокопроизводительными методами (литьем под давлением, экструзией).

В процессе эксплуатации, переработки или хранения полимеры могут терять отдельные свойства или комплекс полезных свойств. Такое изменение свойств называют **старением** полимера. Чаще всего оно происходит за счет **деструкции** — разрыва химической связи в главной цепи в результате термического, механического, фотохимического или химического воздействия. Старение возможно также вследствие структурирования — сшивки или образования большей разветвленности молекул. Происходит оно и при изменении надмолекулярной структуры под действием внешних и внутренних факторов.

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Многообразие свойств полимерных материалов можно условно разделить на три основные группы: конструкционные, специальные и технологические.

§ 5. Конструкционные свойства

К конструкционным относятся прочностные и деформационные свойства, которые обеспечивают сохранение целостности, формы и размеров изделия при действии внешних нагрузок. Для качественного и количественного описания прочностных (прочность, долговечность, хрупкость, вязкость, твердость, усталостная прочность) и деформационных свойств полимеров (упругость, деформируемость, характери-

* Температура стеклования морозостойких каучуков минус 70°C . Каучуки с температурой стеклования от минус 20 до минус 46°C относятся к неморозостойким.

зуемые кривой напряжение — деформация при растяжении или сжатии; ползучесть, пластичность) пользуются теми же понятиями и характеристиками, что и для неполимерных материалов. В то же время для полимерных материалов в связи с особенностями их поведения введены новые понятия.

Для конструкционных свойств полимеров характерна высокоэластичность (эластичность) — способность развивать под действием внешнего силового поля большие обратимые (высокоэластические) деформации, достигающие десятков, сотен и даже тысяч процентов. Эта способность свойственна только полимерным материалам. Сущность высокоэластичности, с молекулярной точки зрения, состоит в распрямлении свернутых длинных гибких цепей (изменении конформации макромолекул) под влиянием приложенной нагрузки и в возвращении этих цепей к первоначальной форме после снятия нагрузки (см. рис. 3, кривая 2). Эластические упругие деформации следует отличать от мгновенно упругих деформаций, обусловленных изменением расстояний между валентно не связанными атомами и изменением углов (см. рис. 3, кривая 1).

Высокоэластичность полимеров имеет релаксационный характер. Это связано с тем, что кинетические элементы — сегменты, цепи и элементы надмолекулярных структур отличаются размерами и, следовательно, подвижностью. В связи с этим состояние равновесия под действием внешней силы достигается не сразу, а за определенное время, называемое временем релаксации. Из-за релаксационного характера высокоэластической деформации реакция полимеров на механическое воздействие существенно зависит от длительности воздействия. В частности, если время релаксации больше времени деформации или времени воздействия, то полимерный материал ведет себя как линейно упругое тело. При высоких температурах вследствие уменьшения времени релаксации тело может проявлять высокоэластичность и при кратковременном воздействии, а при длительном вести себя как вязкая жидкость. Практически это значит, что при высокой частоте действия силы молекулярные перегруппировки в каучуке или резине не успевают происходить даже при комнатной температуре. Материал обнаруживает свойства, соответствующие твердому, стеклообразному состоянию. Такое явление получило название механического стеклования. Стеклообразному состоянию отвечают значения модуля 10^3 — 10^4 МПа (10^4 — 10^5 кгс/см²).*

* В высокоэластическом состоянии значение модуля порядка 10^{-1} МПа (10 кгс/см²). Переход в вязкотекучее состояние (температура текучести) фиксируется по падению модуля до значений менее 10 — 15 МПа ($10^{-0,5}$ кгс/см²).

Растяжение линейных и разветвленных полимеров в высокоэластическом состоянии сопровождается развитием необратимых деформаций, обусловленных необратимым перемещением целых макромолекул или даже агрегатов макромолекул (рис. 3, кривая 3). В вязкотекучем состоянии процесс перемещения макромолекул является доминирующим.

При испытаниях полимеров в режиме $P = \text{const}$, $T = \text{const}$ деформация $\epsilon_{\text{общ}}$ — деформация ползучести — это сумма всех трех составляющих: условно-упругой, высокоэластической и вязкотекучей (рис. 7). Необратимая (остаточная) деформация выявляется при построении кривой разгрузки (восстановления).

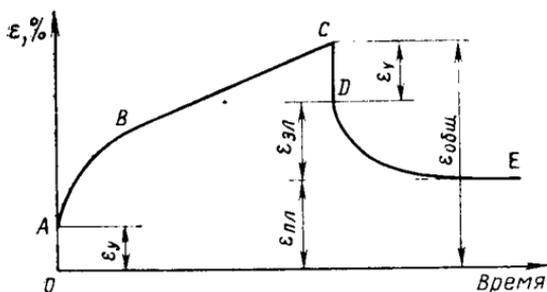


Рис. 7. Временная зависимость относительной деформации линейных полимеров: ОАВС — кривая ползучести; СДЕ — кривая восстановления после снятия нагрузки, $\epsilon = \epsilon_y + \epsilon_{эл} + \epsilon_{пл}$; ϵ_y — условно-упругая деформация; $\epsilon_{эл}$ — высокоэластическая; $\epsilon_{пл}$ — вязкотекучая (пластическая)

Кристаллические и стеклообразные (линейные и разветвленные) полимеры могут также испытывать большие деформации, имеющие тот же механизм, что и высокоэластические. Однако восстановление этих деформаций при снятии напряжения возможно только при нагревании образца до температур, близких или превышающих температуру стеклования или плавления. Такие деформации носят название вынужденно-эластических. Для их развития приложенное напряжение должно превысить некоторое значение σ_v , называемое пределом вынужденной эластичности. При понижении температуры σ_v увеличивается (см. рис. 6). При температурах ниже температуры хрупкости σ_v превышает хрупкую прочность. Температура хрупкости определяет нижний предел температурного интервала эксплуатации стеклообразного полимера (пластмассы). Большой температурный интервал вынужденной эластичности $T_c - T_{хр}$ очень ценное свойство полимера (пластмассы).

Сильно выраженная зависимость прочностных и деформационных характеристик от температуры и времени приложения нагрузки (или скорости нагружения) характерна для полимерных материалов (рис. 8). Эта особенность является в значительной степени следствием термофлуктуационной природы разрушения. Полагают, что разрыв химических связей наступает в результате тепловых флуктуаций, а роль механического напряжения состоит в предварительном растяжении связей и повышении вероятности термофлуктуационного разрыва. Математическим выражением кинетической теории прочности служит зависимость долговечности τ от приложенного напряжения σ и температуры T, K для стеклообразных полимеров

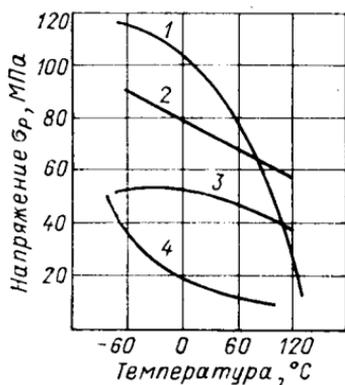


Рис. 8. Температурная зависимость прочности пластмасс: 1 — органическое стекло; 2 — гетинакс; 3 — фенопласт К-12-2; 4 — полиэтилен высокого давления

$$\tau = \tau_0 \exp \frac{U_0 - \gamma \sigma}{kT},$$

где U_0 — энергия активации процесса разрушения; $\tau_0 = 10^{-12} - 10^{-13}$ с; k — постоянная Больцмана; γ — структурно-чувствительный коэффициент.

§ 6. Специальные свойства

Плотность полимеров, близкая к единице (исключение составляют политетрафторэтилен и политрифторхлорэтилен), зависит от химического состава, степени кристалличности и физического состояния аморфной фазы. Полимеры и материалы на их основе в среднем в 2 раза легче алюминия и в 5—8 раз легче стали и меди. В сочетании с высокими конструктивными свойствами эта их особенность позволяет создавать легкие и прочные изделия и конструкции.

Для полимеров характерна низкая теплопроводность (коэффициент теплопроводности лежит в интервале 0,1—0,3 Вт/(м·°С) и высокая удельная теплоемкость (колеблется от 1,0 до 2,8 кДж/(кг·°С)). В сочетании с высокой термостойкостью данные теплофизические свойства позволяют широко использовать полимеры в качестве теплоизолирующих и теплозащитных материалов.

Коэффициент линейного расширения ниже T_c колеблется в интервале $3 \cdot 10^{-5}$ — $9 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Это значение на порядок выше, чем у стали. В кристаллических полимерах значения данного коэффициента уменьшаются с ростом степени кристалличности.

Фрикционные (антифрикционные) свойства полимерных материалов характеризуются коэффициентом трения и износостойкостью. Полимерные материалы, коэффициент трения которых в условиях эксплуатации превышает 0,2, относятся к фрикционным, ниже 0,2 — к антифрикционным. Износостойкость характеризует устойчивость материала к разрушению поверхностного слоя.

Значения этих характеристик зависят от химической природы полимера и применяемого наполнителя, от их физического строения и физического состояния полимера. Кроме того, фрикционные свойства зависят от целого ряда трудноконтролируемых факторов — шероховатости поверхности, вида и количества смазки, скорости движения, продолжительности контакта, нагрузки, температуры в зоне контакта и др. Для сравнительной оценки полимерных материалов используют показатели, определенные при стандартных условиях испытаний.

Электрические свойства полимеров характеризуются удельным объемным электрическим сопротивлением, электрической прочностью (прочность на пробой), диэлектрической проницаемостью и диэлектрическими потерями. В основном они определяются полярностью звеньев макромолекул.

Электропроводность полимеров (величина, обратная электрическому сопротивлению) очень мала и зависит от подвижности ионов, которая, в свою очередь, определяется молекулярной подвижностью и зависит от физического состояния полимера: в стеклообразном состоянии электропроводность наименьшая. Наибольшее влияние, наряду с температурой оказывает влажность. Например, при относительной 10-процентной влажности поверхностное сопротивление полистирола и полиэтилена уменьшается в 100 раз по сравнению с сопротивлением в сухой атмосфере.

Электрическая прочность оценивается пробивным напряжением, приходящимся на единицу толщины материала. Прочность зависит от толщины образца полимера, продолжительности действия электрического поля, параметров окружающей среды и частоты электрического поля; определяется электрическим сопротивлением, теплофизическими и диэлектрическими показателями и термостойкостью. С повышением температуры величина пробивного напряжения снижается, особенно резко в области температур стеклования и плавления.

Диэлектрическая проницаемость и диэлектрические потери характеризуют поведение полимерных материалов в переменном электрическом поле. Они определяются способностью полимеров к поляризации и соотношением скорости протекания процессов поляризации и частоты изменения электрического поля. В неполярных полимерах наблюдается только поляризация, связанная с деформацией электронного облака в электрическом поле. Продолжительность этого процесса очень мала (10^{-13} — 10^{-14} с) и не зависит практически от температуры. Поэтому относительная диэлектрическая проницаемость неполярных полимеров ϵ' в диапазоне частот ниже 10^{12} практически не зависит от температуры и частоты переменного поля и составляет 2,0—2,7. В полярных полимерах основной вклад вносит не деформационная, а ориентационная поляризация, связанная с ориентацией постоянных диполей в электрическом поле. Скорость ориентационной поляризации определяется подвижностью диполей, поэтому этот механизм поляризации носит релаксационный характер. При релаксационных переходах относительная диэлектрическая проницаемость возрастает скачкообразно, а тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ проходит через максимум. В связи с этим электрические показатели, определенные в стандартных условиях, являются условными и могут быть использованы только для сопоставления материалов. В общем случае наличие ориентационной поляризации наряду с деформационной повышает значения ϵ' и $\text{tg}\delta$ полярных полимеров. Окончательный выбор полимера в качестве диэлектрика (изолятора) осуществляется по его диэлектрическим и другим физическим свойствам в широком интервале температур и частоты электрического поля.

Под стойкостными свойствами понимают способность полимеров сопротивляться действию воздуха, влаги, специальных или агрессивных сред: газообразных (озона, двуокиси азота и серы и т. п.) или жидких (масел, гидромоторных жидкостей, смазок, топлив, концентрированных кислот и щелочей, окислительно-восстановительных сред, поверхностно-активных веществ, растворов солей и др.) в течение продолжительного времени. Внешний вид и эксплуатационные свойства (физико-механические, электрические и др.) полимеров не должны при этом значительно изменяться. Особую опасность при эксплуатации представляют агрессивные среды, вызывающие как набухание (увеличение объема), так и химические реакции. Сравнение устойчивости некоторых аморфных и кристаллических полимеров к агрессивным средам и органическим растворителям дано в табл. 1.

Качественная оценка стойкости полимеров к действию агрессивных сред и растворителей

Полимер	Баллы для различных сред и растворителей					Общая сумма баллов
	кислот	щелочей	окислителей	растворов солей	органических растворителей	
Политетрафторэтилен	10	10	10	10	10	50
Поливинилхлорид	10	10	10	10	10	50
Полиэтилен	10	10	7	10	5	42
Полипропилен	10	10	7	10	5	42
Полистирол	10	10	3	10	3	36
Полиметилметакрилат	9	7	3	10	4	33
Полиамиды (алифатические)	3	7	1	10	7	28

§ 7. Технологические свойства

К технологическим свойствам полимеров относятся: реологические свойства; стойкость к термической и термохимической деструкции; способность ориентироваться при течении, кристаллизоваться и отверждаться; усадочные свойства.

Реологические свойства характеризуют способность материала течь и формоваться. Они определяют возможность применения различных способов переработки полимеров в изделия и параметры технологического процесса (производительность, температуру, давление). На основании реологических закономерностей проводятся расчеты элементов рабочих органов перерабатывающего оборудования.

Стойкость полимеров к термической и термохимической деструкции (термостойкость) оценивается температурой разложения T_0 , т. е. температурой, при которой начинаются потери в массе. Она характеризует верхнюю допустимую границу переработки полимеров по температуре. Наряду с T_0 и $T_{кр}$ для аморфных и кристаллических полимеров температура T_0 определяет температурный интервал формования изделий из термопластичных полимеров (табл. 2).

С явлениями ориентации и кристаллизации связано образование той или иной структуры, а также существование внутренних напряжений. Оба эти процесса определяют свойства материала в изделии. Свойства изделий из реактопла-

Температурные интервалы переработки термопластичных полимеров

Полимер	Минимальная температура формирования, °С	Температура начала деструкции T_0 , °С	Интервал формования, °С
Полистирол	90—110	310	220—200
Полиметилметакрилат	100—115	280	180—165
Поливинилхлорид	70—90	170	100—80
Поликарбонат	275	330	55
Политетрафторэтилен	327	400	73
Полипропилен	170	300	130
Полиэтилен	120—130	320	200—190
Полиформальдегид	173—190	240	67—50

стов характеризуются скоростью и полнотой отверждения. В частности, неполное отверждение обуславливает нестабильность свойств во времени, а также протекание деструктивных процессов в изделиях; низкая скорость отверждения ведет к удлинению технологического процесса.

Усадочные свойства полимеров определяют точность размеров формуемых изделий. Они зависят от химического состава и молекулярной структуры, вида и консистенции наполнителя, от условий предварительной подготовки материала (таблетирование, подогрев) и режимов формования. Учет технологической усадки необходим при конструировании формующего инструмента и изделий.

Применение полимеров в различных отраслях народного хозяйства обусловлено также оптическими, звукоизоляционными, санитарно-гигиеническими, декоративными и прочими свойствами.

ПЛАСТИЧЕСКИЕ МАССЫ

Пластмассами называются материалы, основу которых составляют полимеры, находящиеся в период формования изделий в вязкотекучем или высокоэластическом состоянии, а при эксплуатации — в стеклообразном (в случае аморфных или аморфно-кристаллических полимеров со степенью кристалличности ниже 50—60%) или кристаллическом (в случае высококристаллических полимеров).

§ 8. Компоненты пластмасс

В состав пластмасс, кроме синтетических полимеров, входят различные добавки (ингредиенты). К важнейшим из них относятся: наполнители, пластификаторы, отвердители, стабилизаторы, красители.

Наполнители применяют для улучшения конструкционных свойств пластмасс, придания им различных специфических свойств и снижения стоимости. Количество наполнителя во многих случаях составляет 45—50% от массы полимера (в высоконаполненных полимерах содержание наполнителя может в три и более раз превышать содержание полимера). Кроме количеств содержания наполнителя на изменение свойств пластмасс оказывают влияние его химическая природа и физическое строение.

По химической природе наполнители разделяются на органические и неорганические, по виду — на порошкообразные, волокнистые, листовые и газообразные.

Наиболее распространенным органическим порошкообразным наполнителем является древесная мука, неорганическим — минеральная мука: кварц, асбест, слюда, порошки металлов и др. Эти наполнители применяют, главным образом, для изменения специальных свойств пластмасс (тепло-, влаго-, химстойкости, теплопроводности, электрической проводимости и др.), снижения ее усадки и стоимости. Порошкообразные наполнители применяются как в термо-, так и реактопластах.

В качестве волокнистого наполнителя широко применяют хлопок, обладающий хорошими диэлектрическими и удовлетворительными физико-механическими свойствами. Все большее применение находят синтетические волокна (полиамидные, полиэфирные). Пластмассы, содержащие эти волокна, характеризуются высокой коррозионной и химической стойкостью, малым коэффициентом трения и высокой износостойкостью. Из неорганических волокон важнейшими являются асбестовое и стеклянное. Применение стеклянного волокна повышает антифрикционные, диэлектрические свойства, улучшается тепло- и химстойкость материала. Применение асбеста в виде волокон или нитей повышает тепло-, огне-, атмосферо- и химстойкость, а также ударную вязкость. Все волокнистые наполнители пластмасс позволяют существенно повысить конструкционные свойства, например, при использовании волокон в виде непрерывных нитей получают изделия с исключительно высокими прочностными показателями (армированные пластики). Содержание волокнистых наполнителей в термопластах составляет обычно 15—40%, в реактопластах — 30—80% от массы полимера.

К листовым наполнителям относятся: бумага, ткани, шпон, холсты, сетки, пленки, маты и другие материалы. Их вводят почти исключительно в термореактивные полимеры. Основное назначение листовых наполнителей — улучшение конструкционных и некоторых специальных, например, антифрикционных свойств. Получаемые пластмассы обладают анизотропией свойств.

