

Практическое занятие

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ПЛАСТМАСС

1 Цель работы

Изучение классификации, свойств, структуры и областей применения пластмасс.

2 Общие сведения

Пластическими массами, или пластмассами, называют сложные по составу системы на основе природных или синтетических полимеров, способных при нагреве размягчаться, а под давлением принимать заданную форму и устойчиво сохранять ее после охлаждения.

Детали из пластмасс менее трудоемки в изготовлении, имеют меньшую стоимость, поэтому ими часто заменяют изделия из металла.

Простые пластмассы состоят из одних полимеров (без добавок). Сложные пластмассы помимо полимеров включают добавки: наполнители, пластификаторы, красители, отвердители, катализаторы, стабилизаторы, ингибиторы, антистатик и др.

Полимерные армированные материалы являются разновидностью пластмасс. В них используются армирующие, то есть усиливающие наполнители (волокна, ткани, ленты, металлы и др.).

Наполнители в пластмассы вводят в количестве до 95 %. Наполнители придают изделиям на основе полимерных материалов высокую прочность, химическую стойкость, теплостойкость, улучшают диэлектрические качества, снижают (повышают) плотность, повышают фрикционные (антифрикционные) свойства и т.д.

По структуре наполнители бывают порошкообразными, волокнистыми, листовыми - тканями и неткаными (таблица 16.1).

В качестве дисперсных порошкообразных наполнителей более или менее эффективно используются практически любые поддающиеся измельчению продукты как органического, так и неорганического происхождения.

Из органических дисперсных наполнителей наибольшее распространение получила древесная мука. Из неорганических наполнителей наибольшее распространение получили технический углерод, мел, каолин, диоксид кремния. Порошки металлов и их сплавов повышают электро- и теплопроводность пластмасс, улучшают их триботехнические характеристики.

Наиболее распространенными волокнистыми наполнителями являются стекловолокна, углеволокна, хлопчатобумажные и синтетические волокна.

Таблица 16.1 - Классификация пластмасс по виду наполнителя

Наполнитель	Вид наполнителя	Вид пластмасс
Без наполнителя	-	Ненаполненные пластмассы. Состоят из полимера и добавок, например, фторопласт-4, полиэтилен
Порошкообразный	Органические и неорганические вещества	Пресс-порошки, литьевые пластмассы
Волокнистый	Органические волокна: полиамидное (капрон), полиэфирное (лавсан), полипропиленовое и др.)	Волокниги
	Неорганические волокна: асбестовые, стеклянные, углеродные	Асбоволокниги, Стекловолокниги, Углеволокниги
Листовой	Бумага	Гетинаксы
	Хлопчатобумажная ткань	Текстолиты
	Асбестовая ткань	Асботекстолиты
	Ткани из стекловолокна	Стеклотекстолиты
	Древесный шпон	Древесно-слоистые пластики

Волокна могут быть рублеными (коротко- и длинноволокнистыми) и непрерывными в виде войлока.

Тканые наполнители производят в основном на основе хлопчатобумажных, стеклянных и углеродных тканей. Нетканые наполнители используют в виде бумаги, картона, войлочных матов. Они служат в основном для пропитки растворами полимерных связующих с последующей сушкой и переработкой в изделия главным образом прессованием.

Стабилизаторы - химические соединения противодействующие старению пластмасс (так называется явление, сопровождающееся разрушением молекулярных цепей на отдельные фрагменты).

Пластификаторы - вещества, повышающие пластичность полимерных материалов при их переработке.

Красители и пигменты - вещества, придающие пластмассе желаемый цвет по всему объему. В отличие от пигментов красители (сложные органические соединения, растворяющиеся в полимерах) сохраняют прозрачность полимеров.

Отвердители (для реактопластов) вводят в пластмассы для отверждения, т.е. создания межмолекулярных связей и встраивания молекул отвердителя в общую макромолекулярную сетку.

Состав компонентов, их сочетание и количественное соотношение позволяют изменять свойства пластмасс в широких пределах. Кроме перечисленных компонентов в состав пластмасс могут входить разнообразные специальные добавки, определяющие или усиливающие эксплуатационные свойства, например, триботехнические, или повышающие их огнестойкость.

2.1 Полимеры

Основным компонентом пластмасс, обеспечивающим работу всей композиции как единого целого, являются полимеры, представляющие собой высокомолекулярные соединения, макромолекулы которых состоят из нескольких тысяч мономерных звеньев.

Полимеры получают синтезом низкомолекулярных веществ методами полимеризации или поликонденсации.

Элементный состав продукта полимеризации не отличается от состава исходных веществ, так как процесс происходит при последовательном присоединении мономеров к растущей полимерной цепи. Кроме молекул полимера никаких других соединений не возникает.

При поликонденсации высокомолекулярные соединения образуются в результате реакций замещения или обмена между реагентами, сопровождающихся образованием низкомолекулярных соединений (воды, аммиака и т.д.) и непредельных углеводородов, участвующих в полимеризации. Например, при взаимодействии формальдегида с фенолом образуется фенолформальдегидный полимер и вода

Макромолекулы полимеров могут состоять из одинаковых или разнородных по химическому составу мономеров. В последнем случае эти соединения называются сополимерами, а реакции их образования - сополимеризацией.

