



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Технология вяжущих веществ, бетонов и строительной керамики»

Учебное пособие

«Полимерные строительные материалы и изделия»
по дисциплине

«Технология полимерных строительных материалов»

Авторы

Щербань Е. М.,
Шуйский А. И.,
Халюшев А. К.,
Стельмах С. А.

Ростов-на-Дону, 2019

Аннотация

Учебное пособие предназначено для студентов очной формы обучения направления 08.03.01 «Строительство».

Авторы



Кандидат технических наук,
доцент кафедры
«Технология вяжущих
веществ, бетонов и
строительной керамики»
Щербань Евгений
Михайлович



Кандидат технических наук,
заведующий кафедрой
«Технология вяжущих
веществ, бетонов и
строительной керамики»
Шуйский Анатолий Иванович





Кандидат технических наук,
доцент кафедры
«Технология вяжущих
веществ, бетонов и
строительной керамики»
Халюшев Александр
Каюмович



Кандидат технических наук,
доцент кафедры
«Технология вяжущих
веществ, бетонов и
строительной керамики»
Стельмах Сергей
Анатольевич

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ПОЛИМЕРАХ.....	8
2. РАЗНОВИДНОСТИ ПОЛИМЕРОВ.....	11
3. СЫРЬЕВЫЕ КОМПОНЕНТЫ И ДОБАВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛАСТМАСС.....	18
3.1. Характеристика пластмасс.....	18
3.2. Сырьевые компоненты пластмасс.....	19
3.3. Добавки к пластмассам.....	22
4. СВОЙСТВА ПЛАСТМАСС.....	28
5. АРМИРОВАННЫЕ ПЛАСТМАССЫ.....	31
5.1. Применение армированных пластмасс.....	31
5.2. Особенности процесса армирования.....	31
5.3. Разновидности наполнителей.....	33
5.4. Типы структур армирования.....	34
5.5. Основные особенности технологии.....	36
6. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ ПЛАСТМАСС.....	39
6.1. Способы изготовления материалов и изделий из пластмасс.....	39
6.2. Материалы и изделия для полов.....	41
6.3. Отделочные материалы из пластмасс.....	46
7. ПОЛИМЕРНЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ....	52
8. ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ.....	56
8.1. Определение и классификация.....	56
8.2. Основные физико-механические свойства органических вяжущих.....	59
8.3. Производство нефтяных битумов.....	64

8.4. Улучшение качества нефтяных битумов.....	66
8.5. Дорожные эмульсии.....	68
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	72

ВВЕДЕНИЕ

Полимерные строительные материалы и изделия – относительно новый вид материалов. Это объясняется тем, что промышленное производство основных видов полимеров – полиэтилена, поливинилхлорида и многих других – началось только в середине XX в.

Полимерные материалы обладают комплексом характеристик, которые при использовании обеспечивают эффективные эксплуатационные свойства изделий и рентабельность их производства. Благодаря комплексу ценных эксплуатационных свойств и высокой технологичности пластмассы прочно заняли своё место в ряду эффективных строительных материалов. Достоинствами полимерных материалов и изделий является малая плотность, водостойкость, водонепроницаемость, универсальная химическая стойкость, низкая теплопроводность, высокие электроизоляционные свойства, гигиеничность и декоративность. Специальные виды полимерных материалов и изделий имеют очень высокую прочность, сравнимую с прочностью стали, или чрезвычайно малую плотность.

Полимерные материалы и изделия легко обрабатывать (резать, сверлить), они хорошо склеиваются и свариваются как между собой, так и с другими материалами. Из пластмасс относительно просто получить готовые материалы и изделия, отличающиеся высокой степенью готовности.

Наряду с положительными свойствами, полимерные материалы и изделия имеют и существенные недостатки:

- низкую теплостойкость; для большинства полимеров предельная температура применения 100–150 °С, а некоторые начинают размягчаться уже при температуре 60–80 °С. При дальнейшем повышении температуры большинство полимеров горит;

- ползучесть – способность под действием длительных нагрузок даже при нормальной температуре постепенно деформироваться;

- склонность к старению; при длительном воздействии солнечных лучей и кислорода воздуха происходит необратимое

изменение свойств полимеров (прочности, эластичность, цвета и т. п.).

Кроме того, к недостаткам можно отнести высокий коэффициент температурного расширения, токсичность некоторых полимерных связующих. Полимерные материалы относятся к числу наиболее эффективных строительных материалов. Они позволяют существенно снижать массу конструкций, широко внедрять индустриальные методы ведения строительных работ, позволяют расширять архитектурные возможности, изменять облик интерьеров, сокращать трудовые затраты. Полимерные материалы и изделия могут заменить практически все строительные материалы. Но такая замена не всегда целесообразна из-за высокой стоимости, дефицитности и присущих полимерам недостатков.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ПОЛИМЕРАХ

Полимерными материалами называют материалы, которые в своём составе содержат полимер, находящийся в период формирования изделий в вязкотекучем (пластическом) состоянии, а в готовом изделии – в твердом состоянии.

Полимерные материалы относятся к числу наиболее эффективных строительных материалов.

Термин «*полимерные материалы*» является обобщающим. Он объединяет три обширные группы синтетических пластиков, а именно:

- полимеры;
- пластмассы;
- полимерные армированные материалы.

Полимерами принято называть высокомолекулярные вещества (гомополимеры), молекулы которых представляют собой пространственную сетку последовательно соединенных одинаковых групп атомов, повторяющихся большое количество раз. Их получают в результате химической реакции между молекулами исходных низкомолекулярных веществ – мономеров с введенными в них добавками, а именно, стабилизаторами, ингибиторами, пластификаторами, смазками, антирадами. Физически полимеры являются гомофазными материалами, они сохраняют все присущие гомополимерам физико-химические особенности. Это простые и доступные продукты, получаемые из нефти, газа, угля и других широко распространенных материалов.

*Пластмасса*ми называют композиционные материалы на основе полимеров, содержащие в своем составе дисперсные или коротковолокнистые наполнители, пигменты и иные добавки. Наполнители не образуют непрерывную фазу. Они, являясь дисперсной средой, располагаются в полимерной матрице (дисперсионная среда). Физически пластмассы представляют собой гетерофазные материалы с изотропными (одинаковыми во всех направлениях) физическими макросвойствами.

Пластмассы могут заменить практически все строительные материалы. Но в ряде случаев, вследствие их высокой стоимости, дефицитности и присущих им недостатков, такая замена нецелесообразна

(например, при массовом применении пластмасс в качестве материала для основных несущих и ограждающих конструкций зданий).

Полимерные армированные материалы являются разновидностью пластмасс. Они отличаются тем, что в них применяются не дисперсные, а армирующие, т. е. усиливающие наполнители (волокна, ткани, ленты, войлок, монокристаллы), образующие в полимерных композиционных материалах (ПКМ) самостоятельную непрерывную фазу. Отдельные разновидности таких ПКМ называют слоистыми пластиками. Такая морфология позволяет получать пластики с весьма высокими деформационно-прочностными, усталостными и электрофизическими характеристиками.

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 (MM) которой определяется степенью полимеризации мономеров, т. е. числом (n) мономерных звеньев с молекулярной массой (M) в единичной цепи:

$$nM = MM.$$

В зависимости от значений M и n молекулярная масса полимеров может изменяться в весьма широких пределах: от $3 \cdot 10^2$ до $2 \cdot 10^6$ единиц.

Полимеры принято условно разделять по значению молекулярной массы:

– олигомеры – это полимеры с молекулярной массой $MM < 5 \cdot 10^3$;

– полимеры имеют молекулярную массу $5 \cdot 10^3 < MM < 5 \cdot 10^5$. К этой группе принадлежит большинство разновидностей полимеров;

– сверхвысокомолекулярные полимеры имеют молекулярную массу $MM > 5 \cdot 10^5$.