Газообразные наполнители в виде низкокипящих углеводородов и газов (CO_2 , H_2 , N_2) вводятся в полимер на стадии полимеризации при приготовлении композиции или непосредственно при формировании изделий.

Для придания материалу повышенной устойчивости к знакопеременным и ударным нагрузкам в пластмассы вводят низкомолекулярные наполнители (эластификаторы), в качестве которых используются эластомеры. Эластификатор распределяют в связующем в виде частиц размером $0,2—10 \cdot 10^{-6}$ м.

Пластификаторы представляют собой низковязкие вещества с высокой температурой кипения и низкой температурой замерзания (стеклования или плавления), полностью растворимые в аморфной фазе (в случае термопластов). В большинстве случаев это низкомолекулярные эфиры многоосновных кислот (фталевой, себациновой, адипиновой и др.).

Пластификаторы применяют для повышения эластичности и пластичности материала при эксплуатации и переработке. Увеличение количества пластификатора приводит к понижению температур стеклования (расширению области высокоэластического состояния), текучести и вязкости полимерных расплавов, что облегчает переработку полимеров. Одновременно изменяется весь комплекс свойств полимера: уменьшается модуль упругости, прочность и долговечность; понижается удельное электрическое сопротивление, электрическая прочность; возрастает эластичность, морозостойкость; изменяется сопротивление утомлению. Некоторые пластификаторы придают полимерным материалам такие ценные свойства, как негорючесть, термо- и светостойкость.

Стабилизаторы препятствуют иницированию и протеканию деструктивных процессов в полимерах, обусловленных действием тепла, механических нагрузок, света и других видов излучений, кислорода воздуха, микроорганизмов и т. п. Стабилизаторы вводят в небольших количествах, и их влияние на физико-механические свойства полимеров ничтожно мало.

Отвердители способствуют превращению олигомеров в твердые нерастворимые и неплавкие трехмерные полимеры. Различают собственно отвердители, а также инициаторы и катализаторы отверждения.

Красители придают окраску полимерным материалам. Они могут быть органическими и неорганическими (пигментами). Органические красители вводятся в небольших количествах (0,01—1%) и не вызывают изменения механических и электрических свойств изделий. Неорганические красители имеют более высокую термо-, свето- и атмосферостойкость, но уступают органическим по красящей способности.

§ 9. Классификация пластмасс

Научная классификация пластмасс в настоящее время не разработана. В основу рассматриваемой классификации (табл. 3) положены молекулярная структура полимера, характер процессов, сопутствующих формованию изделий, и вид наполнителя, которые обуславливают существенное различие по эксплуатационным и технологическим характеристикам. В табл. 3 приведены наиболее распространенные пластмассы.*

Таблица 3

Классификация пластмасс

Класс	Группа	Подгруппа	Название
Термопласты	1. Гомогенные	Неориентированные	Полиэтилен, полистирол, полихлорвинил, полиметилметакрилат, полиамиды, поликарбонат, фторопласты и др.
		Ориентированные	Полиметилметакрилат (органическое стекло), полистирол, полихлорвинил
	2. Гетерогенные	С твердым наполнителем	Термопластичные волокниты, термопластичные текстолиты, термопласты с порошковым наполнителем
Термореактопласты	1. Отверждающиеся при высоких давлениях	Пресс-порошки	Фенопласты, амнопласты, на основе кремнийорганических смол
		Волокниты	Волокнит на хлопковой целлюлозе, органич. волокнит, асболокнит, стекловолокнит, древесная пресс-крошка

* Газонаполненные пластмассы выделены в отдельный класс в силу их существенного отличия по ряду физико-механических характеристик от других полимерных материалов.

Класс	Группа	Подгруппа	Название
		Слоистые пластики	Гетинакс, асбогетинакс, текстолит, стекло-текстолит, асботекстолит, древесно-слоистые пластики
	2. Отверждающиеся при низких давлениях	Литьевые компаунды	Эпоксидные, полиэфирные, полиуретановые, кремнийорганические
		Стекловолокниты	С ориентированным расположением непрерывных волокон
		Стекловолокниты	С неориентированным расположением волокон
Газонаполненные пластмассы		Пенопласты и поропласты	Пенополивинилхлорид, пенополистирол, пенополиуретаны, пенофенопласты, пеноэпоксиды, пенополиолефины
		Пластики с полым наполнителем	С полимерным сферическим наполнителем, со стеклянным сферическим наполнителем

ТЕРМОПЛАСТЫ

Термопластичными или термопластами называют полимеры, находящиеся при обычной температуре в застеклованном или кристаллическом состоянии и способные при нагревании обратимо переходить в эластическое и вязкотекучее состояния. Термопласты имеют линейную или разветвленную структуру. Формирование молекулярной структуры термопластов завершается на стадии синтеза в строго контролируемых условиях, поэтому они имеют вполне определенную молекулярную массу.

§ 10. Свойства и применение некоторых термопластов

Наиболее распространенными термопластами являются материалы на основе полиэтилена, полихлорвинила, полистирола, политетрафторэтилена, поликарбонатов, полиамидов, полиуретанов, полиэтилентерефталата (лавсана) и др.

Полиэтилен (П) — твердый полимер белого цвета. В зависимости от условий полимеризации получают: полиэти-

лен высокого давления ($P_{вд}$) или полиэтилен низкой плотности; полиэтилен среднего давления ($P_{сд}$); полиэтилен низкого давления ($P_{нд}$) или полиэтилен высокой плотности. Молекулярная масса промышленных марок составляет 30—400 тыс. для $P_{вд}$ и 50—800 тыс. для $P_{сд}$ и $P_{нд}$. Степень кристалличности $P_{вд}$ — 60%, $P_{нд}$ — 70—85% и $P_{сд}$ — 90%. Структурные особенности полиэтилена обеспечивают сочетание жесткости и твердости при обычных температурах с достаточной эластичностью и способностью «работать» до минус 120°C. Некоторые его физико-механические и электрические свойства видны из табл. 4. Полиэтилен относится к неполярным полимерам. По диэлектрическим свойствам, мало изменяющимся в диапазоне температур от минус 160 до плюс 120°C, он является одним из лучших диэлектриков для высокочастотной техники, изоляции проводов и защитных оболочек силовых кабелей, деталей установок радио- и телевизионной аппаратуры. Полиэтилен характеризуется малой проницаемостью для воды и водяных паров. До температуры 60—80°C он обладает высокой стойкостью к действию почти всех кислот и щелочей, окисляется концентрированной азотной и серной кислотами при 50—135°C. В органических растворителях при комнатной температуре несколько набухает. При температуре выше 80°C растворяется. Стабилизированный полиэтилен хорошо сопротивляется действию солнечной радиации (фотодеструкции) и термоокислительной деструкции. Он практически безвреден и не выделяет в окружающую среду опасных для здоровья человека веществ. Эти свойства определяют его применение в изготовлении емкостей для хранения агрессивных сред, арматуры, гальванических ванн, насосов для кислот и щелочей, солевых растворов, труб, санитарно-технических изделий и предметов домашнего обихода. Полиэтилен широко применяют для производства пленок технического и бытового назначения.

Полипропилен — бесцветный полимер без характерного запаха и вкуса. Получаемый в промышленности, он имеет изотактическую структуру с регулярно построенной цепью, поэтому легко кристаллизуется. В тонких пленках практически прозрачен (пленки из полипропилена прозрачнее пленок из полиэтилена). Полипропилен хороший диэлектрик. Его электроизоляционные свойства не изменяются даже после длительной выдержки в воде, а диэлектрическая проницаемость почти не зависит от частоты поля и температуры. Изделия из него отличаются относительно хорошей износостойкостью, высокой стойкостью к многократным изгибам и ударной вязкостью, которая при низких температурах примерно в два-три раза выше, чем у обычного полистирола.

Физико-механические и электрические

Полимер	Плотность, кг/м ³	Степень кри- сталличности, %	Температура экс- плуатации, °С	Прочность при растяжении, МПа
Полиэтилен				
П _{вд}	920— 940	55—67	—50—70	10—16
П _{нд}	940— 960	75—90	—60—100	20—30
Полипропилен	920— 930	80—95	—10—120	25—40
Винипласт	1380— 1400	10—15	0—60	70—120
Пластикат	1180— 1340	10—15	—60—70	10—25
Полистирол	1050— 1080	0	—40—65	37—45
Фторопласт-4	2100— 2300	50—95	—269— 260	14—35
Фторопласт-3	2090— 2160	30—40	—195— 130	30—45
Поликарбонат	1200— 1220	25	—100— 135	57—75
Полиметил-метакрилат	1100— 1200	0	—180—80	60—70
Полиамиды	1130— 1160	50—70	—25—80	55—100
Полиформальдегид	1400— 1420	75—96	—40—80	65—70
Пентапласт	1320— 1400	30	0—120	25—70
Полиуретан	1200	—	—50—110	50—60

Полипропилен применяют для внутренней обшивки автомобилей, приборных досок, аккумуляторных блоков, рукояток, муфт; из него изготавливают детали насосов, вентиляей, арматуры, в точной механике — детали пишущих и счетных машин, счетчиков, измерительных приборов, кассет и корпусов фотоаппаратов.

Винипласт и пластикат являются наиболее распространенными в СССР пластмассами на основе поливинилхлорида. Винипласт — жесткий, непластифицированный материал. Он обладает высокой химической стойкостью к кислотам, щелочам, растворам солей, воде. Поэтому его широко при-

Удлинение при растяжении, %	Ударная вязкость кДж/м ² (с надрезом)	Коэффициент трения (со смазкой и без смазки)	Диэлектрическая проницаемость при 10 ³ /10 ⁶ Гц	Тангенс угла диэлектрических потерь при 10 ³ /10 ⁶ Гц	Светопроницае- мость, % блок/пленка
400—600	—	—	2,1—2,4	(2—5)10 ⁻⁴	/прозрач.
300—800	(2—80)	—	2,3—2,4	(2—5)10 ⁻⁴	
700—800	33—80	—	2,0—2,2	(2—5)10 ⁻⁴	/прозрач.
10—15	70—80	—	3,1—3,5	(1,5—2,5)10 ⁻²	/прозрач.
200—400	(7—15)	—	3,1—3,5	(1,5—2) · 10 ⁻²	
1,5—3,0	20—30	—	2,5—2,8	(2—8)10 ⁻⁴	88—90
250—500	100	0,04	1,9—2,2	2 · 10 ⁻⁴	
20—200	20—160	—	2,3—2,8	2,4/1,0 · 10 ⁻²	/прозрач.
50—70	120—140	0,3—0,4	2,8—3,2	(0,8—1,0)10 ⁻²	80—85
2—5	10—33	—	3,5—4,5	(5—6)10 ⁻²	90—93
150—400	90—150	$\frac{0,02}{0,15}$	3,6—6,2	(2—5)10	—
15—40	75—130	$\frac{0,06}{0,16}$	3,3—3,7	1 · 10 ⁻² — 4,5 · 10 ⁻³	—
10—40	8—140	$\frac{0,12}{0,12}$	3,1—3,2	(1,1—1,4)10 ⁻²	—
—	50	—	—	(1,4—2,0)10 ⁻²	—

меняют для изготовления и футеровки электролизных и травильных ванн, для изготовления воздухопроводов, резервуаров для хранения кислот и щелочей, труб для транспортировки агрессивных жидкостей, в качестве упаковочного материала для бытовых товаров (сосуды, контейнеры, флаконы). В электротехнике его применяют вместо эбонита.

Пластикат (Пл) — пластифицированный поливинилхлорид. Пл выпускается различных марок, отличающихся друг от друга количеством и типом пластификатора, наполнителями, стабилизаторами и другими ингредиентами. Кабельный Пл обладает высокими диэлектрическими свойствами,

поверхностной твердостью, прочностью, теплостойкостью (70°C) и морозостойкостью (-40°C). Некоторые марки пластика могут длительное время работать при 150°C .

Кабельный Пл применяют для изоляции проводов и кабелей, изготовления электроизоляционных шлангов. Электропроводящие Пл применяют для экранирования высоковольтных кабелей, изготовления токопроводящих жил, нагревательных элементов и др. Листовой Пл применяют в качестве технической клеенки, фартуков, плащей, поясных ремней. Пленки Пл (0,01 мм и меньше) используют для упаковочных целей. Подошвенный Пл служит для изготовления и починки обуви. Прокладочный Пл используют при температурах от минус 15 до 40°C в качестве химически стойкого прокладочного или герметизирующего материала. Пл применяют также для изготовления мягких резервуаров, трубок, колпачков, втулок, мембран, профильных и погонажных изделий. Из Пл с малым содержанием полихлорвинила (до 30%) известны формопласт и гидропласт. Формопласт применяют при изготовлении форм для отливок из цемента, гипса или воска. Гидропласт служит передающей средой в зажимных устройствах металлорежущих станков и как уплотнение в насосах.

Полистирол (Пс) — аморфный, прозрачный, хрупкий продукт, степень полимеризации 600—2500. Пс хорошо окрашивается в любые цвета. Его физико-механические свойства зависят от степени полимеризации: при ее возрастании прочностные и деформационные характеристики увеличиваются. Выше степени полимеризации, соответствующей примерно молекулярной массе 100000, механические свойства изменяются мало. По комплексу диэлектрических свойств полистирол Пс является хорошим диэлектриком, уступая лишь полиэтилену и политетрафторэтилену. Пс отличается высокой водостойкостью, стоек к слабым кислотам и щелочам, маслу, но не устойчив к бензину. Обладает высокой стойкостью к радиоактивному излучению.

Полистирол широко применяется в промышленности средств связи и высокочастотной электротехнике, для изготовления радиотехнических деталей, пленок высокочастотных конденсаторов, изоляции высокочастотных кабелей, изготовления антенн.

Из Пс изготовляют химическую посуду, краны, трубки, контейнеры, облицовочные плитки, осветительную арматуру.

Сополимеры стирола с добавкой 5—25% нитрильного каучука, называемые ударопрочными Пс, применяют при изготовлении холодильников, стиральных машин, электробритв, биноклей, авторучек.

Политетрафторэтилен (фторопласт-4) — линейный кристаллический полимер белого цвета. Применяют фторопласт-4 (Ф4) молекулярной массы от нескольких сотен тыс. до 10 млн. Степень кристалличности до 90—95%. Температура плавления 320—327° С — наиболее высокая из всех кристаллических полимеров. Значительная деструкция Ф4 начинается лишь при температурах несколько выше 415°. Он не горит, при температурах до 260° С не растворяется ни в одном растворителе, превосходя по химической стойкости золото и платину.* Ф4 — один из лучших диэлектриков, так как его диэлектрические свойства мало зависят от частоты тока и сохраняются во всем интервале температур эксплуатации. Кинетический и статический коэффициенты трения низки ~0,04. Для Ф4 характерна ползучесть под действием небольших механических нагрузок уже при комнатной температуре. При нагревании деформированных образцов выше 327° С они в значительной степени восстанавливают свою форму.

Ф4 широко применяют в качестве изоляционного материала для проводов, кабелей, конденсаторов, трансформаторов и устройств, работающих в коррозионных средах, а также при низких и высоких температурах. Из Ф4 для химической промышленности изготавливают трубы, сильфоны, прокладки, мембраны, вентили, краны, антикоррозионные и антиадгезионные покрытия. Его можно использовать также в качестве материала для подшипников, работающих без смазки. Однако более перспективно применение различных композиций Ф4 с бронзой, графитом, стекловолокном, коксом: по износостойкости такие материалы превосходят Ф4 в 500—600 раз.

Политрифторхлорэтилен (фторопласт-3) обладает более высокой поверхностной твердостью и меньшей деформируемостью. У фторопласта-3 (Ф3) практически отсутствует текучесть на холоде. Для высококристаллического Ф3 характерна повышенная плотность, твердость и прочность около 80%. Быстро охлажденный (закаленный) Ф3 прозрачен для видимой и инфракрасной областей спектра в тонких слоях и более эластичен. Степень кристалличности такого Ф3 — 12—40%. Он работоспособен при температурах от минус 195 до плюс 130—190° С. Деструкция начинается при $t \sim 250^\circ \text{C}$. Он стоек к большинству агрессивных сред и воде. Является хорошим диэлектриком при низких частотах.

* При нагреве Ф4 выше 250° С следует использовать вытяжную вентиляцию, так как в этих условиях начинают выделяться высокотоксичные продукты.

ФЗ применяют для изоляции проводов в обмотках моторов и трансформаторов, изготовления катушек, соединительных деталей, цоколей и панелей радиоламп, выпрямителей, муфт сопротивления, переключателей.

Клапаны и уплотнители из ФЗ широко используют в средах жидкого кислорода и водорода, в различных агрессивных средах, высоковакуумных установках, при повышенных давлениях.

Низкомолекулярный ФЗ применяют для смазки клапанов, компрессоров, насосов, для пропитки сальниковых набивок, в качестве термостойких гидравлических жидкостей.

Поликарбонаты (Пк) — высокоплавкие самозатухающие полимеры белого цвета. Степень кристалличности 10—40%. Температуры плавления и стеклования зависят от строения исходного мономера (150—270 и 95—180°С). Пк обладают высокими прочностными свойствами, стабильностью размеров, очень малой склонностью к ползучести, низкой температурной зависимостью механических характеристик. У Пк хорошие диэлектрические свойства как при комнатной, так и при повышенных температурах. Некоторые из них оптически прозрачны, устойчивы к действию УФ-света и излучений высоких энергий. Деструкция Пк начинается при нагреве выше 330°С. Они практически не растворимы в обычных органических растворителях.

Пк применяют главным образом в электротехнике для изготовления ограничителей, защитных экранов для кинескопов телевизоров, плит для печатных схем, каркасов для катушек, штепсельных вилок, клеммовых панелей, телефонных аппаратов, электротехнической арматуры и др.