Полимеры классифицируют по различным признакам, основными из которых являются состав, структура макромолекул, полярность, отношение к нагреву (таблица 16.2).

В зависимости от полимера пластмассы разделяют на фенолоформальдегидные (фенопласты), эпоксидные, полиамидные, полиуретановые, стирольные и др.

Таблица 16.2 - Классификация полимеров

Классификационный признак групп полимеров	Наименование типов полимеров	Примеры
1 Состав	1.1 Органические	Полиолефины
	1.2 Элементоорганические	Полиитаноксаны
	1.3 Неорганические	Керамика
2 Структура макромолекул	2.1 Линейные	Полиэтилен высокой плотности, поливинилхлорид, полиамиды
	2.2 Разветвленные	Полиэтилен низкой плотности
	2.3 Сетчатые	Полиметилметакрилат (органическое стекло), полистиролы
3 Надмолекулярная структура	3.1 Аморфные	Поливинилхлорид, полиметилметакрилат (оргстекло), полистиролы
	3.2 Кристаллические	Полиэтилен высокой плотности, полипропилен, политетрафторэтилен (фторопласт-4)
4 Полярность	4.1 Полярные	Поливинилхлорид, поликарбонаты, полиамида
	4.2 Неполярные	Полиэтилен, полистиролы, полипропилен
5 По отношению к повторному нагреву	5.1 Термопластичные (термопласты)	Поливинилхлорид, поликарбонаты, полиамиды, политрихлорфторэтилен (фторопласт-3)
	5.2 Термореактивные (реактопласты)	Фенопласты (на основе фенолоформальдегидных смол), аминопласты, полиуретаны, кремнепласты, текстолиты, асботекстолиты, стеклотекстолиты

2.1.1 Молекулярное строение полимеров

Главная особенность полимеров заключается в специфическом цепном строении молекул, состоящих из многократно повторяющихся структурных группировок (звеньев).

Звенья представляют собой низкомолекулярные вещества (мономеры), молекулы которых способны в определенных условиях к последовательному соединению друг с другом в результате химической реакции синтеза. Таким образом, между собой звенья соединены в цепи химическими связями.

Макромолекулой принято называть молекулу полимера, молекулярная масса (ММ) которой определяется степенью полимеризации мономеров, то есть числом (n) мономерных звеньев с молекулярной массой (М) в единичном звене

Наибольшую группу соединений составляют органические полимеры. Если основная молекулярная цепь полимера состоит из одинаковых атомов, то такой полимер называют гомоцепным, если молекулярная цепь представлена только атомами углерода - карбоцепным. Например, карбоцепными являются полиэтилен, поливинилхлорид, фторопласты (рисунок 16.1а) и др.

Если наряду с углеродом в основной молекулярной цепи присутствуют атомы кислорода, азота, фосфора и других элементов, оказывающих существенное влияние на свойства вещества, то такие полимеры называют гетероцепными. Например, гетероцепными являются полиуретан, полиэтиленфторфталат (лавсан), полиамид (рисунок 16.1 в) и др.

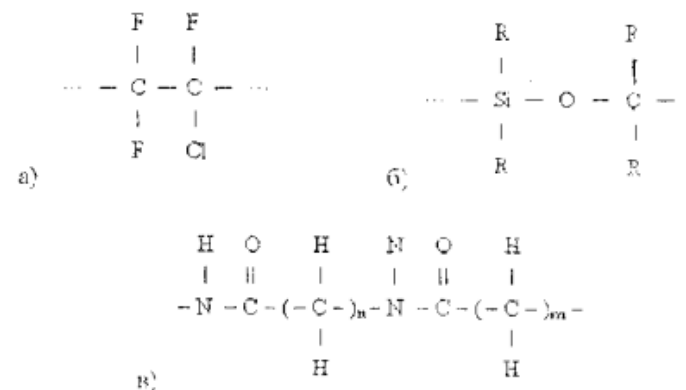
Присутствующие в молекулярных цепях гетероцепных полимеров неорганические элементы придают материалу повышенную теплостойкость, а органические радикалы - прочность и эластичность. Присутствие кислорода способствует повышению эластичности материала, а фосфора и хлора - огнестойкости, атомы серы уменьшают газопроницаемость.

Элементоорганические полимеры содержат в основных молекулярных цепях сочетающиеся с органическими радикалами атомы Si, Ti, Al и других элементов (рисунок 16.1б).

Основу неорганических полимерных материалов составляют оксиды кремния, магния, алюминия, кальция и др. Представителями таких полимеров являются силикатные стекла, керамика, асбест, слюда.