Свойства олигомеров существенно зависят от молекулярной массы и, следовательно, от степени полимеризации. Свойства полимеров от числа мономерных звеньев в цепи зависят значительно меньше. Основные физические параметры полимеров остаются практически постоянными.

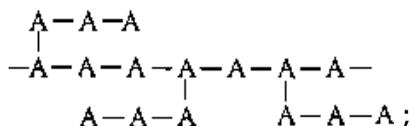
Молекулярно-массовое распределение (ММР) отражает неоднородность полимера по размерам цепей и, следовательно, по молекулярной массе составляющих его макромолекул. Значение ММР зависит от технологии производства полимера, характеризующейся энергетическими различиями условий химической реакции соединения мономерных звеньев. Любой промышленный полимер представлен набором отдельных фракций, состоящих из макромолекул и отличающихся молекулярной массой. Процентное соотношение фракций в объеме полимера оказывает существенное влияние на комплекс его свойств (технологические и эксплуатационные).

По физической организации макромолекулы подразделяются:

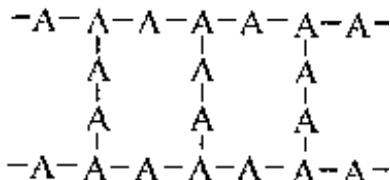
– на *линейные*



– *разветвленные*, имеющие боковые ответвления:

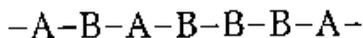


– если соседние макромолекулы соединены химическими связями, то такая структура называется *сетчатой* или *сшитой*.

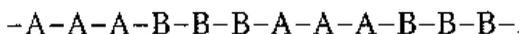


Физическая организация макромолекул полимеров формирует важнейшие понятия, определяющие доминантные особенности полимеров, а именно, *термопластичность* и *терморективность*.

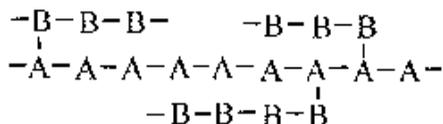
Сополимеры содержат в основной макроцепи звенья из двух или более различных мономеров. Если звенья двух мономеров А и В соединены в макроцепи беспорядочно, то такой сополимер называется *статистическим*:



Если звенья мономеров А и В сгруппированы в отдельные чередующиеся блоки, то такой сополимер называется *блок-сополимером*:



Если блоки одного из мономеров присоединены в виде ответвлений к макроцепи, составленной из другого мономера, то такой сополимер называется *привитым*:



Сополимеризация позволяет изменять свойства получаемых синтетических полимеров в весьма широких пределах и таким образом направленно формировать те или иные характеристики.

2. РАЗНОВИДНОСТИ ПОЛИМЕРОВ

По способу получения полимеры подразделяются на четыре класса:

- полимеризационные А;
- поликонденсационные Б;
- полученные модификацией природных полимеров В;
- образованные в природных условиях и изготовленные деструктивной или простой перегонкой ряда органических веществ Г.

Полимеры классов А и Б являются основными в производстве пластмасс, класс В имеет ограниченное применение. Высокомолекулярные вещества класса Г (битумы и дёгти) рассмотрены в гл. 8.

Полимеризационные полимеры получают в процессе реакции полимеризации, при которой не выделяются побочные продукты, поэтому состав образующихся полимеров соответствует составу исходного полимера. Реакцией полимеризации получают полимеры, имеющие широкое применение в технологии полимерных строительных материалов: полиэтилен, поливинилхлорид, полиизобутилен, полистирол, полиакрилаты и др.

Поликонденсационные полимеры получают реакцией поликонденсации, которая протекает по механизму замещения и сопровождается выделением побочных продуктов низкомолекулярных веществ (воды, кислоты, аммиака и др.), помимо образования основного полимера. В реакции поликонденсации могут принимать участие только вещества, содержащие функциональные группы. К поликонденсационным относятся, из широко применяемых в строительной технике, следующие полимеры: карбамидоформальдегидные, эпоксидные, полиэфирные, алкидные фенолоформальдегидные (ФФП), полиуретановые и другие полимеры.

По характеру поведения при нагревании полимеры делят на *термопластичные* и *терморективные*.

Термопластичные полимеры состоят из макромолекул, соединённых между собой только физическими связями. Энергия разрыва физических связей невелика и составляет от 12 до 30 кДж/моль. При нагревании физические связи исчезают, при охла-

ждении – восстанавливаются. Энергия разрыва химических связей, соединяющих мономерные звенья в цепную макромолекулу, многократно превышает указанные значения, составляя 200–460 кДж/моль. Поэтому при нагревании термопластичных полимеров (термопластов) до температуры плавления физические связи исчезают, а химические – ковалентные – сохраняются и, следовательно, сохраняется неизменным химическое строение полимера. При охлаждении и затвердевании такого расплава физические связи и основные физические свойства термопластичного полимерного вещества восстанавливаются. Таким образом, термопласты, во-первых, допускают формование изделий из расплава с его последующим охлаждением и затвердеванием и, во-вторых, могут перерабатываться многократно. Это, в свою очередь, позволяет возвращать в производственный цикл отходы производства, брак, изделия, утратившие потребительскую ценность. Большинство из них хорошо растворяется в органических растворителях. К термопластичным полимерам относятся полиэтилен, полистирол, поливинилхлорид, т. е. в основном полимеры класса А.

Поливинилхлорид (ПВХ) – один из наиболее распространенных полимеров. Получают его полимеризацией винилхлорида. Это белый или окрашенный в различные цвета полимер плотностью 1350–1460 кг/м³, водопоглощение за 24 ч 0,1–0,5 %, предел прочности при сжатии 60–90 МПа, при растяжении 45–70 МПа. Полимер устойчив к действию кислот, щелочей, спирта, бензина, поэтому его применяют для производства труб, защитных покрытий, емкостей. Этот полимер хорошо зарекомендовал себя при получении линолеумов, погонажных изделий, гидроизоляционных пленок, пенопластов и др. Обладает сравнительно низкими термическими свойствами: при температуре от 60 до 80 °С размягчается, выше 140 °С – разлагается с выделением хлористого водорода. Плавится при температуре 180–220 °С. Морозостойкость ПВХ низкая: при температуре –10 °С он становится жестким и хрупким.

Введение пластификатора позволяет повысить морозостойкость до –50 °С. ПВХ – хороший диэлектрик. Изделия из него имеют высокую износостойкость.

Перхлорвинил (дополнительно хлорированный ПВХ) сохраняет ценные свойства ПВХ, но обладает повышенными адгезией

(прилипаемостью), теплостойкостью и растворимостью в органических растворителях. Сополимеры винилхлорида превосходят ПВХ по термостабильности, растворимости и другим свойствам. Их используют в непластифицированном виде.

Винипласт широко применяют в химическом производстве для изготовления емкостей, трубопроводов систем водоснабжения и канализации, в качестве тары и упаковочной пленки, в строительстве для отделки стен, покрытия кровли, для электротехнических целей (изоляция проводов, кабелей).

Полифторэтилены (фторопласты) представляют собой полимеры фторпроизводных этилена. Основные виды – *политетрафторэтилен* и *политрифторхлорэтилен*.

Политетрафторэтилен получают полимеризацией газа тетрафторэтилена. В технике известен как фторопласт-4. Он представляет собой твердый, кристаллический, молочно-белого цвета, непрозрачный, маслянистый на ощупь полимер плотностью 2,1–2,4 г/см³. Имеет высокие термические и диэлектрические свойства и исключительную химическую стойкость. Не смачивается водой, не горит, сохраняет свои свойства в интервале температур от –270 до +250 °С. Является одним из лучших антифрикционных материалов, так как обладает низким коэффициентом трения.