Полиэтилентерефталат (Пэт) — твердый полимер белого цвета. Максимальная степень кристалличности 40—45%, молекулярная масса 20000—40000. Пэт сохраняет основные эксплуатационные характеристики в диапазоне рабочих температур от минус 60 до плюс 170°С. Значительная деструкция начинается при нагреве выше 300°С. В видимой части спектра Пэт оптически прозрачен, является хорошим диэлектриком. Электрические свойства до 180°С и в присутствии влаги изменяются незначительно. Он устойчив к действию световых, рентгеновских и γ -лучей, потока протонов.

Пэт применяется для изготовления полиэтилентерефталатных пленок, прочность при растяжении которых в 10 раз больше, чем у пленок из полиэтилена и в 12 раз — из политетрафторэтилена. Эти пленки прочнее алюминиевой фольги равной толщины, работоспособны при температурах от минус 60 до плюс 150°С, кратковременно могут быть использованы при нагревании до 200°С и охлаждении приблизительно до —200°С.

Пленки из Пэт стойки к жирам, маслам, органическим растворителям, разбавленным кислотам и при обычных температурах к щелочам. Ориентированные пленки совершенно прозрачны, имеют высококачественную глянцевую поверхность. По электронизоляционным свойствам они превосходят все другие полимерные пленки.

Широко применяют их как основу для лент магнитной записи и кинофотопленок, в качестве теплостойкой изоляции обмоток трансформаторов, двигателей и других электрических машин, кабельной изоляции. Применение пленок Пэт в комбинации с картоном для пазовой изоляции электродвигателей позволяет уменьшить их габариты без снижения качества. Металлизированные пленки Пэт широко применяются в производстве радиоаппаратуры.

Полиметилметакрилат (органическое стекло) — бесцветный прозрачный полимер, обладающий высокой атмосферостойкостью, хорошими физико-механическими и электронизоляционными свойствами. Молекулярная масса 200 тысяч и выше. Органическое стекло пропускает свыше 99% солнечного света, значительно превосходя силикатное стекло (силикатное пропускает всего 0,6% ультрафиолетовых лучей, органическое — 73,5%). Оргстекло водостойко, но набухает в масле, бензине, спиртах, растворяется в ацетоне, уксусной кислоте, дихлорэтане.

Полиметилметакрилат используют в автомобильной промышленности (задние фонари, подфарники, шкалы, световые отражатели и др.), приборостроении (линзы, призмы, шкалы), для изготовления изделий широкого потребления (посуда, пуговицы и др.) и канцелярских принадлежностей. Его широко применяют для светотехнических изделий (рассеиватели света для светильников), вывесок. Используются они в виде самотвердеющих пластмасс в производстве зубных протезов, изготовлении штампов, литейных моделей, абразивного инструмента. На основе полиметилметакрилата изготавливают лаки для кузовов автомобилей, для отделки тканей, волокон, бумаги, кож и т. д.

Полиамидными материалами, нашедшими наибольшее распространение, являются алифатические гомополиамиды 6 (капрон), 66 (нейлон), полиамиды 68, 54, 548, АК7, вторичный капрон. Эти марки различаются теплостойкостью, температурой плавления, механическими показателями, водостойкостью.

Полиамиды стойки в маслах, бензине, ацетоне, щелочах, но разрушаются в кислотах, феноле. Они отличаются высокой износостойкостью и низким коэффициентом трения при работе всухую и со смазкой.

Полиамиды можно подвергать холодной вытяжке на 400—600%; при этом их прочность возрастает почти в семь раз. Поэтому из капрона и нейлона изготавливают высокопрочные нити и изделия из них (канаты, сети, лески, ткани) с низкой гигроскопичностью и большей прочностью во влажном и сухом состоянии по сравнению с шелковыми.

Из полиамидов изготавливают небольшие сложные детали приводов: шестерни, червяки, зубчатые рейки, втулки, уплотнения. В машиностроении их применяют для легконагруженных шестерен, вкладышей подшипников, втулок, кулачков и других деталей сложной конфигурации, изготовление которых значительно проще, быстрее и дешевле, чем из металла.

Для повышения эксплуатационных свойств полиамидов в них вводят различные наполнители. В этом случае они работают в узлах трения при температурах от минус 60 до минус 100°С; в качестве конструкционных изделий (платы, втулки, корпуса, каркасы) — при температурах от минус 60 до плюс 150°С.

Полиформальдегид — кристаллическое вещество со слабым запахом формальдегида. Он не стоек к действию минеральных кислот, горюч (сгорает без остатка), не токсичен. Стабилизированный полиформальдегид устойчив при нагревании до 250°С в отсутствие кислорода. Деструктирует при температурах выше 160°С. Поэтому для переработки на литьевых машинах в него вводят стабилизирующие добавки, увеличивающие индукционный период разложения до 40 мин.

Полиформальдегид отличается высокой усталостной прочностью к динамическим знакопеременным нагрузкам (по этому показателю он превосходит другие термопласты, в частности поликарбонат, хотя уступает ему по прочности при однократных нагрузках), стабильностью размеров и низкой ползучестью при повышенных температурах, сохранением высокой прочности и жесткости при нагревании до 100°С, высокой износостойкостью (уступает только полиамидам), хорошими фрикционными свойствами.

Более 90% полиформальдегида используют для замены цветных металлов и сплавов в машиностроении, автомобилестроении и других областях, так как срок службы таких деталей больше и они не корродируют. Изготавливают из него и втулки, колеса, шестерни, пружины, рукоятки, корпуса приборов.

Пентапласт — рогоподобный, бесцветный, не имеющий запаха продукт, степень кристалличности ~30%. По химстойкости пентапласт превосходит поливинилхлорид и несколько уступает фторопластам. По прочностным показателям бли-

зок полипропилену. Изделия из пентапласта не обладают хладотекучестью, не изменяют своих размеров при работе во влажной среде, не имеют внутренних напряжений и способны сохранять заданные размеры.

Пентапласт обладает небольшой усадкой, малым коэффициентом линейного расширения, высокой стойкостью к истиранию. Используется он для изготовления коррозионно-стойкой аппаратуры — труб, вентилях, клапанов, гибких шлангов, деталей насосов, шестерен, деталей точных приборов, машин и др.

Полиуретаны в зависимости от метода получения могут быть линейными и сшитыми. В зависимости от применяемых исходных веществ им можно придавать различные свойства: эластичность, твердость, хрупкость и т. д.

Линейные полиуретаны — вязкие жидкости или твердые вещества аморфной или кристаллической структуры; степень кристаллическости до 70%. Сшитые полиуретаны — аморфные или кристаллические полимеры.

Линейные кристаллизующиеся полиуретаны применяют в качестве пластмасс, характеризующихся высокой жесткостью. По своим свойствам они имеют много общего с полиамидами, хотя их прочностные показатели ниже, чем у последних, а эластичность выше. Полиуретаны более водостойки, на них в меньшей степени действуют кислоты и различные окислители. Они сохраняют свои упругие свойства при низких температурах, в то время как полиамиды при минус 10° С начинают терять свою гибкость.

К **полимер-полимерным композициям** относятся материалы, полученные структурной модификацией широко распространенных полимеров.

Пластики АБС — эластифицированные сополимеры стирола и акрилонитрила. Это непрозрачные, обычно темноокрашенные материалы, характеризующиеся более высокой прочностью при растяжении и большей жесткостью, устойчивостью к действию динамических нагрузок, чем ударопрочный полистирол. Прозрачные модификации содержат четвертый компонент (метилметакрилат). Пластик АБС широко применяют для изготовления корпусов приборов теле- и радиоаппаратуры, телефонов, футляров, контейнеров, шлемов, арматуры, труб, деталей автомобилей (рулевых колес, крыльев, приборных щитков).

Пластики МБС — эластифицированные полиметилметакрилат и сополимеры метилметакрилата со стиролом и акрилонитрилом. Эти пластики по сравнению с полиметилметакрилатом (органическим стеклом) обладают более высокой твердостью, прочностью, устойчивостью к органическим растворителям, атмосферостойкостью. Их применяют для из-

готовления протезов, корпусов приборов, несущих механическую нагрузку, бесосколочного ударопрочного стекла для самолетов, автобусов и др.

Существенное улучшение свойств термопластов достигается введением в них наполнителей. В том случае, когда термопласты используются как конструкционные материалы, наиболее целесообразно вводить в них волокно органического или неорганического происхождения. Если при этом длина волокон не превышает 2—6 мм, а степень наполнения 20—30%, то технологические свойства термопластов не ухудшаются. В промышленном масштабе в настоящее время выпускают стеклонаполненные полиамиды и поликарбонаты.

§ 11. Способы получения деталей из термопластов

Способы изготовления деталей из термопластов основаны на их способности при нагревании переходить в вязкотекучее (или высокоэластическое), а при охлаждении — в стеклообразное состояния.

Наибольшее распространение в промышленности получили следующие способы получения деталей: литье под давлением; экструзия (непрерывное выдавливание); формование; центробежное литье.

Литье под давлением является одним из самых экономичных и высокопроизводительных способов изготовления деталей из термопластов (и некоторых реактопластов) в условиях массового и серийного производства. Но следует отметить, что этому способу подвергаются не все термопласты, а только те из них, у которых температура деструкции намного выше, чем температура текучести.

Сущность данного способа состоит в следующем (рис. 9).

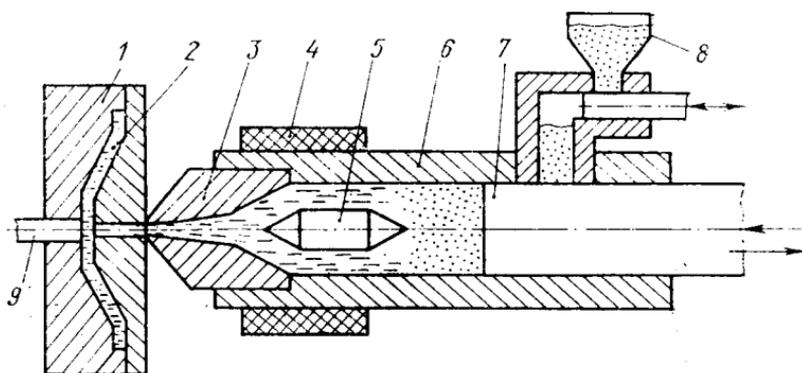


Рис. 9. Схема литья термопластов под давлением

Исходный материал в виде гранул из загрузочного бункера 8 подается в рабочий цилиндр 6, который подогревается электронагревателями 4 до определенной температуры. По мере перемещения в цилиндре полимер переходит в вязкотекучее состояние. Для более равномерного нагрева расплава в цилиндре имеется рассекатель 5. При движении рабочего поршня 7 определенная доза материала через сопло 3 под давлением поступает в полость пресс-формы 1. После затвердевания материала пресс-форма размыкается и деталь 2 выталкивателями 9 извлекается из нее.

Литье под давлением обладает широкими технологическими возможностями и обеспечивает изготовление деталей весом до 30 кг, сложной конфигурации с тонкими стенками, ребрами жесткости и резьбой.

Основными технологическими параметрами данного процесса являются: температура пластмассы и пресс-формы, удельное давление литья, продолжительность выдержки. Изменяя их в определенном диапазоне, можно влиять на степень кристалличности полимера, ориентацию молекул и, следовательно, на физико-механические свойства деталей.

В промышленности литье под давлением осуществляется на специальном оборудовании — термопластавтоматах, основными техническими характеристиками которых являются: максимальная порция впрыскивания, максимальная площадь отливки, производительность, удельное давление литья.

Выбирают необходимый термопластавтомат, исходя из материала, габаритных размеров и массы детали, а также требуемой производительности.

Экструзия (выдавливание) — технологический процесс, сущность которого состоит в придании материалу требуемой формы в поперечном сечении путем его продавливания через профилирующий инструмент (матрицу).

Методом экструзии в промышленности изготавливают самые разнообразные изделия большой длины (трубы, профили, прутки, ленты, пленку и др.), а также наносят защитные оболочки на провода, кабели и бумагу.

Экструзию осуществляют на специальных червячных машинах (экструдерах). Технология этого метода следующая (рис. 10). Перерабатываемый термопластичный материал в виде гранул или порошка из бункера 1 попадает в рабочий цилиндр 3, где захватывается вращающимся червяком 2 и перемещается в направлении матрицы (мундштука) 6. В процессе перемещения материал уплотняется, разогревается до вязкотекучего состояния и непрерывно выдавливается через калиброванное отверстие матрицы. Для получения труб устанавливают специальную оправку и решетку 5. Разогрев рабочего цилиндра осуществляется при помощи рубашек 4,

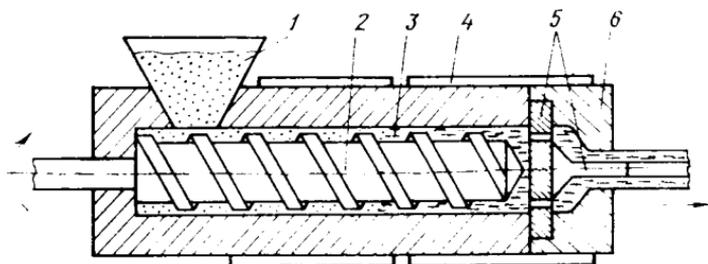


Рис. 10. Схема непрерывного выдавливания

через которые пропускают пар, масло или другой теплоноситель. Полученное изделие охлаждается и сматывается в рулоны либо разрезается на мерные заготовки.

Основными характеристиками экструдеров являются: скорость вращения и диаметр червяка, профиль нарезки, отношение длины червяка к диаметру. Современные машины имеют червяки диаметром от 20 до 300 мм, частоту вращения в пределах 20—200 об/мин. Производительность экструдеров достигает 300 кг/ч.

Представляет интерес применение процесса выдавливания для получения тонкостенных полых изделий типа бутылок и емкостей. Выходящая из головки экструдера тонкостенная горячая труба зажимается разъемной пресс-формой. После этого через специальную оправку внутрь трубы подается зажатый отрезок трубы, в результате чего пластмасса приобретает конфигурацию пресс-формы. В ней она и охлаждается.

Для получения листового материала используются экструдеры с плоскими щелевыми головками шириной до 1600 м.

Очень тонкие пленки (толщиной до 0,05 мм) получают преимущественно каландровым способом, который заключается в пропускании размягченного полимера через систему валков с последующим охлаждением.

Формование относится к способам переработки, в которых полимер находится в высокоэластическом состоянии. Применяется этот способ в основном для получения деталей из листовых термопластов (винипласта, полистирола, оргстекла и др.).

Различают следующие основные виды формования термопластов: вакуумная и пневматическая формовка; формовка в штампах.

Для перевода листового материала в высокоэластическое состояние его предварительно нагревают в термошкафах или

непосредственно перед формированием источниками инфракрасного излучения.

Вакуумная формовка применяется для изготовления тонкостенных деталей сложной пространственной формы. Сущность этого способа состоит в следующем (рис. 11). Предварительно разогретую заготовку 2 плотно прижимают рамкой 1 к поверхности матрицы 3. После чего из полости матрицы выкачивают воздух, создавая необходимое разрежение, в результате чего заготовка втягивается в матрицу и воспроизводит ее конфигурацию. Достоинством вакуумной формовки является простота установки и ее обслуживания, однако небольшой перепад давлений не позволяет применять этот метод для толстолистовых термопластов (более 2,5 мм).

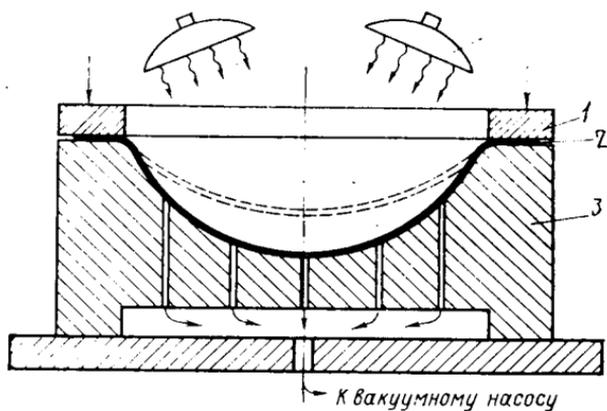


Рис. 11. Схема вакуумной формовки

В последнем случае применяют пневматическую формовку, при которой заготовка прижимается к матрице давлением сжатого воздуха, нагретого до 50° С.

Разновидностью пневмоформовки является формовка через протяжное кольцо, при которой на зажатую по контуру листовую заготовку действуют давлением сжатого воздуха. Заготовка при этом свободно деформируется и приобретает сферическую форму. Полученные таким способом колпаки кабин самолетов, детали оптики, светотехники и т. п. имеют высокую прозрачность.

Формовку в штампах применяют для изготовления деталей типа козырьков, обтекателей, корпусов и др. Термопласт формуют на гидравлических или механических прессах с помощью пуансона и матрицы, которые в зависимости от размеров детали и серийности производства могут быть изготовлены из дерева или металла как жесткими, так и эластичными.

Процесс, аналогичный формовке, применяют для футеровки пластмассой в качестве антикоррозионного покрытия металлических труб изнутри. Для этого внутрь металлической трубы вставляют с зазором пластмассовую трубу и нагревают до размягчения, после чего сжатым воздухом раздувают ее, обеспечивая плотный контакт с металлом.

Центробежным литьем получают крупногабаритные и толстостенные детали, имеющие форму тел вращения (трубы, кольца, шкивы, зубчатые колеса и т. д.). Сущность способа заключается в том, что расплавленный полимер заливают в металлическую вращающуюся форму. Под действием центробежных сил он плотно прижимается к внутренней поверхности формы и в процессе вращения затвердевает. Центробежное литье рекомендуется для кристаллизующихся полимеров, обладающих повышенной усадкой, и применяется главным образом для изготовления деталей из полнамидов.

§ 12. Способы получения неразъемных соединений

Неразъемные соединения пластмассовых изделий получают сваркой и склеиванием. Сварку применяют только для термопластичных материалов, которые нагревают до вязкотекучего состояния. Происходит она за счет взаимной диффузии молекулярных цепей.

Сварка нагретым газом является одним из самых распространенных видов и применяется для изготовления из поливинилхлорида, винипласта, полиэтилена, полипропилена, полиамидов, полистирола листов, труб, емкостей, ванн для травления, химической арматуры и т. д. Сварку осуществляют с присадочным материалом. Теплоносителем является воздух, азот, углекислый газ и др.