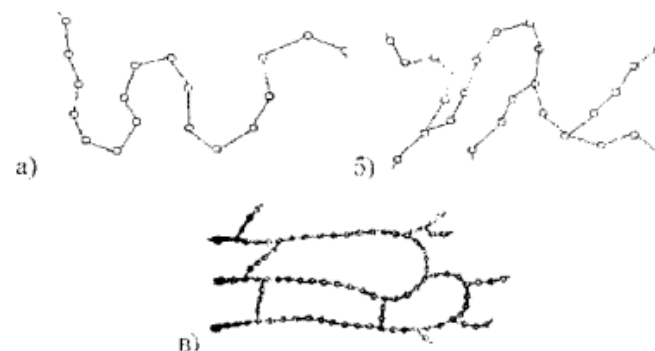
Свойства полимерных материалов в значительной степени определяются структурой макромолекул. Различают три основных типа полимерных цепей: линейные, разветвленные, сетчатые.

Линейную макромолекулу (рисунок 16.2а) можно представить в виде длинной изогнутой в пространстве цепочки. Длина такой макромолекулы в несколько тысяч раз больше ее поперечного сечения (полиамид, полиэтилен).



- а - структура макромолекулы политрифторхлорэтилена (фторопласт-3);
- б - строение макромолекул кремнийорганических соединений;
- в - строение макромолекулы полиамида

Рисунок 16.1 - Структура макромолекул полимеров



- а - линейные, б - разветвленные, в - сетчатые

Рисунок 16.2 - Строение макромолекул полимера

У разветвленной макромолекулы (рисунок 16.2б) основная цепь имеет боковые ответвления различной длины и конфигурации.

Сетчатые полимеры (рисунок 16.2в) содержат длинные цепи, соединенные друг с другом поперечными химическими связями. Обычно поперечные цепи во много раз короче основных и являются как бы «мостиками» между длинными и гибкими цепями. Сетчатые полимеры в отличие от

линейных и разветвленных не плавятся при нагревании и не растворяются в органических кислотах.

2.1.2 Надмолекулярная структура полимеров

Помимо строения макромолекул на свойства полимерного материала влияет расположение их в пространстве (надмолекулярная структура). Полимеры могут быть аморфными и кристаллическими, т.е. обладать упорядоченной структурой. Кристалличность придает материалу повышенную жесткость, прочность и теплостойкость. Обычно полной кристаллизации полимера не происходит. В реальных условиях надмолекулярная структура состоит из чередующихся кристаллических и аморфных участков.

2.1.3 Полярность полимеров

В зависимости от химического состава, строения макромолекул, надмолекулярной структуры полимеры по электрическим и физическим свойствам могут быть полярными и неполярными.

В макромолекулах неполярных полимеров центры тяжести разноименных зарядов совпадают. У полярной макромолекулы центр тяжести электронов сдвинут в сторону более электроотрицательного атома, и центры тяжести разноименных атомов не совпадают.

Неполярные полимеры имеют симметричное расположение функциональных групп и дипольные моменты связей атомов взаимно компенсируются (рисунок 16.3а).

В молекулах полярных полимеров присутствуют или полярные связи группировок (-C1, -F, --ОН) (рисунок 16.3б), или несимметрия в их структуре.

Полярные полимеры обладают повышенной жесткостью и теплостойкостью, высокой адгезионной способностью, пониженной морозостойкостью. Неполярные - являются высококачественными и высокочастотными диэлектриками. Их свойства мало изменяются при понижении температуры. Они отличаются высокой морозостойкостью.

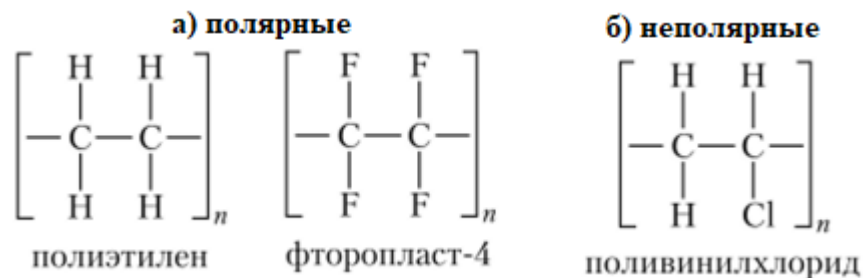


Рисунок 16.3 – Структура полярных и неполярных полимеров

2.1.4 Реакция полимера на нагрев

По отношению к нагреву полимеры могут быть термопластичными (термопласты) и термореактивными (реактопласты).

Термопластичные материалы обладают линейной или разветвленной структурой макромолекул, соединенных между собой только физическими связями. При нагревании они размягчаются и затем при определенной температуре переходят в вязкотекучее состояние. Охлаждение вызывает затвердевание полимера. Никаких химических реакций при этом не происходит. Процесс «размягчение - затвердевание» полностью обратим и может протекать многократно. Повторный нагрев термореактивных пластмасс не изменяет их твердого состояния.

Термореактивные полимеры состоят из макромолекул, соединенных поперечными ковалентными, т.е. химическими связями и в начальной стадии обладают линейной структурой. Полимер при нагревании легко переходит в вязкотекучее состояние. Выдержка при повышенной температуре приводит к развитию химических реакций, в результате которых макромолекулы приобретают сетчатую структуру, и материал необратимо затвердевает.

2.2 Свойства пластмасс и области их применения

В таблице 16.3 приведена классификация некоторых групп пластмасс по назначению с указанием наиболее характерных свойств. Классификация в значительной мере условна, так как одни и те же пластмассы могут входить в различные группы.