Полиэтилен получают полимеризацией мономера этилена с помощью различных технологических способов. Полиэтилен – бесцветное полупрозрачное вещество, средняя плотность которого 910–970 кг/м³, температура плавления 105–135 °С, прочность на растяжение 12–40 МПа. Он сохраняет эластичность до температуры –70 °С. Для полиэтилена характерна низкая растворимость в органических растворителях и стойкость к действию кислот, щелочей и солей, высокая водостойкость. Недостатками полиэтилена являются низкая теплостойкость (80 °С), плохая адгезия к клеям, склонность к старению и незащищенность от грызунов. Он является типичным термопластом и перерабатывается в изделия всевозможными способами. На основе полиэтилена изготавливают трубы, пленки, пенопласты, детали санитарно-технических устройств и электроизоляционные материалы.

Полиэтилен низкой плотности (ПЭНП) получают при высоком (до 350 МПа) давлении, поэтому он называется ПЭВД. Плотность

910–935 кг/м³. Главная особенность молекулярной структуры – разветвленность строения.

Полиэтилен высокой плотности (ПЭВП) получают при низком давлении с использованием катализаторов Циглера–Натта при сравнительно низком давлении (0,3–4,0 МПа), суспензионным, а также газофазным методом при среднем давлении. Температура плавления 125–132 °С; плотность 945–975 кг/м³.

СЭВА (СЭВИЛЕН) – сополимеры этилена с винилацетатом, различающиеся содержанием винилацетата, которое варьирует в диапазоне 10–60 %. СЭВА характеризуется повышенной прозрачностью, нетоксичностью, устойчивостью к старению и стабильностью при переработке. Относительное удлинение при разрыве 600–800 %; твердость по Шору – 85–95 МПа; температура хрупкости – 75–100 °С.

Полипропилен (ПП) – получают полимеризацией газа пропилена в присутствии катализаторов. Представляет собой легкий, со средней плотностью 900–905 кг/м³, полупрозрачный полимер высокой степени кристалличности, выпускается в виде гранул, реже – в виде порошка. По водостойкости и химической стойкости не уступает полиэтилену, а по теплостойкости и механическим свойствам – превосходит его. Существенным недостатком полипропилена являются плохая сопротивляемость действию отрицательных температур (изделия из него могут эксплуатироваться при температуре не ниже –15 °С) и чувствительность к окислению. Температура плавления полипропилена в зависимости от молекулярной массы варьирует в пределах 160–170 °С.

Для него характерна высокая износостойкость и устойчивость к ударам и многократным изгибам. Тонкие пленки из полипропилена имеют более высокую прозрачность, чем пленки из полиэтилена.

Из полипропилена изготавливают детали машин, автомобилей, радиоаппаратуры, холодильников, ящики, бутылки и другие емкости. Шланги и трубы из него выдерживают расширение замерзшей воды. Применяют его и в производстве волокон и нитей, имеющих высокую стойкость к истиранию и изгибам.

Полиизобутилен входит в группу полиолефинов. Представляет собой каучукоподобный эластичный материал белого или светло-серого цвета с высокой морозостойкостью и хорошей хи-

мической стойкостью. В отличие от каучуков, полиизобутилен не способен вулканизироваться. Средняя плотность 910–930 кг/м³, относительное удлинение 1000–2000 %, предел прочности при растяжении 2,0–4,5 МПа. Полиизобутилен водостойкий, на него не действуют кислоты, щелочи, не растворяется в спиртах, сложных эфирах, но растворяется в ароматических углеводородах (бензин, толуол и др.) и минеральных маслах. Высокая эластичность сохраняется в температурных пределах от –60 до +60 °С. При более высоких температурах он становится липким. Полиизобутилен применяют для изготовления клеев, герметиков, пропиточных составов для придания тканям водостойкости, лакокрасочных материалов, липких лент и пленок, дублированных тканей, для электроизоляции проводников, в качестве присадок к смазочным маслам, как сополимер к полиэтилену. Недостатком полиизобутилена является большая ползучесть (течет под действием собственной массы).

Полистирол – прозрачный, довольно хрупкий полимер, хорошо окрашивается и легко перерабатывается, имеет среднюю плотность 1040–1100 кг/м³. Предел прочности при сжатии 80–110 МПа, при изгибе 90–95 МПа. Полимер водо- и атмосферостоек, устойчив по отношению к кислотам и щелочам, бензину, растительным маслам, спирту, растворам солей. Для полистирола характерна высокая прочность, он пропускает до 90 % лучей видимой части спектра. Основные недостатки полистирола – его хрупкость и плохая устойчивость к действию ряда органических растворителей. При попадании в зону огня он легко воспламеняется и горит ярким коптящим пламенем. Из полистирола изготавливают пенопласты, облицовочные плитки, вентиляционные решетки, раковины и др.

Поливинилацетат – бесцветная жидкость с характерным эфирным запахом. Средняя плотность 1020–1030 кг/м³, содержание твердой фазы около 50 %. Благодаря хорошей адгезии, эластичности, светостойкости и бесцветности поливинилацетат нашел широкое применение в производстве лаков, красок и клеев, в виде водной эмульсии его применяют также для полимерцементных бетонов, в производстве влагостойких обоев.

Полиметилметакрилат (известный под названием «органическое стекло») – представляет собой прозрачный, свето- и атмо-

сферостойкий полимер со средней плотностью 1200 кг/м^3 , обладает пределом прочности при растяжении 78 МПа и ударной вязкостью $11,8 \text{ кДж/м}^3$. Полиметилметакрилат пропускает около 99 % солнечного света и способен пропускать до 70 % ультрафиолетовых лучей. Хорошо формуется, вытягивается, легко перерабатывается литьем и экструзией. Листовой полиметилметакрилат применяют для остекления больниц и санаториев, витрин магазинов, теплиц, оранжерей и т. п. В порошкообразном и гранулированном виде полимер может быть использован для изготовления дверных и оконных деталей; эмульсии применяются в производстве красок, лаков, влагостойких обоев и в качестве уплотняющих добавок к цементным бетонам.

Термореактивные полимеры состоят из макромолекул, соединенных поперечными ковалентными, т. е. химическими, связями. Такая сетчатая химическая структура необратима. Нагревание сетчатых полимеров приводит не к расплавлению, а к разрушению пространственной сетки, сопровождающемуся деструкцией. С точки зрения практической физики, это означает, что реактопласты допускают лишь однократную переработку в изделия, которые формируются в результате химической реакции отверждения. Технологические и иные отходы производства практически не перерабатываются. Вместе с тем сетчатая молекулярная структура придает полимерам ряд особых свойств, не наблюдаемых у термопластов. После отвердевания они не растворяются, но в некоторых растворителях могут набухать. К термореактивным полимерам относятся фенолоформальдегидные, карбамидные, полиэфирные, эпоксидные и другие полимеры.

Фенолоформальдегидный полимер – первые синтетические полимеры, нашедшие практическое применение. Это продукты от светло-жёлтого до красноватого цвета, средняя плотность $1250\text{--}1380 \text{ кг/м}^3$. Они характеризуются относительно высокой теплоустойкостью (изделия из них могут эксплуатироваться при температуре до $200 \text{ }^\circ\text{C}$). Применяют полимеры для получения слоистых пластиков, фанеры, сотовластов, клеев, лаков, минерало- и стекловатных изделий. Из пресс-порошков делают профили, розетки, вентиляционные решетки и другие архитектурные детали.