Сущность процесса сварки с присадочным материалом состоит в следующем. В зону соединения листов под определенным углом специальным пистолетом направляют струю воздуха. Одновременно в свариваемую зону подается присадочный материал (сварочный пруток), который расплавляется, образуя сварной шов.

Основными технологическими параметрами процесса сварки являются: диаметр сварочного прутка, температура газа, скорость укладки прутка, угол его наклона и др.

Данный способ применяют для сварки термопластов, имеющих сравнительно невысокую температуру плавления.

Сварку нагретым инструментом применяют для соединения тонкостенных труб, пленок и листов. Свариваемые детали нагревают металлическим инструментом до вязкотекучего состояния, после чего соединяют под небольшим давле-

нием. Данный способ широко применяется для сварки изделий из полиэтиленовой пленки.

Сварка токами высокой частоты основана на нагреве свариваемых поверхностей деталей высокочастотным электрическим полем до вязкотекучего состояния с последующим их соединением под небольшим давлением. Данный вид сварки характеризуется высокой производительностью, экономичностью и хорошим качеством соединения. Промышленность выпускает ряд специализированных и универсальных сварочных машин и установок с использованием токов высокой частоты, которые широко применяются в крупносерийном и массовом производстве.

Например, при высокочастотной сварке на роликовых машинах (рис. 12) ролики 2 являются электродами, подводящими ток высокой частоты от генератора 3 в зону сварки. При этом за счет диэлектрических потерь в свариваемом материале 1 выделяется тепло, которым он нагревается. При достижении требуемой температуры ролики сдавливают листы и перемещаются в направлении сварки, образуя шов. Кроме роликовой, существуют точечная и прессовая сварки токами высокой частоты.

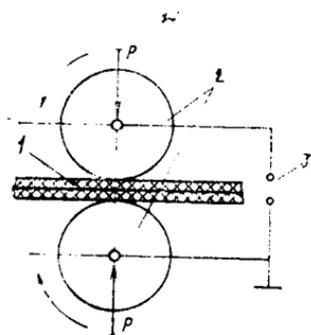


Рис. 12. Схема сварки листовых термопластов токами высокой частоты

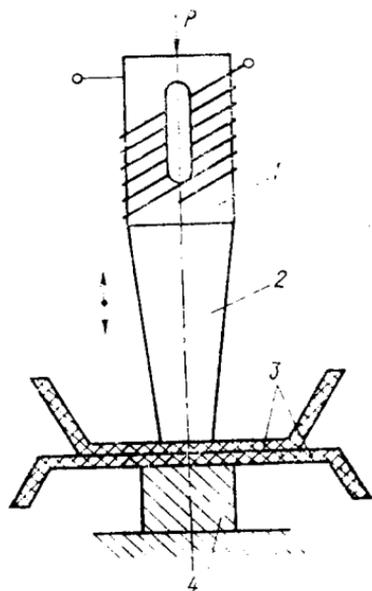


Рис. 13. Схема ультразвуковой сварки

Ультразвуковая сварка пластмасс является одним из наиболее перспективных способов получения неразъемных соединений и основана на нагреве контактирующих поверхностей

за счет превращения энергии ультразвуковых колебаний в тепловую.

При сварке ультразвуком соединяемые детали 3 зажимаются с некоторым усилием между волноводом 2 и отражателем 4 (рис. 13). При подаче токов высокой частоты (более 20000 Гц) на обмотку магнитострикционного вибратора 1, соединенного с волноводом, возбуждаются механические колебания высокой частоты, передающиеся на свариваемые детали.

РЕАКТОПЛАСТЫ

К реактопластам относят материалы, переработка которых в изделия сопровождается химическими реакциями образования полимера сетчатой (трехмерной) структуры—отверждением. При этом пластик необратимо утрачивает способность вновь переходить в вязкотекучее состояние.

§ 13. Свойства и применение некоторых реактопластов

Реактопласты выгодно отличаются от термопластов значительно большей деформационной устойчивостью, прочностью, более низким коэффициентом теплового расширения, большей теплостойкостью, менее резкой зависимостью свойств от температуры.

Физико-механические и физико-химические свойства реактопластов зависят от химической природы полимера; природы, вида* и количества наполнителя; степени отверждения полимера и термической обработки после формирования. Важное значение имеет также адгезионное взаимодействие между связующим и наполнителем.

В качестве связующих (полимеров) используют главным образом феноло-формальдегидные (новолачного и резольного типов), карбамидные, кремнийорганические, эпоксидные и полиэфирные смолы.

Феноло-формальдегидные смолы новолачного типа являются термопластичными. Их превращение в полимеры сетчатого строения осуществляется под действием уротропина. Смолы резольного типа терморезистивны и уже при обычной температуре заметно теряют текучесть и растворимость, т. е. постепенно приобретают пространственное строение. Пластмассы на основе новолачных смол отверждаются с более высокой скоростью (более технологичны) и имеют большую теплостойкость, чем резольные. Водостойкость, химическая стойкость и диэлектрические свойства выше у ре-

* Под видом наполнителя понимается форма, размер и взаимное расположение его частиц.

зольных материалов. В чистом виде феноло-формальдегидную смолу используют в качестве связующего при изготовлении шлифовальных кругов (бакелитовая связка), производстве литейных форм (пультвербакелит), при ремонте пористого литья, для изготовления малоответственных и электроизоляционных изделий путем заливки в форму.

Карбамидные смолы имеют более высокие диэлектрические свойства, бесцветны и легко окрашиваются в любые цвета.

Кремнийорганические смолы характеризуются повышенными электроизоляционными свойствами и очень высокой теплостойкостью (300—350 °С).

Достоинством эпоксидных (ЭД-5, ЭД-6 и др.) и полиэфирных (ПН-1, ПН-2 и др.) смол является их способность отверждаться при низких давлениях и температурах в сочетании с высокими механическими свойствами; стойкостью к кислотам, щелочам; хорошей адгезией к металлу, стеклу, пластмассам.

Основными типами реактопластов являются пресс-порошки, волокниты и слонстые пластики. Свойства некоторых реактопластов приведены в табл. 5.

Пресс-порошки — реактопласты, представляющие собой смесь порошкообразного наполнителя с термореактивной смолой, подвергнутой частичному отверждению. Они обычно содержат 30—60% смолы, 40—70% наполнителя, 2—4% красителя.

Пресс-порошки на основе феноло-формальдегидных смол называются фенопластами, на основе карбамидных — аминопластами.

Фенопласты общетехнического назначения готовят на основе новолачных смол и древесной муки (К-2-2, К-15-2, К-18-2 и др.). Из них изготавливают ненагруженные детали и изделия ширпотреба.

Электроизоляционные пресс-порошки готовят на основе резольных и новолачных смол, а также древесной муки и ее смеси с минеральным наполнителем. Из них изготавливают электротехнические и радиотехнические детали. Высококачественные пресс-порошки содержат минеральные наполнители и смолы резольного и новолачного типов, модифицированные полнамидом. Их применяют для деталей высокочастотных установок. В жаростойких пресс-порошках применяется коротковолокнистый асбест с новолачными смолами. Из этих порошков изготавливают детали нагревательных устройств: электропечей, утюгов, плиток, паяльников, патронов, выключателей и пр. Пресс-порошки на основе новолачных смол, модифицированных каучуком, с органическим или минеральным наполнителем являются ударопрочными.

Свойства некоторых

Материал	Плотность, г/см ³	Ударная вязкость, кДж/м ²	Теплостой- кость по Мартенсу, °С	Прочность при изгибе, МПа
Пресс-порошки с на- полнителями:				
органическим	1,3—1,4	5—6	125—140	60—70
минеральным	1,6—2,0	3—5	140—145	40—9,5
Волокнит	1,4—1,45	9—12	140—150	80—90
Текстолокнит	1,3—1,4	9—19	125—170	75—80
Асболокнит	1,9—3,0	9—21	200—240	60—70
Стекловолокнит	1,7—1,8	50—100	280—300	70—250
Гетинакс	1,2—1,4	13—15	150—170	80—140
Текстолит	1,3—1,4	20—35	120—135	120—160
Асботекстолит	1,5—1,7	20—35	200—250	70—110
Стеклотекстолит	1,6—2,0	50—200	180—200	110—250
ДСП	1,23—1,35	25—80	120—140	140—280

Во влаго- и химстойких пресс-порошках связующее модифицируют химстойкими полимерами, например поливинилхлоридом.

Пресс-порошки на основе карбамидных смол, наполненных сульфитной и хлопковой целлюлозой, окрашиваются в любые цвета, не имеют запаха, светостойки и нетоксичны.

Пресс-порошки на формальдегидных смолах, модифицированных кремнийорганическими смолами, с минеральными наполнителями (кварц, слюда) характеризуются высокой дугостойкостью и применяются для различных электротехнических изделий.

Пресс-порошки на основе эпоксидных смол перерабатываются при низких давлениях. В качестве наполнителей в них применяют кварцевую муку и тонкоизмельченное стекловолокно. По своим эксплуатационным характеристикам они аналогичны лучшим маркам высокочастотных фенольных пресс-порошков.

Волокниты — пресс-материалы, состоящие из волокна, пропитанного терморезактивной смолой. Наполнителем чаще всего служит целлюлозное волокно, главным образом хлопковое, связующим — феноло-формальдегидная смола резольного или новолачного типа. Из волокнита изготавливают футляры, корпуса и крышки аппаратов, шестерни, маховики,

Коэффициент трения (сухого)	Электрическая прочность, Мв/м	Диэлектрическая проницаемость при 10^6 Гц	Тангенс угла диэлектрических потерь	Водопоглощение, %
—	8—15	4,5—8	0,04—0,1	—
0,3—0,33	8—15	4,5—20	0,005—0,1	—
—	6—15	4,5—6	0,004—0,1	—
—	8—12	4,5—6	0,004—0,1	—
0,33—0,35	0,6—5	—	—	0,3—0,5
—	4,0	—	0,5	0,5
—	20—30	6—8	0,05—0,1	—
0,22 (0,32)	3—6	6—8	0,02—0,07	0,1—5
0,05—0,07 (0,3—0,38)	0,6—5	7	1,0—	2,0
—	12—30	3,8—8,0	0,005—0,02	0,1—3
0,005 (0,35)	15—30	7—8	0,04—0,06	3—5

втулки, дверные ручки, панели, настилы для ступеней эскалаторов.

Текстуролокниты (ТВ) состоят из кусочков ткани (текстильной крошки), пропитанных резольной смолой из неслонных пресс-материалов. Они имеют самый большой показатель удельной ударной вязкости. Антифракционные свойства ТВ удовлетворительны, поэтому из них изготавливают ролики, рукоятки, шестерни, втулки, вкладыши подшипников и др.

Асболокниты АВ состоят из волокнистого асбеста, пропитанного феноло-формальдегидной или кремнийорганической смолами. Последняя применяется для повышения терлостойкости до 300°C (от 200°C для феноло-формальдегидной смолы). АВ являются фрикционными и электроизоляционными материалами. Из асболокнита марки К-6 (фенольный) изготавливают высоко- и низковольтные коллекторы, клеммные колодки, электрические панели и др. Кремнийорганические АВ марок К-41-5, КМК-218 используют как жаростойкий электроизоляционный материал для изготовления корпусов и деталей приборов, электроаппаратуры, лабиринтных дугогасящих камер, контакторов постоянного тока большой мощности и др.

Стекловолокниты (СВ)—пресс-материал, состоящий

из коротких стеклянных волокон, пропитанных терморезактивной смолой. Наполнителем служат отрезки волокон, нитей, жгутов, кусочки тканей; связующим — феноло-формальдегидные, полиэфирные, эпоксидные, кремнийорганические и другие смолы. СВ подразделяют на спутанно-волокнистые, гранулы из пропитанных нитей и жгутов, гранулированные мелкодисперсные массы и «стеклокрошку». Их электрические свойства определяются в основном природой связующего; конструкционные и технологические — содержанием, типом и длиной стекловолокна и типом связующего. Из СВ изготавливают различные изделия конструкционного радио-, электро- и теплозащитного назначения.

Древесная пресс-крошка состоит из частиц древесного шпона листовых пород, пропитанных резольными феноло-формальдегидными смолами. Древесная пресс-крошка служит для изготовления деталей, к которым предъявляют требования высокой технической прочности, химстойкости, а также хороших антифрикционных свойств. Ее применяют и как заменитель текстуроволокна для изготовления аналогичных деталей, но работающих не во влажной среде.

Слоистые пластики — полимерные материалы, армированные параллельно расположенными слоями наполнителя. В качестве наполнителя используют:

а) бумагу и картон из целлюлозных, синтетических, асбестовых и других волокон;

б) ткани из хлопчатобумажных, стеклянных, углеродных, синтетических, асбестовых и других волокон;

в) шпон или однонаправленные ленты из стеклянных, углеродных, органических и других волокон, а также древесины.

Наиболее распространенными связующими в производстве слоистых пластиков являются феноло-формальдегидная, эпоксидная и полиэфирная, а также кремнийорганическая смолы.

Характерной особенностью слоистых пластиков является анизотропия их свойств, т. е. неодинаковость количественных характеристик многих физических свойств (механических, электрических, термических и др.) по различным направлениям. Механическую анизотропию используют для создания более прочных и легких конструкций.

Гетинакс (Гн) — слоистый пластик на основе бумаги. Применяют в качестве электроизоляционного материала для работы при температурах от минус 65 до плюс 105°С. Его широко используют в производстве электромашин, в телефонной аппаратуре, трансформаторах и других аппаратах. Из фольгированного Гн, покрытого с одной стороны красномед-

ной фольгой, изготавливают печатные схемы для радиоприемников.

Намоточные изделия применяют для изготовления каркасов катушек индуктивности, высокочастотных контуров и др. Декоративный гетинакс используют для облицовки мебели, стен.

Текстолит (Тл) — слоистый пластик с наполнителем в виде тканых или нетканых волокнистых полотен из хлопчатобумажных тканей. Чаще всего используют бязь, миткаль, бельтинг. В последнее время все больше применяют ткани на основе искусственных и синтетических волокон (органотекстолит). Применение нетканых полотен из хлопковых, вискозных, полиамидных и полиэфирных волокон существенно снижает стоимость текстолита. Тл — поделочный конструкционный и антифрикционный материал, применяемый для изготовления подшипников скольжения (прокатных станков, каландров, гидротурбин), подшипников, зубчатых и червячных колес, направляющих в станках и т. п.

Некоторые текстолиты обладают хорошими диэлектрическими свойствами и применяются для электроизоляционных деталей в трансформаторах. Прокладочный Тл применяется для уплотнений от протекания масла, бензина, керосина и воздуха.

Асботекстолит (АТ) изготавливают на основе асбестовой ткани. Для повышения прочности в нее добавляют хлопковые или синтетические волокна. АТ обладает хорошими фрикционными и теплозащитными свойствами. Его используют в качестве панелей и электрощитков, тормозных колодок и дисков, теплозащиты в ракетной и авиационной технике. Асботекстолиты могут длительно работать при температурах до 200°C , ограниченно — до 500°C и кратковременно до 4500°C .

Стеклотекстолит (СТ) превосходит текстолит и гетинакс по прочностным характеристикам, тепло-, влаго- и химстойкости, электроизоляционным свойствам, а асботекстолит — по ряду физико-механических характеристик. Наполнитель СТ — стеклоткань. Свойства СТ зависят от состава стекла и типа связующего, вида переплетения и структуры ткани, схемы ее укладки. При сатиновом переплетении максимально реализуются прочностные характеристики волокна (по сравнению с саржевым или полотняным переплетением). В СТ используют ткани от равнопрочных до кордных, а также многослойные (объемное плетение) ткани с повышенной межслоевой прочностью.

Стеклотекстолит применяется в качестве электроизоляции в различных электрических машинах, трансформаторах,

а также при изготовлении крупногабаритных изделий (цистерны, баки, корпуса автомобилей, ракет, судов и т. д.).

Древеснослоистые пластики (ДСП), изготовленные на основе шпона (тонкого древесного листа), обладают хорошими конструкционными и особенно антифрикционными свойствами. Свойства ДСП зависят от качества шпона, его толщины, состава резольной смолы и метода укладки листов шпона. В большинстве случаев ДСП являются полноценным заменителем текстолита, несколько уступая ему по водостойкости. Как электроизоляционный материал ДСП применяют для деталей аппаратуры высокого напряжения.

Стеклопластики с ориентированным расположением непрерывных волокон подразделяют на однонаправленные (все волокна расположены взаимно параллельно) и перекрестные (волокна расположены под заданным углом друг к другу, постоянным или переменным по изделию). Для перекрестных используют стеклоткани (см. стеклотекстолит) и стеклоленты. Вдоль расположения волокон прочность и модуль упругости однонаправленных стеклопластиков максимальны, а температурный коэффициент расширения и усадка минимальны. Изменяя ориентацию волокон, можно в широких пределах регулировать свойства материала в соответствии с условиями нагружения изделия. В зависимости от требований к изделию наполнителем могут служить моноволокна, стеклошпон — ленты или листы, получаемые по технологии СВМ (стекловолокнистых анизотропных материалов из моноволокон, жгутов, стеклонитей).

Ряд свойств стеклопластиков с ориентированным расположением волокон можно улучшить, применив профильные волокна (с формой сечения, отличающейся от цилиндрической). Стеклопластики на основе полиэфирных и эпоксидных связующих, отверждающихся при 17—25 или при 130—200°С, можно длительно эксплуатировать при температурах до 80 или 208°С соответственно на основе фенольных связующих при 200—250, кремнийорганических — при 180—370, полиамидных — при 200—400°С.

Стеклопластики с неориентированным расположением непрерывных волокон на основе связующих, отверждающихся при низком давлении и температуре (эпоксидные и полиэфирные смолы), характеризуются большей изотропией физических и механических свойств; у них меньше степень наполнения и они более дешевы, особенно стекломаты (стеклохолсты).

Стеклопластики с ориентированным и неориентированным расположением волокон используют главным образом для крупногабаритных изделий (лодки, катера, яхты, корпуса

грузовых и легковых автомобилей, светопрозрачные кровли, цистерны, трубы и др.). Из одноосноориентированных стеклопластиков изготавливают профильные изделия (трубки, стержни, уголки и др.).