Таблица 16.3 - Классификация некоторых групп пластмасс по назначению

Назначение	Характерные свойства	Примеры
1	2	3
Конструкционные (нагруженные узлы и детали конструкций)	Высокие механические свойства	Стеклопластики, полистирол, полипропилен
Электроизоляционные (электроизолирующие детали, пленки, шланги)	Высокие диэлектрические свойства	Полиэтилен, полистирол, фторопласты
Химически стойкие (химическая аппаратура, емкости, трубы)	Высокое сопротивление действию влаги и химических соединений	Полиэтилен, поливинилхлорид, фторопласт-4

Продолжение таблицы 16.3

1	2	3
Светотехнические и оптические (оптические детали, арматура осветителей)	Стойкие к воздействию света, высокие оптические свойства	Полиметилметакрилат, полистирол, дакрил - 2М
Фрикционные (детали тормозов: накладки, колодки и др.)	Высокий коэффициент трения	Асбополимерные материалы: асбосмоляные, асбокаучуковые, Асботекстолит
Антифрикционные (подшипники скольжения, покрытия направляющих)	Низкий коэффициент трения	Капрон, полиамиды, фторопласты, полиэтилентерефталат (лавсан)

2.2.1 Термопластичные материалы

2.2.1.1 Неполярные термопластичные пластмассы

К неполярным пластикам относятся: полиэтилен, полипропилен, полистирол и политетрафторэтилен (фторопласт-4).

Полиэтилен (ПЭ) - продукт полимеризации мономера этилена. Структурная формула полиэтилена $(-CH_2 - CH_2 -)_n$. Полиэтилен представляет собой высокообразную массу и относится к кристаллизующимся полимерам. Индекс n указывает на число покоряющихся звеньев в одной макромолекуле, которое называется степенью полимеризации.

В мировом производстве пластмасс на долю ПЭ и материалов на его основе приходится около 35 %. Перерабатывается в изделия всеми известными способами.

По плотности полиэтилен разделяют на полиэтилен низкой плотности (ПЭНП), получаемый в процессе полимеризации при высоком давлении (до 350 МПа) и полиэтилен высокой плотности (ПЭВП), получаемый при низком давлении (0,3-4,0 МПа). В отечественной номенклатуре он называется соответственно полиэтилен высокого давления (ПЭВД) и полиэтилен низкого давления (ПЭНД)

ПЭНП имеет разветвленное строение, что является причиной образования рыхлой, частично кристаллической структуры. ПЭВП имеет линейное строение, относится к кристаллизующимся полимерам. Кристаллическая фаза достигает 80 %. Прочностные свойства увеличиваются с повышением плотности и кристалличности полиэтилена.

В настоящее время производятся также сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ), линейный полиэтилен низкой плотности (ЛПЭН.П), высокомолекулярный полиэтилен высокой плотности (ВМПЭВП), сополимеры этилена с винила пета том (СЭВА), с пропиленом (СЭП) и ряд других.

Механическая прочность и теплостойкость увеличиваются с повышением плотности и степени кристалличности полиэтилена. Введение в ПЭВП армирующих волокнистых наполнителей позволяет использовать его для изготовления изделий ответственного назначения.

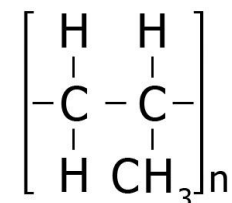
Высокая упругость и эластичность полиэтилена позволяет получать тонкие прозрачные пленки, способные пропускать ультрафиолетовые лучи

Полиэтилен имеет высокую химическую стойкость. При комнатной температуре нерастворим ни в одном из известных растворителей; устойчив к кислотам, щелочам и растворам солей до температуры 60 °С.

Недостатком полиэтилена является его подверженность старению. Для защиты от окисления в полиэтилен вводят стабилизаторы и ингибиторы. Часто в полиэтилен добавляют до 3 % сажи, поглощающей солнечные лучи и замедляющей процессы старения в 30 раз.

Диапазон применения полиэтилена весьма широк. Из него изготавливают защитные оболочки кабелей проводов, детали высокочастотных установок, розноносгойкие детали - трубы, прокладки, шланги. Его выпускают в виде пленки, листов, труб, блоков.

Полипропилен (ПП) получают полимеризацией мономера пропилена в присутствии металлоорганических катализаторов. Структурная формула полипропилена



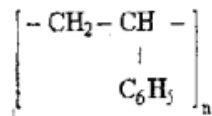
Является кристаллизующимся полимером, содержание кристаллической фазы составляет 73-75 %.

Характеризуется свойствами, позволяющими отнести его к конструкционным материалам. По сравнению с полиэтиленом более теплостоек, сохраняет форму до температуры 150 °С. Он растворяется только при повышенных температурах в сильных растворителях, стоек к кислотам и щелочам.

Недостатками полипропилена является его невысокая морозостойкость (до минус 20-25°С), склонность к старению.

Перерабатывается всеми известными способами. Полипропилен применяют для изготовления газо- и продуктопроводных напорных труб, конструкционных деталей автомобилей, холодильников, текстильных машин, корпусов насосов, жестких пленок и т.д.