Карбамидные (мочевиноформальдегидные) полимеры – один из наиболее дешевых видов полимеров. В промышленных

условиях изготавливают в виде водных растворов и эмульсий, они бесцветны, в отвержденном состоянии довольно прочны, но не водостойки и склонны к быстрому старению. Плотность 1000 – 1500 кг/м³. Применяют мочевиноформальдегидные полимеры главным образом для изготовления древесно-стружечных плит (ДСП), клееных деревянных конструкций, слоистого пластика, а также особо лёгкого материала – мипоры.

Эпоксидные полимеры – довольно дорогой и малодоступный пока для широкого потребления вид полимеров, но обладающий высокой прочностью, химической стойкостью в отвержденном состоянии и очень хорошей адгезией к другим материалам. Выпускают эпоксидные полимеры в виде смолообразного продукта, отверждаемого отвердителями. Этим полимерам присуща хорошая адгезия к разным строительным материалам, незначительная усадка, высокие механические показатели. Применяют для изготовления водо- и химически стойких клеев, как связующее для стеклопластиков, полимербетонов и других специальных целей.

*Полиэфир*ы – группа полимеров, полученных поликонденсацией многоатомных спиртов и органических кислот. Различают насыщенные (термопластичные) полиэфиры, например, глифта-левый полимер и полиэтилентерефталат (называемый лавсаном) и ненасыщенные полиэфиры (термореактивные). Относительная дешевизна дают возможность применять полиэфиры для изготовления стеклопластиков, светопрозрачных и цветных покрытий, санитарно-технических изделий, фасадных красок и лаков. Рабочая температура полиэфирных пластмасс составляет от –30 до + 80 °С.

Кремнийорганические полимеры – большая группа полимеров, в составе которых, наряду с органической частью, присутствует кремний. Благодаря наличию кремния полимеры приобретают ряд специфических свойств: повышенную термическую (до 100–500 °С) и химическую стойкость, в ряде случаев – хорошую совместимость с силикатными материалами. Применяют кремнийорганические полимеры для изготовления защитных и жаростойких покрытий, в качестве гидрофобных добавок к бетонам и растворам, для получения атмосферостойких фасадных красок, герметиков и др.

3. СЫРЬЕВЫЕ КОМПОНЕНТЫ И ДОБАВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛАСТМАСС

3.1. Характеристика пластмасс

Пластмассы – относительно новый вид материалов. Это объясняется тем, что промышленное производство основных видов полимеров – полиэтилена, поливинилхлорида и других – началось только в середине XX в. Однако благодаря комплексу ценных эксплуатационных свойств и высокой технологичности пластмассы прочно заняли своё место в ряду эффективных строительных материалов. Достоинствами пластмасс является малая плотность (1000 кг/м^3 и менее), водостойкость, водонепроницаемость, универсальная химическая стойкость, низкая теплопроводность, высокие электроизоляционные свойства, гигиеничность и декоративность. Специальные виды пластмасс имеют очень высокую прочность, сравнимую с прочностью стали, или чрезвычайно малую плотность ($10\text{--}50 \text{ кг/м}^3$) и т. д. Пластмассы легко обрабатываются (режутся, сверлятся), хорошо склеиваются и свариваются как между собой, так и с другими материалами. Важно отметить относительную простоту получения готовых материалов и изделий из пластмасс, а также высокую степень готовности самих изделий.

Наряду с положительными свойствами, пластмассы в качестве строительных материалов имеют и существенные недостатки:

- низкую теплостойкость, поскольку для большинства пластмасс предельная температура применения $100\text{--}150 \text{ }^\circ\text{C}$, а некоторые из них начинают размягчаться уже при температуре $60\text{--}80 \text{ }^\circ\text{C}$. При дальнейшем повышении температуры большинство пластмасс горит;

- ползучесть – способность под действием длительных нагрузок даже при нормальной температуре постепенно деформироваться;

- склонность к старению, т. е. при длительном воздействии солнечных лучей и кислорода воздуха происходит необратимое изменение свойств пластмасс (прочности, эластичности, цвета).

Кроме того, к недостаткам можно отнести высокий коэффициент температурного расширения, токсичность некоторых полимерных связующих.

Пластмассы представляют собой сложные по составу системы на основе природных или синтетических полимеров. Свойства систем определяются видом, количеством и соотношением компонентов.

3.2. Сырьевые компоненты пластмасс

Основным и обязательным компонентом пластмасс в качестве связующего являются все разновидности полимеров (термопластичные, термореактивные, олигомеры, полимеры, сополимеры и т. д.). В большинстве случаев полимер объединяет компоненты в единое целое и играет роль связующего, аналогично цементу в бетонах. В редких случаях лишь некоторые строительные пластмассы полностью состоят из одного полимера (например, органическое стекло, состоящее из полиметилметакрилата, и т. д.). От вида полимера, его свойств и количества зависят основные термодформационные и технологические свойства пластмасс.

Кроме того, в состав большинства пластмасс входят и другие компоненты: наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, пигменты и др. Основные компоненты пластмасс приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Основные компоненты пластмасс

Вид составляющего	Содержание, %
Наполнитель	0–95,0
Пластификатор	0–45,0
Отвердители (для реактопластов)	до 10,0
Смазка	до 2,0
Реологические добавки	до 3,0
Красители и пигменты	до 2,0
Стабилизаторы и ингибиторы	0,1–5,0
Антипирены	до 3,0
Антистатика	до 3,0
Антисептики	до 2,0

Наполнители – это органические и неорганические порошкообразные, зернистые, волокнистые и листовые материалы, вводимые в состав большинства полимерных материалов. Количество наполнителя может составлять от 50 до 90 % объема изделия. Это не только сокращает расход дорогостоящего связующего, но и формирует структуру и свойства полимерного материала. Применяя соответствующий наполнитель, можно улучшать показатели тепло- и звукопроводности, химической стойкости, увеличивать прочность материалов и т. п.

В промышленности полимерных материалов наиболее широкое распространение получили порошкообразные наполнители из талька, мела, слюды, известняков, мрамора, барита, магнезита, каолина, кварцита, пробковая и древесная мука, измельченные отходы производства пластмасс и др. Они придают пластмассам такие ценные свойства, как теплоёмкость, кислотостойкость, повышают твердость, увеличивают долговечность. Их применяют при производстве линолеумов, плиток для покрытия полов и облицовки стен, пленок, полимербетонов, погонажных изделий, различных мастик, клеев.

Зернистые наполнители (главным образом, песок и щебень из плотных и пористых горных пород и искусственных материалов) выполняют в пластмассах в основном ту же роль, что и порошкообразные, но в большей степени, чем последние, снижают усадку и ползучесть полимерных материалов. Они входят в состав плотных и пористых полимерных и полимерцементных бетонов и растворов.

Волокнистые наполнители – минеральное, стеклянное и асбестовое волокно, древесная стружка – повышают прочность, теплостойкость и ударную вязкость пластмасс, снижают хрупкость. Волокнистые наполнители применяют в производстве стеклопластиков, минерало- и стекловатных теплоизоляционных материалов, ДСП и древесно-волокнистых плит (ДВП), линолеумов, гидроизоляционных материалов и др.

К *листовым наполнителям* относятся бумага, ткани (хлопчатобумажная, стеклянная, асбестовая), древесный и стеклянный шпон, асбестовый картон, алюминиевая фольга. Эти материалы позволяют получать высокопрочные полимерные пластмассы (слоистые пластики, трубы и т. д.), которые могут работать как

конструкционные. Листовые наполнители применяют также в производстве сотопластов, санитарно-технического оборудования и ряда других изделий.