Компаунды полимерные — композиции на основе полимеров, олигомеров или мономеров, предназначенные для заливки или пропитки токопроводящих схем и деталей с целью изоляции их в электро- и радиоаппаратуре. В качестве полимеров (или олигомеров) в состав композиций входят эпоксидные, полиэфирные и кремнийорганические смолы, а также полуретаны. В качестве наполнителей — пылевидный кварц, молотое кварцевое стекло, фарфоровая пыль, слюдяная мука, окислы металлов, цементы и др. Применяют также стружки и опилки, коротконарезанные волокна (алюминиевые, стальные, древесные, хлопчатобумажные, стеклянные и пр.). В зависимости от количества вводимого наполнителя могут быть получены не только пропиточные (пропитка обмоток электрических машин), но и заливочные компаунды (для заливки промежутков между деталями в электро- и радиоустройствах), а также замазки для заделки трещин и неплотностей различных сосудов, литья, шпаклевки неровностей поверхностей (металлических, керамических, деревянных).

Пропиточные компаунды должны иметь малую начальную вязкость и высокую пропитывающую способность, а заливочные — вязкость, обеспечивающую хорошее заполнение различных объемов. Для понижения вязкости, морозостойкости и стойкости к резкому изменению температуры, а также уменьшения хрупкости, в компаунды вводят пластификаторы. Эпоксидные компаунды холодного отверждения применяют при температурах эксплуатации до 120°C . Компаунды, отвержденные при нагревании ангидридами, могут длительно эксплуатироваться при температурах от минус 60 до плюс 160°C и кратковременно до 200°C .

Физико-механические и электрические свойства полиэфирных компаундов несколько ниже, чем эпоксидных, их применяют при температурах от минус 60 до плюс 120°C .

Отвержденные полиуретановые компаунды характеризуются хорошей морозостойкостью (-80°C) и эластичностью, однако имеют малую механическую прочность, а их электроизоляционные свойства резко снижаются при повышении температуры эксплуатации до 120°C .

Кремнийорганические компаунды холодного отверждения являются эластомерами с малой прочностью при растяжении, плохой адгезией к различным материалам, но имеют хорошие электрические характеристики, мало изменяющиеся при повышении температуры во влажной среде. Кремнийор-

ганические компаунды горячего отверждения отличаются малыми диэлектрическими потерями в диапазоне температур от минус 60 до плюс 200° С и выше.

§ 14. Способы получения деталей из термореактопластов

Характерной особенностью технологии получения деталей из термореактопластов является то, что в процессе изготовления детали одновременно происходят химические реакции (полимеризация или поликонденсация), обеспечивающие формирование свойств пластмассы как конструкционного материала.

Наибольшее распространение в промышленности нашли следующие способы получения деталей: прямое (компрессионное) горячее прессование; литьевое прессование; прессование на плитах многоэтажных прессов; свободное литье.

Прямое горячее прессование — один из основных способов получения деталей небольших размеров средней сложности из термореактивных пластмасс с порошкообразными и волокнистыми наполнителями.

Сущность указанного способа заключается в следующем (рис. 14). В полость матрицы 1 загружают определенную порцию порошкообразного или предварительно таблетиро-

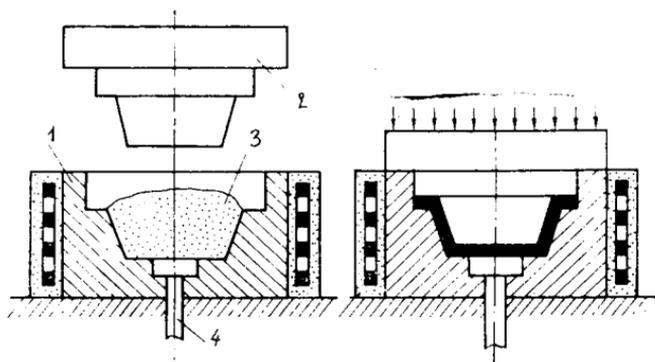


Рис. 14. Схема прямого (компрессионного) горячего прессования

ванного материала 3. Далее пуансон 2 опускается и за счет усилия гидравлического пресса, на котором установлена пресс-форма, создается давление на прессуемый материал. Под действием давления, а также тепла от нагретой пресс-формы, материал переходит в вязкотекучее состояние и заполняет полость матрицы. После определенной выдержки пресс-форма раскрывается, и выталкивателем 4 из нее удаляется готовая деталь.

Следует отметить, что в процессе горячего прессования протекают реакции полимеризации или поликонденсации, в результате которых образуется сетчатая структура и происходит отверждение полимера.

Указанные реакции сопровождаются выделением летучих веществ и влаги, поэтому для их удаления производят так называемую подпрессовку, заключающуюся в подъеме пуансона на 5—10 мм и выдержке его в таком положении в течение 2—3 с, после чего пресс-форма снова замыкается.

Основными технологическими параметрами процесса горячего прессования являются: температура прессования T , удельное давление P , время выдержки t .

Для увеличения производительности процесса часто применяют предварительный подогрев материала. Режим прессования зависит от вида перерабатываемого материала и конструкции детали. Заданный режим прессования обеспечивают специальные автоматические и полуавтоматические прессы. Нагреваются пресс-формы чаще всего электронагревателями, смонтированными в плиты пресса. Принимая во внимание высокую стоимость оборудования и оснастки (пресс-форм), следует отметить, что процесс прессования становится экономически выгоден только в условиях крупносерийного и массового производств.

Литьевое прессование отличается от прямого тем, что термореактивный материал загружают не в полость матрицы, а в загрузочную камеру 2, где под действием температуры он переходит в вязкотекучее состояние, после чего пуансоном 1 вытесняется в полость пресс-формы 4 через литниковый канал 3. Там материал выдерживается под давлением до момента отверждения. Готовую деталь извлекают из пресс-формы с помощью выталкивателя 5 (рис. 15).

Литьевое прессование позволяет получить детали более сложной формы с глубокими резьбовыми отверстиями за счет создания в пресс-форме нескольких плоскостей разъема. Данный способ обеспечивает возможность установки арматуры, например металлических штырей, резьбовых втулок и т. д. При нем, как пра-

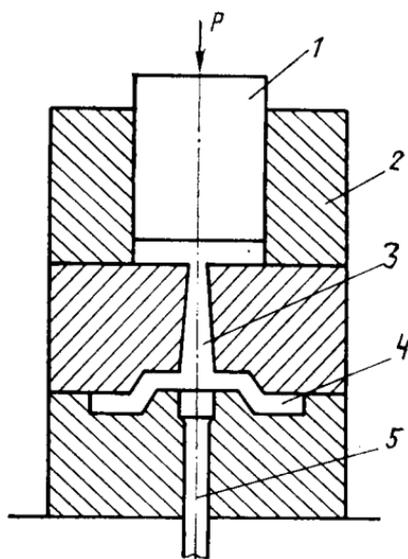


Рис. 15. Схема литьевого прессования.

вило, отпадает необходимость в подпрессовке, так как образующиеся газы могут выходить в зазор между литниковой плитой и матрицей.

К числу недостатков литьевого прессования можно отнести повышенный расход материала, который теряется в загрузочной камере в виде пресс-остатков, а также в литниковой системе.

Пресс-формы для литьевого прессования также отличаются высокой стоимостью и сложностью в изготовлении. Поэтому и этот процесс используют в крупносерийном производстве.

Прессованием на плитах многоэтажных прессов получают листы и плиты из терморезистивных материалов (текстолита, стекловолконита, гетинакса, древеснослоистых пластиков и др.).

Технология получения указанных деталей состоит в следующем. Используемый в качестве наполнителя материал (бумага, хлопчатобумажная ткань, древесный шпон и др.) пропитывают смолой, например феноло-формальдегидной, набирают в пакеты необходимой толщины, укладывают между горячими плитами многоэтажных гидравлических прессов и подвергают прессованию при температуре $150\text{--}160^\circ\text{C}$ и давлении $7,0\text{--}10,0$ МПа. Продолжительность прессования составляет $5\text{--}7$ мин на 1 мм толщины листа. Под давлением смола полимеризуется и отвердевает. Изделие охлаждают в прессе до $30\text{--}40^\circ\text{C}$ для предотвращения коробления, а затем подвергают термической обработке для полного отверждения и снятия внутренних напряжений.

Многоэтажные прессы обеспечивают возможность получения одновременно $10\text{--}15$ плит или листов.

Свободное литье применяется для получения деталей из некоторых терморезистивных смол, например эпоксидной, отверждающихся при комнатной температуре, а также некоторых видов полиамидов и полиакрилатов (оргстекла). Это наиболее простой и дешевый способ получения деталей из пластмасс. Свободной заливкой получают детали технологической оснастки (штампы, пресс-формы), шаблоны, копиры для копривально-фрезерных станков и многие другие.

Сущность процесса свободного литья состоит в следующем. Изготавливается модель будущей детали, например из гипса, которую заливают эпоксидным компаундом, состоящим из эпоксидной смолы, отвердителя и наполнителя. После отверждения модель извлекают из отливки. Полученные таким способом детали, как правило, не требуют механической обработки.

§ 15. Технология изготовления деталей из стеклопластиков

В настоящее время стеклопластики получили широкое распространение в различных отраслях народного хозяйства благодаря их высокой прочности, ударной вязкости, коррозионной стойкости и ряду других ценных свойств, выгодно отличающих их от других материалов.

Технология изготовления деталей из стеклопластиков имеет ряд особенностей, вызванных видом наполнителя (стекловолокно, стеклоткань), условиями отверждения, типом связующего (смолы), размерами и конфигурацией деталей.

Из технологических соображений в качестве связующего в стеклопластиках применяют полиэфирные или эпоксидные смолы, которые характеризуются высокой адгезией (сцеплением) с наполнителем и способностью отвердевать при комнатной температуре при добавлении отвердителей.

К основным способам изготовления деталей из стеклопластиков относятся: контактная формовка, автоклавная формовка, вихревое напыление, намотка, центробежная формовка.

Контактная формовка применяется для изготовления крупногабаритных деталей с наполнителями из стеклоткани или стекломатов.

Основным элементом при формовке является модель (форма), которая точно воспроизводит наружный или внутренний контур детали. Модель изготавливают из дерева, гипса или легких сплавов.

Для облегчения съема детали на поверхность модели наносят разделительный слой (нитролак, целлофановую пленку и др.), а на него — слой связующего (смолы). Затем укладывают предварительно раскроенную стеклоткань, которую тщательно прикатывают резиновым роликком. Слой смолы и стеклоткани наносят последовательно один за другим до получения требуемой толщины. Отверждение происходит при комнатной температуре в течение 5—50 ч в зависимости от вида связующего. После отверждения готовую деталь извлекают из формы и подвергают дальнейшей обработке (обрезке кромок, окраске и т. д.).

Данный метод отличается простотой оснастки и возможностью получения деталей любой формы и размеров. Однако он является малопродуктивным и не обеспечивает высокого качества деталей, поэтому применяется лишь в условиях мелкосерийного и опытного производств.

При изготовлении деталей большими сериями пользуются **автоклавной формовкой**, при которой модель с деталью накрывают резиновым чехлом и помещают в герметичный резервуар (автоклав), где создают определенную температуру

и давление пара или воды, обеспечивающие хорошее уплотнение слоев наполнителя и быстрое отверждение связующего.

Вихревое напыление применяется для изготовления крупногабаритных деталей типа кузовов легковых и грузовых автомобилей, корпусов лодок и судов, емкостей и др.

При этом способе стекловолокно и полиэфирную смолу с отвердителем наносят на форму-шаблон специальным пульверизатором. Он имеет три сопла: центральное для подачи стекловолокна и два боковых, через которые сжатым воздухом подаются две струи — смола и отвердитель, фокусирующиеся на определенном расстоянии. Распылитель обеспечивает хорошее смачивание стекловолокна смолой в вихревом потоке, образованном сжатым воздухом. Последующее уплотнение связующего и наполнителя производится вручную роликом. Производительность пульверизаторов составляет 70—200 кг стеклопласта в 1 ч.

Намоткой получают крупногабаритные детали, имеющие форму тел вращения, с цилиндрической, конической и криволинейной образующими (трубы, обтекатели, кольца и др.).

Основным элементом технологической оснастки при намотке является металлическая оправка, поверхность которой соответствует внутренней конфигурации детали.

Стекловолокно или стеклоткань пропитывают смолой и наматывают в несколько слоев на оправку, покрытую защитной разделительной пленкой. Для удобства намотки оправка вращается и одновременно совершает возвратно-поступательные движения. После отверждения в специальной камере деталь снимают.

В настоящее время существует специальное оборудование, обеспечивающее намотку стекловолокна по заданной программе в определенной последовательности.

Центробежная формовка также применяется для изготовления крупногабаритных деталей, имеющих форму тел вращения толщиной 2—15 мм, диаметром до 1 м и высотой до 3 м. При таком методе стекловолокно и смолу равномерно подают во вращающуюся форму, где под действием центробежной силы происходит их предварительное уплотнение. Для окончательного уплотнения слоев в форму помещают резиновый мешок, который давит на заготовку. В таком положении при определенной температуре происходит отверждение стеклопластика.

§ 16. Особенности обработки пластмасс резанием

Механическая обработка пластмасс имеет ряд специфических особенностей, связанных с их строением и физико-механическими свойствами. В частности, для пластмасс харак-

терны низкая теплопроводность, неоднородность строения, низкая теплостойкость и т. д.

Вследствие низкой теплопроводности выделяющееся при резании пластмасс тепло концентрируется по кромке режущего инструмента и приводит к его интенсивному разогреву. Учитывая, что в состав некоторых пластмасс входят наполнители, обладающие абразивными свойствами (кварц, стекловолокно и др.), повышенный износ инструмента неизбежен.

Обработка термопластичных материалов часто приводит к их размягчению и образованию на поверхности детали задиры и других дефектов. В связи с этим необходимо применять специальные охлаждающие среды.

Механическую обработку пластмассовых деталей осуществляют на металлорежущих станках, а также деревообрабатывающим оборудованием. Отличие обработки пластмасс от обработки металлов заключается в режимах, геометрии реза и материале режущего инструмента.

В частности, рекомендуется применять резцы, оснащенные пластинками из твердых сплавов, металлокерамики и искусственными алмазами, и также резцы из быстрорежущей стали. Например, при точении термопластов резцы из быстрорежущей стали имеют передний угол до 20° , задний—до 20° , угол в плане — 45° .

В качестве охлаждающей среды при обработке термопластов применяют водную эмульсию, а для реактопластов (текстолита, гетинакса, волокнита и др.) — сжатый воздух.

Точение пластмасс производят на больших скоростях до 80 м/мин и при малых подачах 0,08—0,25 мм/об.

Сверление рекомендуется производить сверлами из быстрорежущей стали. Его режим зависит от вида пластмассы и материала сверла. При сверлении аминопластов, поливинилхлорида, волокнита, гетинакса, полиэтилена и других применяют подачу в пределах 0,1—0,4 мм/об при скорости резания 20—60 м/мин. При сверлении фенопластов общего назначения, текстолита и некоторых других слоистых пластмасс применяют сверла с пластинками из твердого сплава, подачу 0,03—0,2 мм/об при скорости резания 30—80 м/мин. Для облегчения отвода стружки и уменьшения нагрева инструмента винтовые канавки сверл рекомендуется полировать.

Строгание пластмассовых деталей производят на обычных поперечно-строгальных или деревообделочных станках. Резцы для строгания пластмасс существенно не отличаются от резцов, применяемых для обработки металлов.

Фрезерование пластмасс осуществляют на металлорежущих или специальных фрезерных станках. Во избежа-

ние расслоения слоистых пластмасс применяют только попутное фрезерование.

Фрезерование рекомендуется производить фрезами со специальными зубьями. При фрезеровании слоистых пластиков со стекловолокнистым и асбестовым наполнителями применяют фрезы, оснащенные пластинками из твердых сплавов ВК 8, ВК 6.

Технологический режим резания при фрезеровании: глубина резания от 1 до 3 мм, подача при черновой обработке 0,2—0,8 мм/зуб, при чистовой — 0,05—0,25 мм/зуб, скорость резания 100—300 м/мин.

Шлифование и полирование пластмасс применяют для достижения точности и чистоты поверхности, а также в декоративных целях. Глубина резания при шлифовании текстолита, гетинакса и других слоистых материалов составляет 0,10—0,15 мм, подача — 3—5 м/мин, скорость резания — 1500—1700 м/мин.

ГАЗОНАПОЛНЕННЫЕ ПЛАСТМАССЫ

Газонаполненные пластмассы (ГП) — полимерные материалы, являющиеся дисперсными системами типа «твердое тело — газ». ГП делят на пенопласты (содержат преимущественно замкнутые поры) и поропласты, или губчатые материалы (содержат обычно открытые сообщающиеся поры). Такое деление условно, поскольку практически не удается получить материал только с открытыми или закрытыми порами (ячейками). К ГП относят также пластики с полым наполнителем, которые, в отличие от остальных ГП, получают без вспенивания. Эти материалы имеют только закрытую структуру ячеек.

§ 17. Свойства и применение газонаполненных пластмасс

Пено- и поропласты делят на легкие (высоковспененные) с кажущейся плотностью до 500 кг/м³ и облегченные (низковспененные или подвспененные) с кажущейся плотностью 500—800 кг/м³. Бывают также эластичные, полужесткие и жесткие пено- и поропласты.

Вспенивание пластмасс производят:

1) введением газообразователей, разлагающихся при нагревании с выделением большого количества газообразных продуктов;

2) насыщением композиций легкокипящими жидкостями;

3) выделением газов в процессе реакции между мономерами;

4) насыщением композиций газами под давлением;

5) механическим вспениванием (насыщением воздухом при нормальном давлении).

Пено- и поропласты можно изготовлять на основе любых термопластов и терморезактивных смол. Наибольшее применение находят пено- и поропласты на основе полистирола, полихлорвинила, полиуретанов, феноло-альдегидных и эпоксидных смол. Тип применяемого полимера, а также кажущаяся плотность определяют основные свойства пено- и поропластов (табл. 6).