Полистирол (ПС) имеет структурную формулу



Полистирольные пластики представляют собой многочисленную группу термопластичных материалов. Широко используются ПС, ударопрочный полистирол (УПС) и АБС-сополимеры.

Полистирол - аморфный полимер, характеризующийся высокой прозрачностью. ПС и материалы на его основе относятся к конструкционным материалам. Они характеризуются достаточно высокой прочностью, жесткостью, высокой размерной стабильностью. Полистиролу присущи высокие диэлектрические свойства, химически стоек в щелочах, минеральных и органических кислотах, маслах. Нетоксичен. При температуре 190-230 °С разлагается, образуя стирол. Недостатками полистирола является его хрупкость при пониженных температурах, склонность к постепенному образованию поверхностных трещин.

Выпускается полистирол в виде прозрачных листов, стержней (блочный полистирол) или порошка. Используется практически во всех отраслях промышленности, в электротехнике и радиотехнике.

Фторопласты являются фторсодержащими полимерами, на основе которых разработана широкая гамма пластмасс, обладающих рядом полезных свойств: высокими тепло- и термостойкостью, негорючестью, химической и коррозионной стойкостью. Как правило, сохраняют высокие электроизоляционные характеристики в интервале температур от минус 200 до плюс 260 °С. Фторопласты имеют самый низкий среди пластмасс коэффициент сухого трения.

Из фторосодержащих полимеров наибольшее техническое значение имеет политетрафторэтилен (ПТФЭ), политрихлорфторэтилен (ПТФХЭ), поливинилденхлорид (ПВДФ) и сополимер тетрафторэтилена с этиленом (фторопласт-40).

Политетрафторэтилен (ПТФЭ, торговая марка фторопласт-4) является фторпроизводным продуктом этилена. Имеет структурную формулу

Является термически и химически стойким материалом. Это насыщенный полимер, имеющий аморфно-кристаллическую структуру. Температура стеклования минус 120 °С, но даже при весьма низких температурах (до минус 269 °С) пластик не охрупчивается, сохраняет упругие свойства. Имеет низкий коэффициент трения (0,04), не зависящий от температуры,

Высокая термостойкость фторопласта-4 обусловлена высокой энергией связи С - F. Кроме того, небольшой размер атомов фтора образует из него плотную оболочку вокруг цепи С - С и защищает последнюю от химических реагентов: фторопласт-4 стоек к действию растворителей, кислот, щелочей, окислителей.

Недостатками фторопласта-4 является его токсичность вследствие выделения фтора при высоких температурах, хладотекучесть и трудность переработки из-за отсутствия пластичности. Он перерабатывается холодным прессованием с последующим спеканием при температуре около 340 °С.

Применяют для изготовления труб для химикатов, деталей (вентили, краны, насосы, мембраны), работающих в сильно коррозионных средах), антифрикционные покрытия на металлах (подшипники, втулки).

Физико-механические свойства неполярных термопластичных пластмасс приведены в приложении А.

2.2.1.2 Полярные термопластичные пластмассы

К полярным пластикам относятся: политрифторхлорэтилен, полиметилметаакрилат, поливинилхлорид, полиамиды, поликарбонаты и другие.

Политрифторхлорэтилен (ПТФХЭ, фторопласт-3) имеет структурную формулу $[-\text{CF}_2-\text{CFC1}-]_n$ (рисунок 16.1а).

Представляет собой линейный аморфно-кристаллический полимер белого цвета. Присутствие атома хлора нарушает симметрию звеньев макромолекулы, и в результате полимер становится полярным.

Фторопласт-3 имеет диапазон рабочих температур от минус 195 °С до плюс 125-190 °С. При нагреве выше 300 °С начинает разлагаться с образованием токсичного газообразного фтора.

Фторопласт-3 по химической стойкости несколько уступает фторопласту-4, но легко перерабатывается в изделия методами прессования, литья под давлением и др. Применяют для изготовления труб, клапанов, насосов, шлангов, а также применяют в качестве низкочастотного диэлектрика.

Полиметилметаакрилат (ПММА, органическое стекло) - аморфный, бесцветный, прозрачный термопласт на основе сложных эфиров акриловой и метакриловой кислот. Материал более чем в два раза легче минеральных стекол, отличается высокой атмосферостойкостью, оптически прозрачен. При нагреве до 80 °С начинает размягчаться, а при температурах от 105 до 150 °С становится пластичным. Основным критерием, определяющим его пригодность, является прочность. В твердом состоянии ПММА имеет высокую прозрачность, которая введением пластификаторов (крупка ПС и добавки) регулируется до состояния матовости.

ПММА удовлетворительно стоек к кислотам, щелочам, растворяется в органических кислотах и хлорированных углеводородах, сложных эфирах. Недостатком является невысокая поверхностная твердость.

Перерабатывается литьем под давлением, экструзией, пневмо- и вакуумформованием. Выпускается в виде листов толщиной от 0,8 до 24 мм. Из оргстекла изготавливают оптические линзы, детали светотехнических устройств. Используется в пищевой промышленности, в медицине и биотехнологии.