Введением наполнителей решают материаловедческие, технологические и технико-экономические задачи, к которым относятся следующие:

- повышение прочностных свойств, в том числе армированием;
- регулирование термдеформационных характеристик;
- придание полимерному материалу специфических свойств (плотность или пористость, электропроводность);
- регулирование технологических свойств;
- придание декоративных свойств;
- снижение стоимости за счет использования дешевых разновидностей наполнителей.

Требования к наполнителям:

- хорошая смачиваемость жидким полимером;
- способность совмещаться с полимером с образованием однородной массы;
- неизменность свойств при хранении и переработке;
- минимальная стоимость.

Из *органических* дисперсных наполнителей наибольшее распространение получила *древесная мука*, представляющая собой тонкоизмельченную и высушенную древесину волокнистой структуры. Размеры ее частиц составляют менее 100 мкм, насыпная плотность – 150 кг/м³. Достоинство – низкая стоимость, хорошая пропитываемость растворами; недостаток – невысокая химическая и тепловая стойкость, гидро-фильность.

Из *неорганических* тонко- и среднedisперсных наполнителей наибольшее распространение получили сажа, мел, каолин и природный диоксид кремния.

Сажа используется в качестве эффективного структурирующего наполнителя ПЭНП, ПВХ, ПЭВП, ПП, ФФП, эпоксидных смол. Введение сажи способствует долговечности изделий, повышает их сопротивление светостарению.

Мел в виде тонко- и среднedisперсных фракций широко используется для наполнения полиолефинов и поливинилхлоридов.

В количестве до 20 % его вводят в полипропилен. Недостаток мела – гидрофильность и наличие кристаллизационной воды.

Каолин с размером частиц до 1 мкм используют в качестве структурирующей добавки светопрозрачных полимеров, а тонкодисперсную фракцию – для наполнения ПЭНП, ПЭВП, линейного ПЭНП, ПВХ.

Асбест – продолжают применять для наполнения термо- и, значительно шире, реактопластов. Он повышает прочность пластмасс, увеличивает их сопротивляемость старению и горению. В качестве антипиренов используют также сульфаты бария и кальция.

Зернистые наполнители морфологически представляют собой полые сферы, чешуйки, листочки размером до нескольких миллиметров. В отдельных случаях оказывают армирующее действие. Чаще зернистые наполнители применяют для придания пластмассам специальных свойств (светоотражающих).

Волокнистые наполнители по ассортименту существенно уступают дисперсным. Наиболее распространенными среди волокнистых наполнителей являются стекловолокна, углеволокна, хлопчатобумажное и синтетические волокна, а также побочные продукты их производства, и моноволокна в виде монокристаллов.

3.3. Добавки к пластмассам

Пластификаторами называют низкомолекулярные органические вещества, которые, будучи введенными в полимер на стадии его приготовления, уменьшают взаимодействие между соседними макромолекулами. Отсюда следует ряд условий, которым должен соответствовать пластификатор:

- термодинамическая совместимость с полимером, обеспечивающая образование истинного раствора пластификатора в полимере;

- нелетучесть;

- отсутствие выпотевания из полимерной матрицы;

- химическая стойкость;

- температура разложения пластификатора не должна быть ниже температуры переработки полимера.

Пластификаторы применяют для придания пластмассе большей пластичности при нормальной температуре, облегчают переработку их, снижая температуру перехода полимера в вязкотекучее состояние. В большинстве случаев – это малолетучие жидкости, представленные сложными эфирами спиртов и кислот (дибутилфталат, диоктилфталат и др.), камфара, касторовое масло, глицерин. Кроме того, применяют кубовые остатки синтетических жирных кислот (СЖК), веретенное, сланцевое, соевое масла, мазут, нефтяные битумы. В зависимости от состава композиции, свойств полимера, изготавливаемого материала и пластификатора содержание последнего может колебаться в пределах от 5 до 20 %.

Смазки служат для предотвращения прилипания полимерных композиций в период формования из них изделий к деталям технологического оборудования. Они также уменьшают внутреннее трение смесей и тем самым облегчают их переработку. В качестве смазывающих веществ применяют стеарин, парафин, олеиновую кислоту, стеараты кальция, магния, цинка, а также эмульсии воска. Необходимая смазка выбирается в каждом конкретном случае в зависимости от вида и свойств получаемого материала или изделия, вида полимера, состава полимерной композиции и технологии ее переработки.

Вещества этой группы входят в рецептурный состав пластических масс и смешиваются с другими компонентами непосредственно перед переработкой в изделия. Смазки необходимы для предотвращения прилипания изделия к поверхности формирующего инструмента. При остывании расплава смазки мигрируют к поверхности изделия, образуя защитный антиадгезионный слой.

В качестве *смазок* используют, чаще всего, стеараты кальция или цинка, парафины, силиконы.

Для снижения вязкости расплавов служат полиэтиленовые воски, олеиновая или стеариновая кислоты и стеараты.

Пигменты представляют собой тонкодисперсные порошки, как правило, неорганических нерастворимых красящих продуктов. В производстве полимерных материалов применяют как минеральные пигменты (белила, охра, ультрамарин, сажу и др.), так и органические (лак оранжевый, лак рубиновый и др.). Красящие вещества должны иметь яркие цвета, не изменяющиеся под дей-

ствием высоких температур в процессе переработки композиции в изделия. Необходимо, чтобы они не разрушались в результате взаимодействия с полимерами, пластификаторами, стабилизаторами и другими составляющими. Пигменты должны обладать химической стойкостью и не выступать на поверхность окрашенного материала.

Минеральные пигменты выполняют одновременно и роль наполнителя. Они, подобно дисперсным наполнителям, образуют с полимером *гетерофазную* систему, а также повышают стойкость материала против возгорания.

В композиции пигменты могут вводиться в состав полимерного материала при его приготовлении в виде порошка или в заранее приготовленную смесь с небольшим количеством пластификатора (пигментная паста) непосредственно перед его переработкой. В качестве пигментов используют диоксид титана, оксид цинка и хрома, кадмий, кобальт, оксиды железа. Количество порошковых пигментов в полимерном материале может достигать 2–5 % и, следовательно, они влияют на физико-механические свойства материала.

В качестве *красителей* используют сложные органические соединения, растворяющиеся в полимерах. Красители вводят в расплав полимера, как правило, перед его грануляцией. Благодаря высокой красящей способности их содержание в полимерах невелико и составляет 0,01–1,0 %, вследствие чего они не оказывают сколько-нибудь заметного влияния на физико-механические свойства, определяя, главным образом, светопропускание.

Свойства полимерных материалов изменяются под влиянием внешних энергетических воздействий. При переработке из расплава на полимер воздействует внешнее тепловое поле и сдвиговые напряжения, при эксплуатации изделий – механические статические и переменные напряжения, световая радиация, возможно воздействие химически активной среды, в том числе кислорода воздуха. Все эти факторы приводят к ухудшению свойств полимеров и в ряде случаев – к утрате изделиями из пластмасс своих по-

требительских качеств. Процесс ухудшения физических свойств полимерных материалов принято называть старением.

Причиной старения является деструкция макромолекул с последующим изменением физической структуры полимера. Таким образом, в полимере одновременно протекают два процесса – деструкция макроцепей с образованием свободных радикалов и структурирование в результате взаимодействия радикалов с концами и фрагментами макромолекул. Для предотвращения развивающихся процессов деструкции в состав пластмасс вводятся стабилизаторы.