Низкая кажущаяся плотность этих материалов (в десятки раз меньше, чем у монолитных пластмасс), малая тепло- и звукопроводность, высокая амортизационная способность в сочетании с высокими электроизоляционными, атмосферостойкими и другими свойствами позволяют широко использовать пено- и поропласты для различных прокладок, уплотнений, изготовления сидений, плавучих средств (спасательных поясов, поплавков), упаковки, пневмоглушителей, при пошиве одежды, обуви, изоляции теплотрасс, нефте- и газопроводов, литье по выплавляемым моделям.

РЕЗИНЫ

§ 18. Состав, свойства и классификация резин

Резины представляют собой механическую смесь, состоящую из большого количества компонентов (ингредиентов). Отличительная особенность резин — способность к высокоэластическим деформациям — приобретает ими в результате вулканизации натурального или синтетических полимеров, называемых каучуками. Натуральный каучук (НК) получают из млечного сока каучуконосных растений. Синтетические каучуки (СК) образуются при полимеризации или сополимеризации, происходящей в массе, а также в эмульсиях. Как НК, так и СК имеют линейную структуру и при нормальной температуре находятся в высокоэластическом или вязкотекучем состоянии. Для вулканизации к ним добавляют сшивающие агенты — серу, органические перекиси и др. При малом их содержании (2,0—2,5% серы) образуются мягкие, эластичные резины, при большом (30—35% серы) — твердые, жесткие (эбонит). Для сокращения времени и понижения температуры процесса вводят ускорители вулканизации — тиурам, каптакс и др.

Пластификаторы (называемые иногда мягчителями) облегчают смешение компонентов, снижают продолжительность изготовления резиновых смесей, теплообразование в процессе смешения, усадку при различных способах формования изделий. При правильном выборе пластификатора по-

Свойства некоторых пено- и поропластов

Показатели	Пенополистирол		Пенополивинилхлорид		Пенополиуретан		Пенофенопласт	
	ПС-1	ПСБ-С	ПХВ-1	Винилор	ПУ-101	ППУ-Э	ФРП-1	ФФ
	Кажущаяся плотность, кг/м ³	70—200	15—50	70—130	80—180	100—200	25—60	30—80
Предельная температура применения, °С	60	60	60	60	100	100	150	150
Прочность при растяжении, МПа	0,7—4,2	0,3—1,0	2,0	0,08—0,15	0,4—0,7	0,12	0,04—0,22	1,2
Ударная вязкость, кДж/м ²	до 1,9	1	2,7—0,3	0,7	0,4	0,4	0,2	0,2
Диэлектрическая проницаемость при 10 ¹⁰ Гц	1,1—1,28	1,06—1,12	1,6	—	1,1—1,2	—	—	—
Теплопроводность, Вт/(м·К)	0,028—0,045	0,024—0,035	0,026—0,037	—	0,027—0,030	0,022—0,030	0,027—0,037	0,036—0,052

вышается сопротивление вулканизатов утомлению, увеличивается их эластичность и морозостойкость. В качестве пластификаторов применяются вещества, получаемые из нефти (мазуты, гудроны, нафтолены и др.), каменного угля (каменноугольные смолы, каменноугольный пек), растений (канифоль, сосновая смола, олеиновая и стеариновая кислоты), а также синтетические (дибутилфталат, дибутилсебацат и др.). Тип пластификатора и его дозировка определяются в зависимости от каучука, назначения резины, степени наполнения резиновой смеси и характера наполнителя.

В качестве наполнителей резин используются высокодисперсные неорганические или органические вещества, которые вводят в твердый каучук или латекс (водная дисперсия каучука). Они служат для изменения механических показателей резин и придания им специальных свойств (электрической проводимости, химической стойкости), облегчения обработки резиновой смеси и снижения стоимости изделий. Например, активные наполнители — сажа (канальная, печная или термическая), синтетическая двуокись кремния («белая сажа») и силикаты металлов — повышают модуль резин, их прочность при растяжении, сопротивление раздиру и износостойкость. Инертные наполнители (мел, каолин, барит и др.) и регенерат (бывшая в употреблении и вновь обработанная резина) способствуют улучшению технологических свойств резиновых смесей, придают вулканизату некоторые специфические свойства, например химическую стойкость в агрессивных средах, снижают стоимость изделий.

Для уменьшения эластичности и повышения прочности резину часто армируют хлопчатобумажной и капроновой тканями или металлическими элементами (сетки, плетенки, проволока, кольца), причем металлические элементы перед армированием покрывают клеем или латунируют, так как только латунь обладает хорошей адгезией к резине.

Резины окрашивают в белые, красные, желтые, зеленые и изредка в синие цвета. Для этого применяют неорганические (титановые белила, литопон, сурик, охра и др.) и органические (бариевые или кальциевые лаки, индиго и др.) красители. Окрашивание ведут по белому фону, так как в противном случае вследствие естественного цвета каучука (от светло- до темнокоричневого) резины приобретают блеклые тона. Количество вводимых органических красителей обычно составляет 1—2% (на сухой вес) от веса резиновой смеси.

Для защиты от старения в каучуки и резины вводят противостарители, или антиоксиданты, которые замедляют (ингибируют) цепные реакции окисления. Наиболее широко применяемыми противостарителями являются фенолы, нафтолы, их различные производные и амины. Выбор противо-

старителя зависит от назначения резиновых изделий, условий их эксплуатации (динамическая работа, действие света, тепла, озона), наличия в вулканизатах меди, марганца и других тяжелых металлов.

В состав резиновой смеси или сырой резины входят до 10—20 разнообразных ингредиентов, обеспечивающих комплекс технологических и эксплуатационных свойств.

В зависимости от назначения резины делят на следующие основные группы:

1. Общего назначения. Работают при температурах от минус 50 до 150°С. Их изготавливают из НК и СК (изопреновых, бутадиеновых, бутадиен-стирольных, бутилкаучука и их комбинаций). Основные области применения — производство шин, конвейерных лент, приводных ремней, резиновой обуви и других бытовых изделий.

2. Теплостойкие. Могут длительно эксплуатироваться при 150—200°С (основа — этилен-пропиленовые каучуки, бутилкаучук). Резины, эксплуатируемые при более высоких температурах, изготавливают из элементоорганических каучуков, например кремнийорганических, наполняемых двуокисью кремния, а также из фторсодержащих каучуков.

3. Морозостойкие. Пригодны для эксплуатации при температурах ниже минус 50°С (основа — стереорегулярные бутадиеновые, кремнийорганические каучуки).

4. Масло- и бензостойкие. Работают в контакте с нефтепродуктами, растительными маслами и др. Эти резины получают из бутадиен-нитрильных, уретановых, хлорпреновых, фторсодержащих каучуков.

5. Стойкие к различным агрессивным средам (кислото- и щелочестойкие, озоностойкие, паростойкие и др.). Изготавливают на основе бутилкаучука, кремнийорганических, хлорпреновых и других каучуков.

6. Электропроводящие. Применяют в токопроводящих полимерных покрытиях и других проводниках. Для их получения используют полярные бутадиен-нитрильные каучуки и каучуки общего назначения, наполняемые большими количествами электропроводящей (ацетиленовой) сажи.

7. Диэлектрические (кабельные). Характеризуются малыми диэлектрическими потерями, изготавливаются на основе каучуков с использованием неорганических наполнителей.

8. Радиационностойкие. Изготавливают на основе фторсодержащих, бутадиен-нитрильных, бутадиен-стирольных каучуков, наполненных оксидами свинца, бария.

Помимо перечисленных различают вакуумные, вибро-, водо-, огне-, светостойкие, оптически активные, фрикционные, медицинские, пищевые и другие резины.

Специальные свойства резин, отраженные в их классификации, способность к высокоэластической деформации, а также другие прочностные и деформационные свойства определяются главным образом типом каучука, видом наполнителя и его количеством. Технические характеристики резин зависят, кроме того, от условий вулканизации, режимов изготовления смесей и от длительности хранения смесей и вулканизатов (рис. 16).

§ 19. Технология изготовления изделий из резины

Технологическая схема изготовления изделий из резины включает: 1) приготовление резиновых смесей; 2) получение полуфабрикатов (прорезиненных тканей, каландрованных листов, шприцованных профилей); 3) изготовление или сборку заготовок; 4) вулканизацию изделий.

Резиновые смеси готовят смешением ингредиентов на вальцах или в специальных резиносмесителях. Если для последующего формирования изделия необходима калиброванная резина, то смесь пропускают через каландры, состоящие из 3—5 валков. Многие резиновые изделия армируют тканью: в одних случаях резину на ткань напрессовывают, пропуская каландрованные листы и ткань через дублировочные каландры, в других — ткань пропитывают резиновым клеем и сушат.

Формуют изделия из подготовленной смеси различными способами: литьем под давлением, экструзией, обычным и литьевым прессованием, насаиванием на форму. Способ выбирают в зависимости от конструкции изделия и масштабов производства. Применяемое оборудование принципиально не отличается от оборудования для пластмасс.

При литье под давлением сырую резину выдавливают в обогреваемые формы, которые для повышения производительности укрепляют в поворотных столах или барабанах. За время полного оборота стола изделие вулканизуется.

Резиновую смесь, подлежащую экструзии, предварительно подогревают на вальцах в пределах 40—70° С. Температуру экструдера выбирают таким образом, чтобы нагрев происходил постепенно. Для этого заднюю часть экструдера нагре-

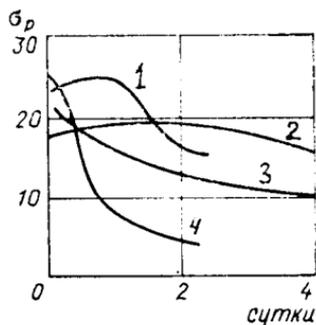


Рис. 16. Изменение прочности на растяжение (МПа) вулканизатов каучуков при старении: 1 — хлорпреновый каучук; 2 — бутилкаучук; 3 — бутадиен-стирольный; 4 — натуральный каучук

вают до 40, а переднюю — до 70° С. Полученные изделия вулканизируют в специальных котлах и автоклавах.

При прессовании резиновых смесей лучше пользоваться гидравлическими ротационными прессами, в которых формы установлены на вращающемся столе. Изделие вулканизуется за полный оборот стола.

В настоящее время выпускают очень много различных синтетических латексов, из которых можно непосредственно изготавливать изделия. Латекс смешивают с нужными компонентами и в полученную суспензию погружают форму. После испарения воды на ней образуется пленка, подвергаемая затем вулканизации. Толщина изделия в этом случае обычно не превышает 0,2 мм. Для получения толстостенных изделий используют различные факторы, ускоряющие процесс осаждения: добавление в латекс или нанесение на форму электролитов, подогрев латекса и формы, пропускание через суспензию постоянного тока.

При изготовлении изделий из резиновых латексов уменьшаются энергетические затраты и улучшаются условия труда за счет исключения перемешивания компонентов и каландрирования резиновых смесей.

ГЛАВА II

СИЛИКАТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

§ 1. Строение и состав стекла

Для получения стекла используют различные окислы, которые подразделяются на стеклообразующие, модифицирующие и промежуточные.

К стеклообразующим окислам относятся окислы кремния, бора, фосфора, германия и мышьяка. К модифицирующим, которые используются для изменения физико-химических свойств стекол, относятся окислы щелочных и щелочноземельных металлов. К промежуточным окислам, замещающим некоторую часть стеклообразующих окислов в структурном каркасе стекла и обуславливающим изменение свойств в нужном направлении, относятся окислы алюминия, свинца, железа, титана, бериллия.

§ 2. Физико-механические свойства стекла

Свойства стекла зависят от его химического состава и структуры, условий термической обработки, состояния поверхности и других факторов (табл. 7).

Относительная плотность стекла обычно находится в пределах от 2200 (для легких боросиликатных) до 6500 кг/м³ (для тяжелых) и зависит главным образом от химического состава стекла. Обычное промышленное силикатное листовое стекло имеет плотность 2500—2600, а кварцевое — 2300 кг/м³. Наибольшим удельным весом обладает большинство оптических стекол, содержащих PbO или BaO. В частности, плотность стекла, содержащего 80% PbO, приближается к 8000 кг/м³. Плотность расплавленного стекла обычно несколько меньше, чем твердого (хрупкого), что связано с уплотнением стекломассы при ее охлаждении, а закаленное стекло имеет меньшую плотность, чем хорошо отожженное.

Наиболее высокие показатели механических свойств имеют кварцевые стекла, а наиболее низкие — стекла с повышенным содержанием PbO, Na₂O, K₂O.

Теоретическая (молекулярная) прочность стекла равна примерно 10000—120000 МПа. Следовательно, техническая прочность обычного промышленного стекла при растяжении и изгибе в 100—300 раз меньше его теоретической. В условиях эксплуатации таких стекол обычно используется только около 1% теоретической прочности стекла. Такое огромное несоответствие объясняется рядом причин: во-первых, свойственной стеклу высокой хрупкостью и отсюда специфичес-

Основные свойства некоторых

Виды стекол	Свойства		
	Плотность, кг/м ³	Предел прочности,	
		сжатия	растяже- нии
Листовое силикатное (техни- ческое, посудное)	2000—2500	600—700	30—70
Стекло № 31	2500	400	—
Электровакуумное стекло	2600	—	—
Термостойкое стекло	2300	78	—
Кварцевое	2000—2300	350—650	40—60
Пеностекло	180—800	150—250	50—100
Стекло малощелочное (для стекловолокна)	2000—2500	—	—

ким характером его разрушения; во-вторых, неупорядоченностью и неоднородностью строения практических стекол; в-третьих, появлением поверхностного дефектного слоя на изделиях из стекла в процессе их производства и эксплуатации.

Теплопроводность стекла по сравнению с теплопроводностью других твердых тел исключительно низка: коэффициент теплопроводности различных стекол колеблется в пределах от 0,0066 до $0,0134 \cdot 10^{-5}$ Вт/(м·К). Наибольшую теплопроводность имеют кварцевые и боросиликатные стекла, хорошую — стекла с повышенным содержанием окислов Al и Fe, наименьшую — свинцовые и баритовые стекла.

Термическое расширение стекол изменяется в очень широких пределах и выражается объемным β или линейным α коэффициентами расширения. Коэффициент линейного расширения различных по своему составу стекол в интервале температур 15—100°С колеблется от $5 \cdot 10^{-7}$ до $150 \cdot 10^{-7}$. При увеличении содержания в составе стекол SiO₂, B₂O₃, TiO₂, ZrO₂, BeO и ZnO их термическое расширение существенно уменьшается, а при увеличении содержания BaO, PbO, Na₂O, K₂O, Li₂O оно значительно возрастает.

Стекло значительно лучше выдерживает резкое нагревание, чем резкое охлаждение, так как в его наружных поверхностных слоях в первом случае возникают напряжения сжатия, а во втором — напряжения растяжения, которые и вызывают разрушение (растрескивание) стекла, потому что прочность его при растяжении значительно меньше прочности при сжатии. В связи с этим обычно и определяют раз-

стекло

МПа, при изгибе	Температура размягчения, °С	Термостойкость ΔT , °С	Тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$	Значения коэффициентов, %	
				светопропускания τ_λ	светопоглощения E_λ
50—100	—	40—80	$100 \cdot 10^{-4}$	82—84	6—8,5
70—85	790	150	$30 \cdot 10^{-4}$	86—88	1,5—2,5
—	806	185	$40 \cdot 10^{-4}$	—	—
45—50	650	180	$20 \cdot 10^{-4}$	90	—
45—100	1200	1000	$3 \cdot 10^{-4}$	90—91	0,4—1,5
50—100	300—400	110—170	$(10—220) \cdot 10^{-4}$	—	—
65	700	130	—	—	—

ность температур ΔT , которую стекло может выдержать без разрушения при его резком охлаждении.

Оптические свойства стекла зависят преимущественно от его химического состава, состояния поверхности и характера термической обработки.

Показатель преломления и дисперсия (рассеяние) световых лучей — наиболее важные оптические постоянные. Для промышленных стекол показатель преломления колеблется от 1,49 до 1,96, а коэффициент дисперсии — от 20 до 71. Оптические стекла с малым показателем преломления и повышенным коэффициентом дисперсии называются обычно «кронами», а с высоким показателем преломления и небольшим коэффициентом дисперсии — «флинтами».

Увеличение содержания окислов SiO_2 , P_2O_5 , Al_2O_3 или фтора в стекле приводит к уменьшению показателя его преломления и к возрастанию коэффициента дисперсии, а окислы BaO , CaO , ZnO , PbO , TiO_2 и некоторые другие оказывают противоположное влияние. Стекла, имеющие внутренние напряжения (закаленные), обладают меньшим показателем преломления по сравнению с хорошо отожженными.

Отражение света гладкой, хорошо отполированной поверхностью стекла будет наименьшим и оптически правильным (зеркальным), а при наличии в стекле неровностей (шероховатое, матовое) и неоднородностей (глушеное, молочное) происходит диффузионное (рассеянное) отражение света. Например, для молочных стекол коэффициент отражения равен 30—40%.

Стекла способны избирательно поглощать свет. Так, сильно поглощают ультрафиолетовые лучи стекла с высоким содержанием окислов PbO , TiO_2 или Sb_2O_3 , а наличие окислов SiO_2 , B_2O_3 или P_2O_5 уменьшает поглощение этих лучей. Стекла, практически не поглощающие лучи Рентгена, состоят из B_2O_3 , BeO и Li_2O .

Различные добавки придают стеклам разную окраску, в результате чего изменяется избирательное поглощение света. Так, рубиновый оттенок придают добавки меди и золота, синне-зеленый оттенок — окиси меди и закиси железа, синий или фиолетовый — окиси кобальта,

Потери света в результате его поглощения стеклом характеризуются коэффициентом светопоглощения E_λ , а светопрозрачность — коэффициентом светопропускания τ_λ (см. табл. 7).