Поливинилхлорид (ПВХ) - линейный аморфный полимер, имеющий

етру кту рную форму лу $[-CH_2 - CHCl -]_n$ (см. рису но к 16.3 б).

ПВХ стоек во многих средах: воде, щелочах, разбавленных кислотах, маслах, бензине. Размягчается при температуре, близкой к 70 °С.

В зависимости от степени пластификации поливинилхлорид производится в виде винипласта и пластика.

Винипласт - жесткий, практически негшастифицированный ПВХ, содержит стабилизаторы (карбонаты металлов) и представляет собой непрозрачное твердое вещество. Винипласт обладает высокими физическими свойствами, хорошо поддается механической обработке, легко сваривается, склеивается различными клеями. Широко применяется в машиностроении и в строительстве (трубы, фитинги, профили и др.). Применяют для облицовки гальванических ванн и в качестве защитного покрытия металлических емкостей.

Винипласт склонен к хладотекучести, чувствителен к надрезам, отличается низкой теплостойкостью и хрупкостью при низких температурах.

Пластикаты представляет собой ПВХ, содержащий до 50 % пластификаторов (труднорастворимых органических жидкостей). Пластифицированный ПВХ отличается повышенной эластичностью и морозостойкостью, более низкими электроизоляционными свойствами. Пластикат выпускается промышленностью в виде пленок, листов, лент, шлангов, линолеума, клеенок. Его часто используют в качестве уплотнителя воздушных и гидравлических систем, изолятора проводов и защитных оболочек кабелей, аккумуляторных банок.

Полиамиды (ПА, торговые названия капрон, нейлон и др.) имеют структурную формулу $[NH - (C\ddot{O})_m - CO -]_n$. Полиамиды являются одними из лучших конструкционных и антифрикционных материалов. Высокие физико-механические свойства, устойчивость к действию углеводов, органических растворителей, масел, щелочей, низкий коэффициент трения, а также способность к его переработке сделали эти термопласты незаменимыми в машиностроении, приборостроении, в бытовой технике и в качестве заменителей цветных металлов.

Применяют полиамиды для изготовления шестерен, втулок, уплотнений, в качестве антифрикционных покрытий. Полиамиды ударопрочны, способны поглощать вибрации, хорошо сопротивляются истиранию. Для повышения эксплуатационных свойств полиамидов в них вводят антифрикционные добавки: графит, тальк, дисульфид молибдена.

Перерабатываются ПА литьем под давлением, экструзией, прессованием, полимеризацией в форме (капролон), пневмо- и вакуум-формованием.

Поликарбонаты (ПК, дифлон) - это сложные полиэфиры угольной кислоты с общей формулой $[-O - R - O - CO - O - R -]_n$, где R - радикал двухатомного (с двумя группами --OH) фенола.

ПК представляют собой твердый аморфный и прозрачный полимер. Поликарбонаты уникальны своим высоким сопротивлением удару. Их ударная вязкость близка ударной вязкости среднеуглеродистых сталей. Работоспособен при низких температурах (до минус 135 °С).

Благодаря высокой химической стойкости используется для производства медицинских и биотехнологических изделий. К недостаткам относится плохая сопротивляемость циклическим воздействиям и низкая усталостная прочность.

На основе ПК производятся также дифлон и антифрикционные композиции, обозначаемые аббревиатурой ДАК. Так, композиция с Ф-4 обозначается ДАК-8 и нитридом бора - ДАК-12-3-Б. Антифрикционный поликарбонат ДАК (дифлон, модифицированный тетрафторэтиленом) используется для изготовления втулок, зубчатых колес, клапанов и других деталей, работающих в узлах трения без смазочных материалов.

Полиимиды (ПИ) - продукты поликонденсации тетракарбоновых кислот и их производных. Цепь макромолекулы содержит имидные циклы $-N \overset{CO}{\parallel} -$ и ароматические ядра, соединенные гибкими связями $-O - CO -$. В зависимости от структуры полиимиды могут быть термопластичными и терморезактивными.

Полиимиды обладают высоким комплексом механических свойств, высокой теплостойкостью, хорошо сопротивляются действию органических растворителей, масел, разбавленных кислот. Неустойчивы в щелочах и концентрированных кислотах.

Антифрикционный самосмазывающийся полиимид ПАМ-15-67 (композиция на основе поднимиды ПМ-67 с графитом) используется для изготовления шестерен быстроходных ступеней редукторов, подшипников скольжения и качения, способных работать при значительных вибрационных нагрузках, в условиях глубокого вакуума, при температурах от минус 196 до плюс 250 °С.

Свойства полярных термопластов приведены в приложении Б.

2.2.2 Терморезактивные материалы

Терморезактивные пластмассы производят на основе терморезактивных смол: фенолоформальдегидных, аминокальдегидных, эпоксидных, полиимидных, кремнийорганических, ненасыщенных полиэфиров. Пластмассы на основе этих смол отличаются повышенной прочностью, не склонны к ползучести и способны работать при повышенных температурах. Смолы в пластмассах являются связкой и должны обладать высокой клеящей способностью, теплостойкостью, химической стойкостью в агрессивных средах, электроизоляционными свойствами, доступной технологией переработки, малой усадкой при затвердевании.