Стабилизаторы – вещества, предотвращающие старение пластмасс. Различают термо- и светостабилизаторы. Для снижения разложения полимера под действием повышенных температур в процессе изготовления изделий вводят *термостабилизаторы* или *ингибиторы*. Они реагируют с образующимися свободными радикалами и предотвращают дальнейшее структурирование полимера. К ним относят свинцовые (карбонат или фосфат свинца, свинцовый гнет или сурик) и натриевые (силикат или фосфат натрия) соединения, меламин, производные мочевины. *Светостабилизаторы* защищают полимеры от старения под действием солнечной радиации. Поскольку ультрафиолетовое излучение особенно губительно действует на полимеры, то в состав светостабилизаторов вводят УФ-абсорберы, поглощающие соответствующую часть солнечного спектра. К ним относятся окись цинка, газовая сажа, производные фенолов.

Стабилизаторы выбирают в каждом конкретном случае с учетом состава композиции, вида полимера и режима переработки, условий эксплуатации материала или изделий.

Антиоксиданты предотвращают или уменьшают термическую или термоокислительную деструкцию. Используются для повышения термостабильности расплавов полимеров.

Отвердителями принято называть органические вещества, которые при введении их в олигомеры вступают с ними в химическую реакцию, приводящую к образованию пространственной

макромолекулярной сетки. При этом термопластичный в исходном состоянии олигомер превращается в жесткий сетчатый терморезактивный продукт. В результате химической реакции взаимодействия олигомера с отвердителем изменяется физическое состояние системы (олигомер + отвердитель) и она становится химически определенным твердым телом.

Отвердители предназначаются для перевода полимера из вязкого в твердое или в нерастворимое состояние. Так как химический состав различных полимеров неодинаков, то и для отверждения применяют разные отвердители.

Например, для карбамидоформальдегидного полимера применяют щавелевую, соляную и фосфорную кислоты, а также некоторые соли – хлористый аммоний, хлористый цинк. Для фенолоформальдегидных полимеров – уротропин, для эпоксидных полимеров – амины (этилендиамин, гексаметилендиамин) и др. Наряду с отвердителями, могут применяться также ускорители отверждения (ускорители-катализаторы).

Выпускаемые промышленностью полимеры являются диэлектриками. При изготовлении и эксплуатации изделий из полимеров на их поверхности возникают и накапливаются электрические заряды. Для предотвращения этого явления используются следующие основные приемы:

- введение различных антистатических поверхностно-активных веществ (ПАВ), уменьшающих поверхностное сопротивление. Содержание вводимых антистатиков, как правило, не превышает 2 %;

- введение в полимерную матрицу электропроводящих наполнителей. Ими могут служить как металлы, так и их соединения (серебро, никель, медь). Требования к таким наполнителям – оптимальная дисперсность и отсутствие оксидной пленки на поверхности частиц.

Количество электропроводящих наполнителей и их распределение в полимерной матрице должны обеспечить образование в композите токопроводящих мостиков.

Антисептики предотвращают развитие в полимерных материалах различных микроорганизмов, что особенно важно для изделий медико-биологического, пищевого назначения, а также для

изделий, эксплуатирующихся в условиях тропического климата. В качестве антисептиков используют органические соединения олова, меркаптаны, кремнефтористый натрий, тетрациклин, низин, ионы металлов.

Антирады служат для повышения сопротивления полимерного материала ионизирующему, а также космическому излучению. В качестве антирадов используют ароматические углеводороды, фенолы, амины и другие вещества, способные диссонируют эти виды излучений, трансформируя их в тепло или в энергию флюоресценции.

Антипирены – вещества, повышающие стойкость полимерных материалов против возгорания. Для этой цели применяются борная кислота, фосфорно- и серноокислый аммоний, пиритные огарки и др. Обладают такой способностью минеральные наполнители и пигменты, некоторые пластификаторы (например, хлорпарафин). Антипирены препятствуют горению полимерных материалов и относятся к важнейшим компонентам пластмасс. Для снижения горючести применяют трехокись сурьмы, хлорпарафины, хлорэндиковую кислоту, эфиры фосфорных кислот, борат цинка.

Порообразователи – вещества, используемые в производстве ячеистых пластмасс: пенопластов и поропластов. Различают две группы порообразователей: газообразователи и пенообразователи. Газообразователи могут быть твердыми, жидкими и газообразными.

Твердые газообразователи (порофор 4×3-51, карбонат аммония, бикарбонат натрия и др.) при повышенных температурах разлагаются с выделением газов (азота, аммиака и др.).

Жидкие газообразователи (изопентан, фреон, бензол, ксилол и др.) вспенивают композиции в процессе их кипения.

Газообразные порообразователи под давлением насыщают размягченную полимерную композицию, которая вспенивается при последующем снижении давления и повышении температуры. Газообразными порообразователями служат преимущественно воздух, азот и инертные газы.

В качестве *пенообразователей* применяют керосиновый контакт Петрова, сапонин, желатин, соли жирных кислот и др.

4. СВОЙСТВА ПЛАСТМАСС

Свойства пластмасс обусловлены химическим строением полимеров, типом наполнителя, условиями изготовления, содержанием добавок и другими факторами. Многообразие пластмасс определяет и широкий диапазон изменения их свойств. Вместе с тем для пластмасс характерен и ряд общих особенностей, определяемых их составом и структурой.

Истинная плотность пластмасс обычно составляет 1000–2200 кг/м³, т. е. в 1,5–2 раза меньше, чем у каменных материалов.

Средняя плотность колеблется в больших пределах: от 10–20 кг/м³ (мипора) до 2200 кг/м³ (полимербетоны плотной структуры). Наибольшее влияние на среднюю плотность пластмасс оказывают наполнители, которые составляют значительную часть их объема. Среднюю плотность можно регулировать, изменяя их пористость.

Пористость полимерных строительных материалов может находиться от десятых долей процента (например, органическое стекло, винипласт, полиэтиленовые пленки) до 0,5–98 % (отдельные виды пенопластов). Одни и те же виды пластмасс могут иметь различную пористость, т. е. процесс получения пористой структуры регулируется.

Водопоглощение пластмасс очень мало и не превышает для плотных пластмасс 1 %. Большинство пластмасс обладает значительной водостойкостью, наименьшим водопоглощением (0,1–0,5 %) обладают гидрофобные с плотной структурой полимерные материалы: пленки полиэтиленовые и поливинилхлоридные, винипласт, органическое стекло. У других плотных пластмасс и у включающих гидрофильные компоненты поливинилхлоридных линолеумов оно составляет 0,6–5 %. Водопоглощение высокопористых ДСП, содержащих гидрофильный наполнитель, составляет 30–50 %.

Теплостойкость большинства пластмасс невысока (100–200 °С), но отдельные виды пластмасс (фторопласт, кремнийорганические полимеры) выдерживают нагрев до 300–350 °С.

Теплопроводность (0,23–0,70 Вт/(м·°С) пластмасс низкая, а у газонаполненных пластмасс она близка к теплопроводности

воздуха. Отличительной особенностью пластмасс является высокий (в 5–10 раз выше, чем у других строительных материалов) коэффициент теплового расширения. Это необходимо учитывать при использовании пластмасс, особенно в сочетании с другими материалами. Пластмассы – хорошие диэлектрики. Это позволяет широко применять их для устройства электропроводки и специального оборудования. Однако для них характерна способность накапливать электростатический заряд на поверхности, что оказывает вредное воздействие на организм человека. Снизить аккумуляцию статического электричества можно введением в их состав электропроводящих наполнителей, обработкой поверхности антистатическими агентами, поддержанием относительной влажности помещений на уровне не ниже 50 %.

Горючесть – один из недостатков пластмасс. Она зависит, прежде всего, от свойств входящих в них полимеров. По степени пожароопасности полимерные материалы подразделяются на следующие группы: легковоспламеняющиеся, горючие, трудно-воспламеняющиеся и негорючие. Повышают стойкость полимерных материалов минеральные наполнители и пигменты, пластификаторы типа хлорпарафина. Основным же способом снижения горючести – введение антипиренов.