§ 3. Химические свойства стекла

Химические реагенты по характеру их корродирующего действия на стекло разделяются на две группы. К первой относятся реагенты, изменяющие, растворяющие или разрушающие только один вид структурных компонентов стекла — влажная атмосфера, вода, растворы кислот, нейтральные или кислые растворы солей. Они образуют на поверхности стенок слой (пленку), состоящий из продуктов их химического разрушения, который препятствует развитию процесса коррозии, и химическое разрушение стекла значительно замедляется. Ко второй группе относятся вещества, действующие не только на силикаты, но и на несвязанную в силикаты двуокись кремния, т. е. на главную часть структуры стекла — кремнекислородный каркас (растворы щелочей, карбонатов — сода и поташ, фосфатов, фтористоводородной кислоты). Поверхностного защитного слоя при действии этих реагентов не образуется, и химическое разрушение поверхности стекла происходит непрерывно и с постоянной скоростью. Поэтому химическая стойкость (степень растворимости) обычных промышленных стекол в щелочной среде колеблется в пределах 0,5—1,5%, в то время как в среде кислот — в пределах 0,01—0,1%. Химическая стойкость стекол существенно изменяется в зависимости от их состава: с усложнением стекла и при увеличении содержания в нем SiO_2 , ZrO_2 , TiO_2 , B_2O_3 (до 12%), ZnO , Al_2O_3 , CaO или при частичной замене Na_2O на K_2O , BaO и PbO она снижается.

С повышением температуры при действии любого реагента стекло разрушается особенно сильно: разрушение увеличивается в 1,5—2,5 раза при каждом повышении темпера-

туры на 10°C (в пределах 100°C). Наиболее интенсивно стекла разрушаются при температурах выше 100°C и особенно при повышенном давлении (в котлах и т. п.).

§ 4. Методы упрочнения стекол

Механические свойства стекол можно существенно повысить термической, химической и термохимической обработкой.

Термический метод упрочнения заключается в закалке стекла. Сущность закалки — в нагреве стекла до температуры 650°C , выдержке при этой температуре и в быстром равномерном охлаждении с обеих сторон. При такой обработке в поверхностных слоях стекла возникают сжимающие остаточные напряжения, благодаря чему стойкость стекла к статическим нагрузкам возрастает в 4—6 раз, прочность на удар — в 5—7 раз, а термическая стойкость — в 2—3 раза. Стекла, обладающие малым коэффициентом термического расширения (например, кварцевое), а также стеклоизделия с тонкими стенками (менее 3 мм) закалке поддаются очень плохо. Стекла с повышенной термической стойкостью, будучи закаленными, приобретают очень высокую термическую стойкость, равную $250\text{—}350^{\circ}\text{C}$ (например, водомерные стекла «клингер» для котлов высокого давления).

Химический метод упрочнения заключается в удалении дефектного с микротрещинами поверхностного слоя стекла (на глубину $50\text{—}150\cdot 10^{-8}$ м) в результате его растворения (травления) в агрессивно действующих растворах кислот и щелочей (обычно в растворах плавиковой кислоты). Путем подбора соответствующих составов и концентраций растворов травильных ванн, а также режимов травления можно увеличить прочность промышленного листового стекла при изгибе до 600 МПа, т. е. примерно в 8—10 раз. Химический способ получил промышленное распространение для упрочнения оконного, зеркального, узорчатого, армированного листовых стекол (например, из упрочненного стекла изготовляют безосколочное листовое стекло — триплекс).

Термохимический метод основан на глубоком изменении самой структуры и свойств поверхностного слоя стекла. Упрочнение достигается взаимодействием нагретой поверхности стекла с различными химическими соединениями (например, с подогретыми кремнийорганическими жидкостями). В результате происходит, во-первых, изменение структуры поверхностного слоя при быстром и эффективном охлаждении, во-вторых, химическое упрочнение, связанное с образованием поверхностных полимерных пленок, в-третьих, возникновение в стекле обычных внутренних, закалочных напряжений. Термо-

химический способ дает возможность значительно повысить прочность тонкого листового стекла ($1-3 \cdot 10^{-5}$ м) при изгибе до 400—600 МПа.

§ 5. Виды материалов из стекла

Безосколочное стекло (триплекс) — это комбинированное стекло, состоящее из двух и более листов обычного (или закаленного) промышленного стекла, склеенных прозрачным промежуточным слоем органического полимера. При разрушении безосколочного стекла от удара, резкого сотрясения или давления все образующиеся осколки удерживаются на месте эластичной и упругой прокладкой, к которой они приклеены. Безосколочные стекла применяются для остекления автомашин, самолетов, судов, а также для изготовления приборов, работающих при повышенных температурах и давлении.

Пеностекло получают вспениванием расплавленного стекла при $700-900^\circ\text{C}$ различными газотворными веществами (мел, уголь, кокс). Пеностекло имеет малую плотность. Его используют как звуко- и теплоизоляционный материал (холодильники, рефрижераторы), для плавательных средств (понтонны) и изготовления фильтров, от которых требуется высокая химическая стойкость.

Цинк-боросиликатные стекла обладают высокой термостойкостью и химической устойчивостью; такое стекло может длительно служить при температурах, близких к 480°C , причем листы толщиной $3 \cdot 10^{-5}$ м выдерживают разность температур в 180°C . Применяют их для остекления сверхзвуковых самолетов, а также для высоковольтных изоляторов и электровакуумной аппаратуры и приборов.

Стекловолоконное производят тремя основными способами: 1) вытягиванием из расплавленной стекломассы через специальные фильеры; 2) вытягиванием из стеклянных штабиков при их разогреве; 3) путем расчленения струй стекломассы при воздействии центробежных сил или потоков воздуха, пара или раскаленных газов. При этом получается два различных типа волокна: непрерывное (подобно натуральному или искусственному шелку) с длиной волокон 20 км и более; штапельное (подобно хлопку или шерсти) с длиной волокон от 5 до 50 см.

Непрерывное стекловолоконное волокно, предназначенное для применения в качестве текстильного материала, изготавливают способом вытягивания (обычно через фильеры), а штапельное — способом расчленения струй стекломассы, вытягиванием через фильеры или из непрерывного волокна путем раздува его потоком раскаленных газов (ультратонкое и супертонкое волокна).

Непрерывное и штапельное стеклянные волокна подвергают либо текстильной переработке (пряжа, ткани, ленты), либо переработке в нетканые материалы (жгуты, вата, маты, плиты, шнуры).

Стекловолоконное волокно, как и синтетические и естественные волокна, обладает высокими тепло- и звукоизоляционными свойствами, но отличается от них большей прочностью при растяжении, высоким модулем упругости (в 5—8 раз большим), малым удлинением (около 2 против 10—20 у шелка и 12—40% у шерсти), малой гигроскопичностью (0,01—0,2 против 10 у хлопка и 12—15% у искусственного шелка), высокими диэлектрическими свойствами, химической устойчивостью, влагостойкостью, негорючестью и незагниваемостью.

Обычно стекловолокно устойчиво примерно до 500° С, а кварцевое — до 1100° С при длительной выдержке и 1500° С при кратковременном воздействии. Прочность стекловолокон неуклонно снижается при его нагревании с последующим охлаждением. Нагретое до 500° С и затем охлажденное волокно теряет 60—70% первоначальной прочности.

В процессах текстильной переработки стекловолоконная прочность его также теряется. Так, прочность пряжи (крученных нитей) составляет примерно 50—60% прочности ее волокон. Прочность ткани из стекловолокна обычно в 10—20 раз ниже прочности элементарных волокон. Предел прочности при разрыве ткани из стекловолокна диаметром 5—7·10⁻⁸ м составляет 100—200 МПа, а элементарных волокон того же диаметра — 2000—2500 МПа. Склеивание стеклянных волокон повышает их прочность на 20—25%, а пропитка лаками или смолами — на 80—100%.

Области применения стекловолоконных материалов очень широки. Пряжа, шнур, лента, ткань служат в качестве тепло- и влагостойкой изоляции проводов, кабелей, электродвигателей, генераторов, а также разнообразной электроаппаратуры и арматуры. Вата и другие материалы применяются в качестве уплотняющих прокладок в трубопроводах, насосах, для защиты химической аппаратуры, фильтрации кислот, щелочей, газов при высоких температурах и давлениях.

Стекловолоконные материалы служат для изоляции тепловых агрегатов — паровых котлов, автоклавов, газо- и паропроводов, для одновременной защиты от тепловой радиации и вредного воздействия на живые организмы нейтронов и γ -лучей. Изготавливаются из стекловолоконных материалов в сочетании с искусственными смолами и композиционные конструкционные материалы: стеклопластики, стеклогипс, стеклобетон.

ГЛАВА III

ДРЕВЕСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

§ 1. Строение и состав древесины

Древесина — материал растительного происхождения. Растущее дерево состоит из кроны, ствола и корней, причем главное промышленное значение имеет ствол, составляющий от 50 до 90% дерева.

Вследствие слоисто-волоконистого и неоднородного строения древесины в различных направлениях по отношению к оси ствола изучение ее проводят на трех главных разрезах: поперечном (или торцовом), перпендикулярном оси ствола; радиальном, идущем вдоль оси ствола через его сердцевину; тангенциальном, проходящем вдоль ствола по касательной (рис. 17).

Ствол состоит из сердцевины, древесины, камбия и коры (рис. 18).

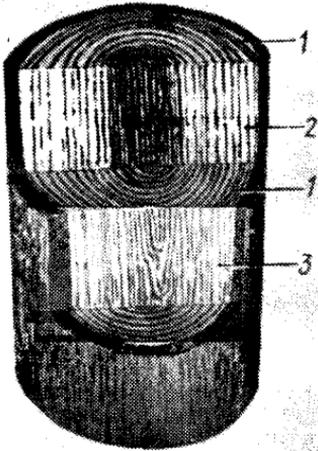


Рис. 17. Главные разрезы ствола: 1 — поперечный или торцовый; 2 — радиальный; 3 — тангенциальный

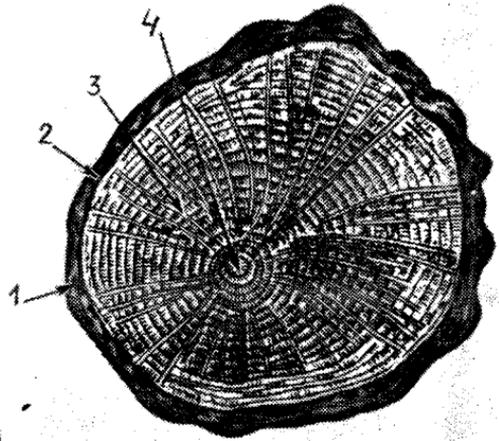


Рис. 18. Поперечный разрез ствола дуба: 1 — кора; 2 — камбий; 3 — древесина; 4 — сердцевина

Сердцевина проходит через центр поперечного разреза ствола или несколько смещена в ту или другую сторону. Она обладает очень низкими механическими свойствами и малой стойкостью против загнивания. Древесина размещается между сердцевиной и камбием, составляет от 70 до 93% массы ствола. Камбий расположен между корой и дре-

весной. Ежегодно делясь, он откладывает внутрь ствола клетки древесины, а наружу — коры. Кора покрывает ствол дерева, предохраняя его от внешних влияний — резких температурных колебаний и различных механических воздействий.

На поперечном разрезе дерева видны годовичные кольца. Изучение их имеет большое значение, так как от размеров этих колец зависят многие свойства древесины. В древесине всех пород имеются поперечные волокна, называемые сердцевинными лучами. Они состоят из тонкостенных механически слабых клеток (4—30% объема ствола). В древесине лиственных пород, кроме того, имеются продольные сосуды диаметром от 0,016 до $0,4 \cdot 10^{-5}$ м, которые служат для проведения воды и растворенных в ней минеральных веществ от корней к листьям. Отличительным признаком хвойных пород являются вертикальные и горизонтальные смоляные ходы диаметром около $0,1 \cdot 10^{-5}$ м.

Волокнистое строение древесины обуславливает анизотропность свойств, т. е. резкое различие в свойствах по различным направлениям, особенно вдоль и поперек волокон.

Главная масса древесины состоит из органических веществ (углерода — 49,5%; кислорода — 44,0%; азота — 0,2%; водорода — 6,3%). Кроме органических, в состав древесины входят и минеральные вещества, которые при сгорании дают от 0,2 до 1,7% золы. В ней могут содержаться дубильные и красящие вещества, а также смолистые.

Входящие в состав древесины углерод, водород и кислород образуют сложные вещества, основными из которых являются целлюлоза и лигнин.

Целлюлоза представляет собой высокомолекулярное соединение, состав которого характеризуется формулой $(C_6H_{10}O_5)_n$, где n — степень полимеризации. Целлюлоза имеет волокнистое строение, является веществом очень стойким и не растворяется в воде, спирте, эфире, ацетоне и других обычных органических растворителях. В хвойных породах содержится 53—54% целлюлозы и 26—29% лигнина, а в лиственных — соответственно 43—46% и 19—26%. Содержание большого количества целлюлозы делает древесину основным сырьем для производства бумаги.

Лигнин является сложным ароматическим соединением, отличающимся от целлюлозы большим содержанием углерода. Присутствие в лигнине метаксильных групп OSi_3 дает возможность получать при перегонке древесины метиловый спирт. Лигнин повышает механическую прочность древесины, но придает древесному волокну хрупкость и снижает его химическую стойкость против окисления. Поэтому,

например, газетная бумага с течением времени желтеет и теряет механическую прочность даже при комнатной температуре.

§ 2. Физические свойства древесины

Важной характеристикой древесины является **влажность** W , которая определяется по следующей формуле:

$$W = \frac{G_r - G_0}{G_0} \cdot 100\%,$$

где G — масса влажного образца, г;

G_0 — масса образца в абсолютно сухом состоянии (за G_0 принимается масса древесины, высушенной при $100 \pm 5^\circ \text{C}$), г.

Влажность древесины зависит от окружающих условий; мокрая древесина, долго находящаяся в воде, имеет W около 100%, свежерубленая — 50—100%, воздушно-сухая — 10—20%, в комнатных условиях влажность древесины 7—10%. Для возможности сравнения все свойства древесины устанавливаются при стандартной $W=12\%$. Влажность, отвечающая условиям производственного помещения, называется **производственной влажностью**. Последняя должна быть равна эксплуатационной влажности или на 2% ниже ее (иначе древесина в конструкции будет усыхать).

Усушкой (Y) называется уменьшение линейных размеров или объема древесины при высыхании. Выражается она в процентах. На практике для оценки усушки пользуются коэффициентом K , который представляет собой среднюю усушку при изменении влажности на 1% и определяется по следующей формуле:

$$K = \frac{Y}{W}.$$

В силу анизотропности древесины усушка зависит от ее направления. Для различных пород дерева усушка в радиальном направлении $K_p=0,09—0,31\%$, усушка в тангенциальном направлении $K_t=0,17—0,49\%$. Усушка вдоль волокон мала и практически не учитывается. Коэффициент объемной усушки древесины находится в пределах $K_{об}=0,17—0,7\%$. Усушка в разных направлениях приводит к возникновению в древесине внутренних напряжений, следствием чего является коробление и растрескивание.

Значительной характеристикой древесины является **плотность** ρ , которую для сравнения приводят к стандартной влажности (12%). Этот показатель ρ_{12} для древесины колеблется в пределах от 130 до 1350 кг/м³.

Массовая теплотворная способность древесины у различных пород дерева изменяется мало, что объясняется сравнительно одинаковым химическим составом древесины (осина — 20,0 МДж/кг; сосна — 22,4 МДж/кг). Несмотря на меньшую теплотворную способность по сравнению, например, с каменным углем и нефтью, древесный уголь имеет преимущество — очень низкое содержание серы и фосфора и малое количество золы, что особенно важно в металлургическом производстве.

Удельная теплоемкость древесины в абсолютно сухом состоянии почти не зависит от породы дерева и в пределах изменения температуры от 0 до 100°С составляет 1,7 кДж/(кг·К). Теплоемкость влажной древесины складывается из теплоемкости абсолютно сухой древесины и теплоемкости находящейся в ней воды (при влажности 100% теплоемкость может доходить до 3,4 кДж/(кг·К)).

Тепловое расширение древесины характеризуется коэффициентом линейного расширения, который составляет: вдоль волокон $(3,5—6,5) \times 10^{-6}$, поперек — $(32,5—45,0) \cdot 10^{-6}$. Незначительная величина линейного теплового расширения древесины вдоль волокон позволяет на практике не считаться с этим явлением.

Удельное объемное сопротивление древесины зависит от породы, направления прохождения тока по отношению к расположению волокон, влажности и температуры. Так, удельное объемное сопротивление древесины лиственницы при влажности 8% составляет: вдоль волокон — $3,8 \cdot 10^{12}$; в радиальном направлении — $19 \cdot 10^{12}$; в тангенциальном направлении — $14,5 \cdot 10^{12}$ Ом·м. С увеличением влажности древесины сопротивление ее прохождению электрического тока снижается в миллионы раз.

Электрическая прочность древесины сравнительно невелика, причем повышение влажности и температуры снижают ее примерно в 3—5 раз. Так, бук при влажности 9% имеет прочность: вдоль волокон — 14; в радиальном направлении — 41,5; в тангенциальном — 52 кВ на 10^{-2} м толщины.

Диэлектрическая проницаемость древесины лежит в пределах 1,9—3,5. Вдоль волокон она примерно в 1,5—3 раза больше, чем в радиальном или тангенциальном направлениях.

Древесина довольно легко пропускает лучи Рентгена (на глубину до 0,5 м) и сильно поглощает инфракрасные лучи, заметно нагреваясь. Поэтому нагрев инфракрасными лучами используется для сушки и стерилизации древесины, а также для быстрой сушки ее поверхности после нанесения отделочных, смывочных и других составов.

§ 3. Физико-механические свойства древесины

Основные физико-механические свойства при статическом нагружении наиболее распространенных пород древесины приведены в табл. 8. Модули упругости при растяжении и сжатии древесины вдоль волокна примерно равны и для большинства пород колеблются в пределах от $1,1 \cdot 10^4$ до $1,5 \cdot 10^4$ МПа. Прочность древесины зависит от времени нагружения. Так, предел прочности при изгибе $\sigma_{и}$ может изменяться от 100 МПа при кратковременном нагружении до 60 МПа при нагружении в течение 60 суток. При дальнейшем увеличении времени нагружения прочность остается неизменной. При циклическом нагружении происходит усталостное разрушение древесины. Предел выносливости σ_{-1} при циклическом изгибе связан с пределом статической прочности $\sigma_{в}$ следующей приближенной зависимостью $\sigma_{-1}/\sigma_{в} = 0,24-0,38$.