Фенолоформальдегидные смолы в неотвержденном состоянии в зависимости от химических особенностей подразделяются на термопластичные (новолачные) и терморезактивные (резольные смолы). Используются в качестве связующих.

Эпоксидные смолы (ЭС) относятся к низкомолекулярным полимерам, которые под воздействием веществ, химически с ними взаимодействующих

(отвердителей), способны переходить из термопластического в термореактивное состояние. Главное назначение ЭС - высокоэффективные связующие для композиционных, армированных, высоконаполненных конструктивных пластиков.

Кремнийорганические композиционные пластики изготовляют главным образом на основе термореактивного полиорганосилоксанового связующего, которым пропитываются дисперсные, волокнистые или тканевые наполнители, получая соответственно пресс-порошки, волокиты или разнообразные текстолиты. Главная особенность таких материалов - повышенная теплостойкость и электрическая прочность.

Основными представителями ненасыщенных полиэфирных смол являются полиэфиракрилаты, полималеинаты и полифумараты.

2.2.2.1 Пластмассы с порошковыми наполнителями

Пресс-порошки и литые пластмассы на основе фурановых и эпоксидных смол с наполнителями из графита и дисульфида молибдена используют для изготовления подшипников скольжения. Минеральные наполнители придают пластмассе водостойкость, химическую стойкость, повышенные электроизоляционные свойства. При использовании в качестве связующего вещества кремнийорганических полимеров и наполнителей в виде кварцевого порошка или асбеста теплостойкость пластмасс достигает 300 °С.

Композиции на основе эпоксидных смол широко применяют в машиностроении для изготовления различной инструментальной оснастки, вытяжных и формовочных штампов и другой оснастки, а также для восстановления изношенных деталей, устранения дефектов металлических отливок.

2.2.2.2 Слоистые пластмассы

Слоистые пластмассы являются силовыми конструкционными и подделочными материалами. Листовые наполнители, уложенные слоями, придают пластику анизотропность. Материалы выпускаются в виде листов, плит, труб, заготовок, из которых механической обработкой получают различные детали.

Гетинакс изготовляют на основе модифицированных фенольных, анилино-формальдегидных и карбамидных смол и различных сортов бумаги.

По назначению гетинакс делится на электротехнический и декоративный различных цветов и текстуры, имитирующей древесные породы. Применяют для внутренней облицовки пассажирских кабин самолетов, железнодорожных вагонов и т.д.

Текстолиты - изготовливают на основе фенолоформальдегидных смол с наполнителем из листов хлопчатобумажной ткани. Среди слоистых пластиков текстолит обладает наибольшей способностью поглощать вибрационные нагруз-

ки. Текстолит обладает низким коэффициентом трения (от 0,2 до 0,3 без смазочных материалов и от 0,06 до 0,1 со смазочным материалом), высокой износостойкостью. Текстолитовые подшипники до 15 раз долговечнее бронзовых.

Зубчатые колеса, изготовленные из текстолита, работают бесшумно при частотах вращения до 30 000 мин⁻¹. Недостатком текстолита является низкая рабочая температура (до 90 °С).

Асботекстолиты изготовливают на основе кремнийорганических смол с наполнителем из асбестовых тканей. Коэффициент трения асботекстолитов при отсутствии смазочных материалов от 0,3 до 0,38, со смазочным материалом от 0,05 до 0,07.

Асботекстолит выдерживает кратковременно высокие температуры и поэтому применяется в качестве теплозащитного и теплоизоляционного материала (в течение 4 ч выдерживает температуру до 500 °С и кратковременно 3000 °С и выше). Из асботекстолитов изготовливают лопасти ротационных бензонасосов, фрикционные диски, накладки, тормозные колодки и др.

Древесно-слоистые пластики изготовливают из древесного шпона, пропитанного термореактивным связующим. Они имеют низкий коэффициент трения (со смазочным материалом до 0,04) и применяют в узлах трения вместо деталей из твердых металлов. Вкладыши подшипников из древесно-слоистых пластиков интенсивно снижают шум узла трения, не образуют задиров на поверхности вала. Недостатком древесно-слоистых пластиков является гигроскопичность.

В *стеклотекстолитах* применяют в качестве наполнителя стеклянные ткани, которые по виду ткацкого переплетения подразделяются на полотняные или гарнитуровые, сатиновые или атласные и кордовые ткани. Продольные нити ткани называют основой, поперечные - утком.

Ткани полотняного переплетения имеют на поверхности максимально частое чередование основных и уточных нитей, что придает ткани жесткость. Однако стекловолокна хрупки, и при их взаимном перетирании или под давлением может произойти разрушение ткани.

В тканях сатинового плетения более редкое перекрытие нитей (через четыре и более), поэтому стеклотекстолит на их основе прочнее и лучше работает в конструкциях.

Кордовые ткани имеют усиленные нити основы и тонкие, редко расположенные нити утка. При получении изделий усиленные нити основы укладываются в направлении, совпадающем с деформацией, и воспринимают растягивающие нагрузки. В поперечном направлении прочность значительно ниже, т.е. материал анизотропен. При многослойной перекрестной укладке пропитанных тканей можно получить равнопрочный стеклопластик.