Прочность пластмасс обычно высокая, например, предел прочности при сжатии стеклопластиков достигает до 350 МПа, текстолита до 250 МПа. Характерная особенность пластмасс заключается в том, что, наряду с высокой прочностью при сжатии, они часто имеют не менее высокие показатели прочности при растяжении и изгибе. Так, предел прочности при изгибе стеклопластиков достигает до 550 МПа.

Ползучесть пластмасс гораздо больше, чем у металлов, древесины, бетонов и других материалов, подверженных такого рода деформациям. Особенно она возрастает с увеличением температуры. Повышенная ползучесть ограничивает применение пластмасс в качестве конструкционных материалов. Введение наполнителей в состав полимерного материала снижает его ползучесть.

Твердость пластмасс сравнительно невысокая, несмотря на высокую их прочность, и она значительно ниже, чем у большинства металлов и каменных материалов, но в отличие от других

материалов при пониженной твердости полимерные строительные изделия обладают низкой истираемостью.

Сопротивление истиранию пластмасс возрастает по мере увеличения их эластичности. Низкая истираемость особенно ценна при использовании этих материалов для покрытия полов.

Химическая стойкость – важная особенность пластмасс, которая зависит не только от полимера, но и от наполнителя, пластификатора и других компонентов. Химическая стойкость пластмасс дает возможность использовать их для защиты от коррозии строительных конструкций в воде, растворах солей, кислот и других агрессивных средах. Однако многие пластмассы растворяются или набухают в органических растворителях. Для каждой пластмассы характерна своя группа растворителей, имеющих родственную к полимеру природу.

Одним из решающих показателей, определяющих целесообразность применения полимерных материалов, как и других материалов, является их долговечность. Полимерные материалы, в целом, можно отнести к долговечным при правильно выбранной технологии их изготовления и соответствии условий эксплуатации их свойствам. Необходимость ремонта и замены полимерных материалов возникает из-за старения связующего, изменения линейных размеров, потери декоративных свойств. Для обеспечения высокой стойкости полимеров к старению важное значение имеют правильный выбор исходного сырья, чистоты его, технологических параметров производства. Особое значение имеют добавки-стабилизаторы.

Из других свойств полимерных материалов можно выделить биостойкость, санитарно-гигиенические свойства, декоративность, технологичность, обрабатываемость.

5. АРМИРОВАННЫЕ ПЛАСТМАССЫ

5.1. Применение армированных пластмасс

Армированные, т. е. укрепленные, усиленные пластмассы, являются гетерофазными системами, состоящими из волокнистого наполнителя и полимерного связующего. Непрерывные волокна усиливают ряд свойств полимера. Прежде всего, армирование повышает прочность, а также придает полимерным материалам некоторые особые качества: увеличенную электро- или теплопроводность, теплостойкость, вибродемпфирующие или радиотехнические свойства, размерную стабильность изделий и др.

Волокнистые высокопрочные пластики широко применяются в изделиях, эксплуатируемых в экстремальных условиях (аэрокосмические системы, скоростной подземный транспорт, судостроение, автомобильная промышленность, спортивная техника).

В качестве связующего в армированных пластмассах применяют главным образом *термореактивные полимеры* и в меньшей степени – *термопластичные полимеры*.

5.2. Особенности процесса армирования

Армирующими волокнистыми наполнителями могут быть элементарные волокна и состоящие из них пряжи, жгуты, нити, шнуры, ленты, ткани различной структуры, войлокоподобные материалы и принципиально сходные с ними бумага и картон. Соответственно, в зависимости от природы волокон, различают стекло-, угле-, органо-, асбопластики и др.

Поскольку прочностные и особые характеристики армированных пластиков определяются свойствами прежде всего волокнистых наполнителей, то в таких материалах изменяется роль полимерной составляющей.

Назначением полимерного связующего становится равномерная передача внешнего энергетического поля (механическое, электромагнитное, тепловое, акустическое) на все волокна, составляющие пластик. Это диктует особые требования, которые и

являются причиной выделения армированных материалов в самостоятельную группу.

Прочность связи «полимер–волокно» лежит в основе главных свойств таких пластиков. Она определяется смачивающей или пропитывающей способностью связующего, адгезией связующего к волокну, усадкой полимерной составляющей при ее отверждении (реактопласты) или затвердевании (термопласты), возможностью химического взаимодействия связующего и наполнителя, значением коэффициента объемного расширения компонентов пластика, относительной деформацией волокна и полимера под действием приложенной механической нагрузки.

Высокая смачивающая способность связующего по отношению к наполнителю определяет условия для их предельного контакта. Каждое элементарное волокно должно быть покрыто слоем связующего, что обеспечивает равномерную нагруженность наполнителя внешним энергетическим полем и монолитность пластика. Смачивающая и пропитывающая способность также зависит от состояния поверхности волокна, наличия на ней аппретов или других веществ, от ее микрорельефа, вязкости пропитывающего состава, свойств растворителя, сорбционных свойств волокна и капиллярных особенностей конкретной ткани.

Адгезионное взаимодействие пары «волокно–связующее» определяет такое важнейшее свойство, как прочность и характер разрушения пластика, которые могут определяться либо свойствами волокна, либо полимера.

Относительная деформация связующего должна быть не ниже аналогичного параметра волокна. В противном случае, при деформации пластика под действием нагрузки происходит нарушение адгезионного взаимодействия с разрушением полимерной составляющей.

Усадка при отверждении полимерной составляющей является причиной возникновения напряжения сжатия на границе с волокном. Если усадка значительна, а жесткость полимера велика, то такие напряжения могут стать причиной образования микротрещин, расслоений и даже деформации волокна.

Большое влияние на прочность адгезионной связи наполнителя со связующим оказывает тепловое расширение компонентов

системы, зависящее как от свойств полимера, так и от значения температуры.

Удаление с поверхности волокон аппретов, замазливателей, воска и термохимическая обработка способствуют усилению свойств армированного пластика.

5.3. Разновидности наполнителей

Основные промышленные виды волокон – *стеклянные* и *углеродные*. Они впускаются, главным образом, круглого сечения диаметром 1–20 мкм. Для отдельных случаев могут применяться волокно треугольного, ромбического, квадратного, эллипсоидного и других сечений.

Использование армирующих волокон в виде жгутов, ровинга, тканей, лент, шнуров и войлока (матов) позволяет многократно ускорить и усовершенствовать технологический процесс производства высокопрочных изделий.

Жгуты и *ровинги* применяются для изготовления тканей, лент, однонаправленных пластиков, профильных и намоточных изделий.

Войлок (маты) состоит из хаотически расположенных жгутов. Механическую гибкость войлоку придает поперечная прошивка. Такой войлок называется матом. Маты лучше пропитываются смолами, применяются для производства многопрофильных изделий.

Ленты состоят из ориентированных в одном направлении волокон, нитей, шнуров, объединенных редкими поперечными нитями. Как правило, ленты изготавливают из жестких высокопрочных и высокомодульных волокон и применяют их для производства изделий методом намотки.

Ткани различают по характеру плетения, толщине, типу и диаметру нитей, их плотности по утку и основе. От схемы плетения ткани зависит прочность материала в продольном и поперечном направлении, а также его гибкость. Чаще других применяются полотняное, сатиновое и саржевое плетение тканей из непре-

рывных волокон (рис. 5.1). В ткани полотняного плетения и уток, и основа переплетаются через одну нить, в продольном и поперечном направлении они являются равнопрочными (рис. 5.1, *а*), в саржевом плетении уток и основа переплетаются через 2 или 3 нити (рис. 5.1, *в*, *г*), сатиновое плетение имеет от 4 до 8 нитей основы (рис. 5.1, *б*).