Предварительная обработка древесины (сушка, пропаривание, проваривание), связанная с повышением температуры (выше 60°C), как правило, приводит к снижению прочности на 10—40%. Предел прочности при сжатии вдоль волокон, статическом изгибе, скалывании в среднем на 30—70% выше для древесины в замороженном состоянии, а удельная работа при ударном изгибе на 10—45% ниже, чем древесины, находящейся в незамороженном состоянии.

С целью улучшения качества древесины и расширения области применения производится модификация, т. е. направленное изменение ее природных свойств. Одним из способов модификации является прессование древесины, причем в качестве исходного сырья используется чаще всего древесина лиственных пород (береза, осина, ольха и др.). Плотность прессованной древесины повышается и достигает 1250—1350 кг/м³. При этом по сравнению с натуральной древесиной возрастает и ее прочность, например, прочность при сжатии вдоль волокон увеличивается до 1300 МПа.

Модификация древесины широко проводится также путем введения в ее структуру синтетических полимеров, т. е. древесина пропитывается мономерами (метилметакрилат, стирол, винилацетат и др.) или неотвержденными синтетическими смолами (феноло-формальдегидной, полиэфирной и др.). Модификация древесины синтетическими полимерами снижает ее гигроскопичность, водопоглощение, уменьшает разбухание, повышает прочность, жесткость и твердость.

§ 4. Виды продукции из древесины

Натуральная древесина используется в виде пиломатериалов. В зависимости от размеров поперечного сечения (тол-

Таблица 8

Основные физико-механические свойства наиболее распространенных пород древесины при $W=12\%$

Порода древесины	Плотность, кг/м ³	Коэффициент усушки К, %			Предел прочности, МПа, при					Твердость, МПа			
		радиальной	тангентальной	объемной	сжатия вдоль волокон	растяжения вдоль волокон	изгибе	скалывания вдоль волокон		радиальной	тангентальной	торцевой	
								радиальной	тангентальной				
Хвойные породы													
Лиственница	660	0,21	0,40	0,62	54,9	122,7	98,4	9,4	8,2	28,0	27,8	40,3	
Сосна	500	0,18	0,31	0,51	41,4	100,9	75,8	6,9	6,7	21,7	22,3	26,2	
Ель	445	0,18	0,32	0,52	39,6	106,1	71,7	6,2	6,2	17,3	16,8	24,1	
Кедр сибирский	435	0,13	0,28	0,42	36,3	82,0	64,8	6,0	6,4	—	—	20,3	
Пихта	375	0,13	0,32	0,46	34,2	76,1	60,7	5,3	5,7	16,7	16,4	24,8	
Лиственные породы													
Граб	800	0,24	0,35	0,61	53,1	134,7	121,1	14,1	17,7	70,1	71,7	82,5	
Дуб	690	0,18	0,28	0,48	51,9	—	89,1	11,0	12,5	53,6	56,8	65,3	
Клен	690	0,20	0,32	0,54	52,0	—	105,3	11,3	12,9	50,6	53,7	69,0	
Бук	670	0,18	0,35	0,55	47,4	117,8	95,3	10,6	13,2	39,4	40,6	55,6	
Береза	630	0,28	0,34	0,64	46,7	161,0	96,7	8,5	10,2	33,6	30,0	42,3	
Липа	495	0,23	0,33	0,58	39,8	115,8	77,5	7,8	7,4	15,6	16,4	23,4	
Осина	495	0,15	0,30	0,47	37,4	120,1	68,6	5,7	7,8	17,5	18,3	24,1	

щины h и ширины b) они делятся на брусья, где $b/h \leq 2$, и доски, где $b/h > 2$. В машиностроении из этих материалов изготавливают детали конструкции вагонов, шестерни, подшипники, модельную оснастку для производства фасонных отливок, тару. Широко используются брусья и доски в качестве строительного материала.

При изготовлении бумаги древесина должна подвергаться специальной химической обработке, основная цель которой сводится к уменьшению содержания лигнина, удалению смол и т. п. Это достигается путем варки щепы в кислых и щелочных растворах.

Целлюлоза кислой варки называется сульфитной, а щелочной — сульфатной. Из сульфатной целлюлозы получают материалы, обладающие большей механической прочностью и более стойкие против воздействия повышенной температуры, чем из сульфитной. Для изготовления сульфатной древесной целлюлозы обычно применяется древесина хвойных деревьев, в основном сосны. Лиственные породы деревьев не обеспечивают достаточную механическую прочность получаемых материалов и применяются в качестве добавок (до 30%) к хвойным или для получения сульфитной целлюлозы.

Для изготовления бумаги волокнистый полуфабрикат (древесная целлюлоза) подвергается сложной механической обработке в водной среде — размолу, в результате чего получается бумажная масса — водноволокнистая суспензия требуемого качества.

Размолотая бумажная масса с концентрацией волокна 0,1—0,3% (при более толстых бумагах концентрация выше) при отливе тонких бумаг толщиной от 5 до $15 \cdot 10^{-8}$ м поступает на сетку бумагоделательной машины, которая для более равномерного расположения волокна кроме продольного движения испытывает поперечные колебания. Сходящая с сетки бумага имеет влажность около 90%. Далее бумага проходит между обжимающими ее валками, после чего влажность снижается до 70%. После сушильной части машины влажность бумаги становится менее 10%. Тонкая бумага изготавливается на односеточной машине, а более толстая — на многосеточной.

Бумага, полученная с бумажной машины, имеет относительно небольшую плотность (менее 900 кг/м^3). Для увеличения последней ее пропускают через каландр, после чего плотность может достигнуть $1200\text{—}1300 \text{ кг/м}^3$.

В качестве электроизоляционных материалов применяются различные виды бумаг. Конденсаторная бумага (КОН-1, КОН-2 и др.) имеет плотность $800\text{—}1300 \text{ кг/м}^3$. Ее толщина находится в пределах от 4 до $30 \cdot 10^{-8}$ м, пробивное

напряжение не ниже 240—680 В, тангенс угла диэлектрических потерь при 60° С от 0,0009 до 0,0018.

Кабельная бумага (К080, К120, КВМ080-КВМ240 и др.) выпускается с общим диапазоном толщин 0,08— $0,24 \cdot 10^{-5}$ м. Обычные бумаги имеют плотность в пределах 760—850 кг/м³, уплотненные — в пределах 1090—1100 кг/м³. Электрическая прочность кабельных бумаг разных толщин и плотностей, пропитанных маслом, лежит в пределах 60—90 мВ/м, а тангенс угла диэлектрических потерь 0,0037 — 0,0030.

Телефонная бумага (КТ-50, КТУ-50) применяется для изоляции жил телефонного кабеля. Она имеет толщину $0,05 \cdot 10^{-5}$ м, плотность не более 800—820 кг/м³.

Для производства листовых слоистых пластиков применяется специальная пропиточная бумага (ЭИП-50, ЭИП-63А и др.), которая должна хорошо пропитываться смолами. Эта бумага имеет толщину в пределах от 50 до $75 \cdot 10^{-8}$ м с разрывающим усилием полоски бумаги шириной $15 \cdot 10^{-5}$ м в продольном направлении от 50 до 70 Н.

К числу материалов на основе сульфатной целлюлозы относится и картон, который имеет многостороннее применение в трансформаторо-, а также машино- и аппаратостроении в качестве конструктивно-изоляционного материала. Кроме древесной сульфатной целлюлозы в производстве картонов применяется хлопковая целлюлоза, обладающая высокой степенью чистоты. Технология получения картонов схожа с технологией производства бумаги.

Картон для работы на воздухе (ЭВС, ЭВП, ЭВ и ЭВТ) содержит в составе 25—50% хлопкового волокна. Рулонный картон выпускается толщиной от 0,1 до $0,6 \cdot 10^{-5}$ м, листовой — от 1,0 до $3,0 \cdot 10^{-5}$ м. Плотность такого картона составляет 1150—1250 кг/м³, предел прочности при растяжении в продольном направлении не менее 120 МПа, электрическая прочность после сушки от 11 до 13 мВ/м. Картон, предназначенный для работы в масле, имеет плотность от 900 до 1250 кг/м³, предел прочности при растяжении в поперечном направлении от 40 до 60 МПа, маслостойкость от 6 до 25%, сжимаемость на воздухе при 20 МПа от 6 до 18%.

Материалом на основе целлюлозы является и фибра, получаемая из бумаги путем обработки последней хлористым цинком, в результате чего отдельные слои плотно соединяются друг с другом, образуя монолитную неволокнистую структуру. Фибра применяется в электромашино- и аппаратостроении преимущественно в качестве конструктивно-изоляционного материала, а также как дугогасящий материал. Промышленностью изготавливается фибра электротехническая

марки ФЭ толщиной до $25 \cdot 10^{-5}$ м, фибра марки ФТ той же толщиной для конструкционных деталей, фибра марки ФКДГ толщиной до $35 \cdot 10^{-5}$ м, применяемая в качестве уплотнительных деталей в гидросистемах, и других марок. Фибра толщиной от 0,4 до $8,0 \cdot 10^{-5}$ м вырабатывается монолитной, толщиной от 8,0 до $12,0 \cdot 10^{-5}$ м — монолитной или клееной, толщиной свыше $12,0 \cdot 10^{-5}$ м — клееной. Плотность фибры 1100—1200 кг/м³, предел прочности при растяжении не менее 70—75 МПа. Выпускается она в виде листов, стержней и трубок, хорошо обрабатывается резанием. Фибра относится к материалам, обладающим значительной гигроскопичностью, и заметно меняет свои размеры при поглощении или отдаче влаги, поэтому ее не применяют для деталей, требующих сохранения точных размеров. После размачивания в горячей воде она может формоваться; после сушки форма сохраняется. При 180° С начинается медленное обугливание фибры, а ее воспламенение происходит при температуре порядка 300° С.

Шпон — широкая, тонкая ($0,55—1,5 \cdot 10^{-5}$ м), ровная стружка древесины, получаемая лущением, строганием или пилением. Шпон является полуфабрикатом для изготовления фанеры, древесно-слоистых пластиков и выклейки гнутых деталей. Шпон дуба, бука, ореха, клена, имеющий красивую текстуру, широко используется в качестве облицовочного материала, а шпон из кедра и ольхи — для сепараторов свинцовых аккумуляторов.

Фанера — листовый материал, получаемый склейкой листов шпона, которые в смежных слоях имеют взаимно перпендикулярное направление волокон. Толщина фанеры находится в пределах $1—12 \cdot 10^{-5}$ м. Более толстые клееные конструкции называются **плитами**. Водостойкость фанеры зависит от применяемого для соединения шпона клея: фанера на феноло-формальдегидном клее обладает повышенной водостойкостью; фанеры на карбидном и на альбуминоказеиновом клеях — средней водостойкостью, фанера на белковых клеях — ограниченной водостойкостью.

Прессованная древесина используется как заменитель металла: из нее изготавливают сегменты зубчатых передач, подшипники, втулки, челноки и т. п.

Древесно-стружечные плиты изготавливают горячим прессованием стружек со связующими смолами. Плиты бывают однослойные, трехслойные (в середине обычная стружка, на поверхности — специальная тонкая), облицованные шпоном, фанерой, картоном, пластиком. Такие плиты используются как тепло- и звукоизоляционные в строительных конструкциях и т. д.

ГЛАВА IV

АСБЕСТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

§ 1. Строение и состав асбеста

Асбест — наименование группы водных и магниезильно-силикатных минералов, имеющих волокнистую структуру. Залегают он в каменной горной породе в виде жил, состоящих из пучков параллельных друг другу волокон. Асбест легко расщепляется на тонкие, гладкие, прочные при растяжении волокна, длина которых колеблется от долей миллиметра до нескольких сантиметров. Длинноволокнистый асбест встречается гораздо реже, чем коротковолокнистый. Окраска минерала — от серо-зеленой до желтовато-белой с шелковистым отливом. После очистки (ручной или механической) из него получают длинные нити. В зависимости от степени распушения различают четыре группы асбеста: жесткий, промежуточный, полужесткий и мягкий.

Существуют два минеральных типа асбестов, резко различающихся как по свойствам, структуре, так и по химическому составу. Первый тип асбестов сейчас принято называть хризотилowym, так как его волокна образуются минералом хризотилом, относящимся к группе серпентина. Второй тип асбеста — амфиболовым, поскольку свойства асбеста — волокнистость и гибкость — присущи нескольким минералам, относящимся к группе амфиболов.

Химический состав хризотилowych асбестов довольно простой: в него входит относительно много окиси магния (до 43%), кремнекислота (44%) и вода (13%); изображается этот состав формулой $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Химический состав амфиболовых асбестов много сложнее и его трудно свести к простой формуле; этот силикат очень богат магнием, кроме того, в минерал входит некоторое количество глинозема и окиси натрия. В оба типа асбеста входит железо, заменяющее частично магний, а в амфиболовые асбесты — и алюминий.

§ 2. Свойства асбеста

Отличительными особенностями асбеста являются нагре-востойкость, эластичность, прядильная способность и достаточно высокая механическая прочность. Характерным свойством волокон хризотил-асбеста является их большая эластичность и огнестойкость. Для амфибол-асбеста характерна химическая стойкость и грубость волокна. Поэтому хризотил-асбест используется очень широко, а амфибол-асбест приме-

няется в тех случаях, когда необходима химическая стойкость волокна. В кристаллах асбеста вода находится в двух различных состояниях: в адсорбционном и конституционном. Значительная часть адсорбционной воды удаляется при 110°C , остальная — при нагревании до 350°C . При нагревании асбеста до 450°C он теряет химически связанную (конституционную) воду, что сопровождается разрушением асбестовых волокон. Температура плавления асбеста $1450\text{—}1500^{\circ}\text{C}$.

Предел прочности при растяжении асбестового волокна достигает 40 МПа , причем заметная прочность у асбеста сохраняется при температурах, при которых обычные органические волокнистые материалы уже полностью разрушаются. Для повышения механических свойств при производстве асбестовых бумаг, лент и тканей обычно добавляется определенное количество органических волокон. Но при температуре выше комнатной за счет выгорания добавок это приводит к снижению механической прочности.

Наличие конституционной воды и значительного содержания магнитного окисла железа — магнетита заметно снижает электроизоляционные свойства асбеста.

§ 3. Виды продукции

Из асбестовых волокон изготавливаются нити, шнуры, пряжа, бумага, картон, ткани, плетеные трубки, ленты. Изделия из асбеста применяют главным образом как теплоизоляционный материал; при этом прочность лент и тканей может достигать $100\text{—}120\text{ МПа}$. В лабораториях и промышленности широко применяются теплоизоляционный асбестовый шнур и асбестовый картон, различные асбестовые бумаги и огнеупорные обмазки, содержащие большое количество асбеста.

К числу материалов, созданных на основе асбестового волокна в композиции с каучуком, относится листовый материал — **электронит**. Он обладает невысокими механическими свойствами ($\sigma_{\text{в}} \approx 10\text{—}20\text{ МПа}$), вследствие чего применяется в качестве электроизоляционного материала в низковольтной аппаратуре и низковольтных электрических машинах (электрическая прочность не менее $6 \cdot 10^5\text{ мВ/м}$).

Асбестовая бумага и картон применяются в качестве огнезащитного, термо- и электроизоляционного материала, а также для уплотнения соединений в приборах, аппаратах и коммуникациях.

В химической промышленности **асбестовую вату** используют как основу для изготовления катализаторов.

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр. .
Введение.	3
Глава I. Синтетические полимеры и материалы на их основе	5
Особенности строения полимеров	5
§ 1. Молекулярная структура полимеров	6
§ 2. Гибкость полимерных цепей	8
§ 3. Физическая структура полимеров	9
§ 4. Физические состояния полимеров	10
Основные свойства полимерных материалов	13
§ 5. Конструкционные свойства	13
§ 6. Специальные свойства	16
§ 7. Технологические свойства	19
Пластические массы	20
§ 8. Компоненты пластмасс	21
§ 9. Классификация пластмасс	23
Термопласты	24
§ 10. Свойства и применение некоторых термопластов	24
§ 11. Способы получения деталей из термопластов	34
§ 12. Способы получения неразъемных соединений	38
Реактопласты	39
§ 13. Свойства и применение некоторых реактопластов	40
§ 14. Способы получения деталей из терморектопластов	48
§ 15. Технология изготовления деталей из стеклопластиков	51
§ 16. Особенности обработки пластмасс резанием	52
Газонаполненные пластмассы	54
§ 17. Свойства и применение газонаполненных пластмасс	54
Резины	56
§ 18. Состав, свойства и классификация резин	56
§ 19. Технология изготовления изделий из резины	59
Глава II. Силикатные материалы	61
§ 1. Строение и состав стекла	61
§ 2. Физико-механические свойства стекла	61
§ 3. Химические свойства стекла	64
§ 4. Методы упрочнения стекол	65
§ 5. Виды материалов из стекла	66
Глава III. Древесные материалы	68
§ 1. Строение и состав древесины	68
§ 2. Физические свойства древесины	70
§ 3. Физико-механические свойства древесины	72
§ 4. Виды продукции из древесины	72
Глава IV. Асбестовые материалы	77
§ 1. Строение и состав асбеста	77
§ 2. Свойства асбеста	77
§ 3. Виды продукции	78

Борис Иванович Иголкин
Борис Аркадьевич Кривицкий
Юрий Александрович Синев

**ПРИМЕНЕНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Учебное пособие

Редактор И. А. Орловская
Техн. редактор Т. И. Тихонова
Корректор С. Г. Полякова

Сдано в набор 24.12.81. Подписано к печати 23.03.82. М-23646
Бумага оберточная. Гарнитура литературная. Печать высокая.
Печ. л. 5,0. Уч.-изд. л. 5,0. Тираж 500 экз. Заказ 850. Цена 20 коп.

Редакционно-издательский отдел СЗПИ
191041, Ленинград, ул. Халтурина, 5.

Межвузовская типография (1) СППО-2
Управления издательств, полиграфии
и книжной торговли Ленгорисполкома
193036, Ленинград, Московский вокзал, I платформа