Материал СВМ представляет собой стекловолокнистый анизотропный материал, в котором стеклянные нити сразу по выходе из фильера склеиваются между собой в виде стеклянного шпона и затем укладываются как в фане-

ре. Связующие могут быть различными. СВМ является конструкционным материалом с большой жесткостью и высокой ударной вязкостью.

Длительно стеклопластики могут работать при температурах до 400 °С, однако кратковременно в течение нескольких десятков секунд стеклопластики выдерживают несколько тысяч градусов. Стеклопластики обладают высокой демпфирующей способностью, хорошо работают при вибрационных нагрузках. Некоторые стеклопластики обладают выносливостью при изгибе до $1,5 \cdot 10^7$ циклов и высокой прочностью (больше, чем у металлов).

Из стеклопластиков изготавливают несущие детали летательных аппаратов, кузова и кабины автомашин, кожухи, контейнеры и т.д.

2.2.2.3 Пластмассы с волокнистыми наполнителями

Волокниты представляют собой композиции из волокнистого наполнителя в виде очесов хлопка, пропитанного фенолоформальдегидным связующим.

Пресс-материал волокнита является грубой и жесткой массой, из которой нельзя прессовать мелкогабаритные, тонкостенные детали. Волокниты применяют для деталей общего назначения с повышенной устойчивостью к ударным нагрузкам, работающим на изгиб и кручение (рукоятки, стойки, шкивы, маховики и т. д.)

Асбоволокниты содержат наполнителем асбест - волокнистый минерал, расщепляющийся на тонкое волокно (диаметром 0,5 мкм). Состав хризотилового асбеста $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. Связующим служит в основном фенолыюформальдегидная смола. Преимуществом асбоволокнитов является повышенная теплостойкость (свыше 200 °С), ударопрочность, устойчивость к кислым средам и фрикционные свойства; как диэлектрики их применяют для тока с низкими частотами. Асбоволокниты используются в качестве материала тормозных устройств (колодки, накладки, диски подъемных кранов, вагонов, автомобилей, экскаваторов, из них изготавливают фрикционные ролики, контактные панели, коллекторы электрических машин и т. д.).

Стекловолокониты - это композиция, состоящая из связующего - синтетической смолы и стекловолоконитого наполнителя. Стекловолокно получается путем продавливания расплавленной стекломассы через фильеры (отверстия в дне электропечи). Применяется непрерывное или короткое стекловолокно, причем прочность непрерывного волокна выше в 3,5 раза, чем короткого.

Прочность стекловолоконита резко возрастает с уменьшением его диаметра (вследствие влияния неоднородностей и трещин, возникающих в толстых сечениях). Максимальное значение прочности наблюдается для волокна диаметром от 1 до 3 мкм. Для практических целей употребляется волокно диаметром от 5 до 20 мкм.

Стекловолокно негорюче, устойчиво к действию ультрафиолетовых лучей, химически стойко, стабильных размеров. Наполнитель является армирующим элементом и воспринимает основные нагрузки при работе стеклопластика.

Стекловолокониты содержат в качестве наполнителя короткое стекловолокно. Это позволяет прессовать детали сложной формы, с металлической арматурой. Под давлением волокно раскалывается на мелкие отрезки и вместе со связующим легко заполняет все извилины формы. Материал получается с изотропными прочностными характеристиками, намного более высокими, чем у пресс-порошков и даже волоконитов.

Представителем такого стекловолоконита является материал АГ-4В, который применяется для изготовления силовых электротехнических деталей (картасы катушек и т. п.), деталей машиностроения (золотники, уплотнения насосов, перекачивающих специальные агрессивные среды, и т. д.). При использовании в качестве связующего непредельных полиэфиров стекловолокониты можно применять для крупногабаритных изделий простых форм (кузова автомашин, лодки, корпуса приборов и т. п.).

Свойства термореактивных пластмасс приведены в приложении В.

3 Порядок выполнения работы

3.1 Ознакомьтесь со всеми разделами методических указаний. Ответьте на контрольные вопросы.

3.2 Ознакомьтесь с коллекцией полимерных материалов и пластмассовых изделий. Опишите свойства трех представителей различных классов.

3.3 Сопоставьте плотность пластмасс с плотностью цветных и черных металлов.

3.4 Произведите испытания образцов пластмасс на прочность и твердость.

4 Содержание отчета

4.1 Цель работы.

4.2 Описание свойств рассмотренных полимерных материалов.

4.3 Результаты испытаний образцов пластмасс на прочность и твердость в виде таблицы.

4.4 Выводы из работы.

5 Контрольные вопросы

5.1 Что такое пластмассы? Из каких компонентов состоят пластмассы?

5.2 Что такое полимер? Какими способами получают полимеры?

5.3 Как влияют атомы кислорода, серы, хлора, присутствующие в молекулярных цепях полимеров, на свойства материала?

5.4 Какие свойства придают полимерному материалу содержащиеся в молекулярных цепях атомы кремния, титана, алюминия?