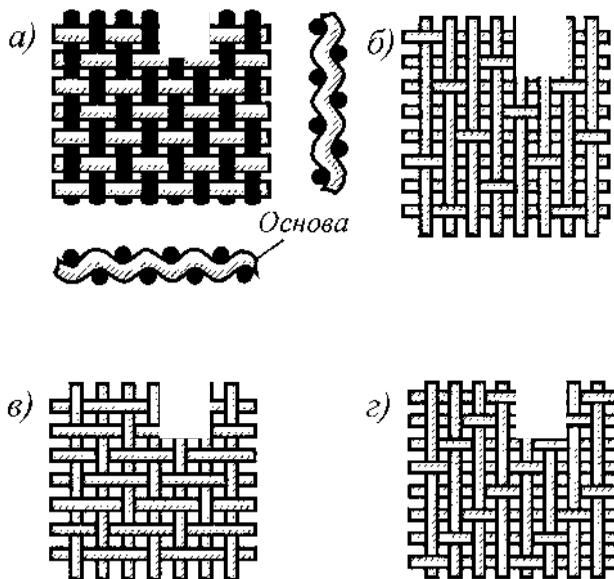


Рис. 5.1. Виды переплетения тканей:
а – полотняное; *б* – сатиновое; *в* и *г* – саржевое

Волокна из неорганических материалов весьма чувствительны к изгибным деформациям, поэтому для уменьшения их повреждения в процессе текстильной переработки используют различные аппреты, наносимые на поверхность волокон, например парафиновую эмульсию.

5.4. Типы структур армирования

Под типом структур армирования понимается расположение усиливающего наполнителя в материале, отражающее в определенной степени его морфологию. Различают армирование одно-

направленное (рис. 5.2, *а*), образованное наполнителем в виде волокон, прядей, нитей, жгутов, ориентированных относительно одной из пространственных осей.

Армирование в двух направлениях, или плоскостное (рис. 5.2, *б*), достигается укладкой тканых видов наполнителя, а также однонаправленных (рис. 5.2, *а*) с послойным изменением направления укладки на перпендикулярное.

Структура армирования в трех направлениях достигается либо созданием каркасной или сотовой конструкции наполнителя (рис. 5.2 *в*), либо использованием волокнистых наполнителей войлочной морфологии (рис. 5.2, *г*). Возможны и комбинированные структуры, совмещающие особенности схем (рис. 5.2, *а* и *г*).

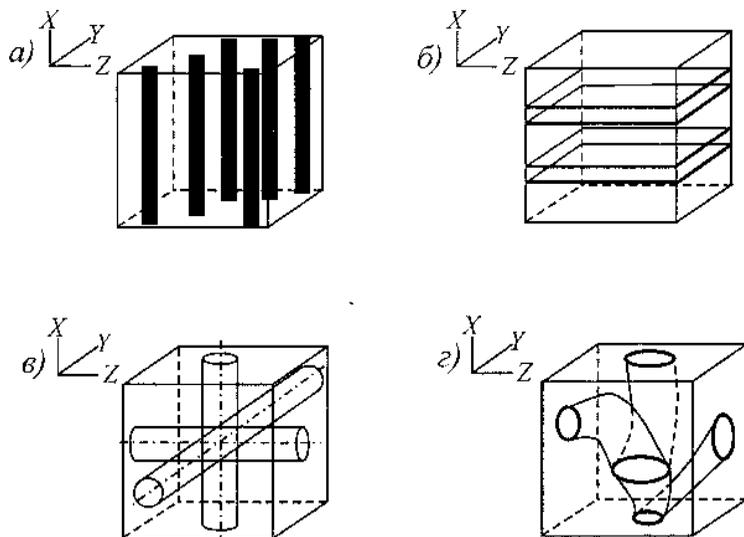


Рис. 5.2. Схемы структур армирования:
а – однонаправленное; *б* – в двух направлениях; *в* – в трех направлениях;
г – взаимно непрерывное в трех направлениях

Армирование в двух направлениях является, пожалуй, наиболее распространенным. Так получают различные листовые слоистые пластики – текстолиты, гетинаксы, намоточные изделия и др. Технология слоистых пластиков применяется и для получения

гибридных изделий – фольгированного текстолита, стекло- и углепластиковых труб, металло-, угле- и стеклопластиковых оболочек.

5.5. Основные особенности технологии

Особенности технологии определяются тем, что в большинстве случаев, за исключением производства листовых материалов, получение армированного пластика технологически совпадает с производством изделий из него. Из полуфабриката в виде наполнителя, пропитанного не отверждённым связующим тем или иным методом, получают заготовку изделия, которая затем в результате химической реакции отверждения или в результате затвердевания при охлаждении приобретает свойства высокопрочного армированного пластика. Качество пропитки наполнителя связующим в решающей мере определяет свойства получаемого материала и изделия.

Различают два основных метода пропитки, условно называемые «мокрым» и «сухим».

«Мокрый» метод включает пропитку волокна жидким олигомером или полимером непосредственно перед оформлением заготовки

изделия. Стоимость производства продукции по «мокрой» технологии примерно втрое ниже, чем при «сухой». Кроме того, обеспечивается высокая монолитность и газонепроницаемость изделий. Однако и недостатков у этого метода немало. Основные из них: не все олигомеры и полимеры можно перевести в текучее состояние с вязкостью, достаточной для осуществления процесса пропитки; сам процесс сопровождается значительными технологическими потерями смолы и полимера; невозможно точно контролировать количество связующего, нанесенного на наполнитель, в том числе в различных частях получаемой заготовки изделия.

По «сухой» технологии сначала изготавливают полуфабрикат пропиткой наполнителя раствором связующего (лаком) с последующей его сушкой для удаления растворителя. Затем сухой полуфабрикат (препрег) перерабатывают в заготовку изделия,

которую далее термообработывают при температуре, превышающей точку плавления связующего.

Основными недостатками «сухого» метода являются сложность полного удаления растворителя и препрега; невысокая плотность намотки. Оба недостатка приводят к снижению прочности и монолитности армированного пластика и изделий. Вместе с тем «сухой» метод обладает и существенными достоинствами. Это универсальность по используемым связующим, упрощение варьирования состава связующего, точное дозирование его нанесения на наполнитель, отделение процесса пропитки от производства изделия, возможность использования высокопроизводительных методов получения препрега, существенное улучшение санитарных условий производства.

Методы изготовления изделий из армированных пластиков весьма разнообразны по аппаратурно-технологическому оформлению и зависят от формы и размеров изделия, типа волокнистого наполнителя и связующего. Все методы формования изделий из армированных пластиков могут быть в самом общем виде разделены на открытые и закрытые.

К открытым относятся методы контактного формования, напыления, намотки, центробежного формования и ряд других, представляющих собой разновидности перечисленных. В этих методах используется одна формообразующая поверхность. Вследствие этого значительно затруднен контроль за получением заданного объемного содержания волокнистого наполнителя в композиции, так как толщина стенки изделия является функцией ряда параметров, к числу которых относится вязкость связующего, упругость волокнистого наполнителя, конструктивные особенности устройств, используемых для локального уплотнения наполнителя и др. Дополнительное уплотнение свободной поверхности изделий, формируемых открытым способом, позволяет повысить стабильность технологии и улучшить их качество.

К закрытым методам относятся прессование, инжекционное формование, протяжка. Вся поверхность изделия формируется в контакте с соответствующими элементами формы. Как правило, при закрытом формовании не требуется дополнительной обработки поверхности изделий и достигается значительно более высокая точность толщины стенок.

Вид и свойства армирующего наполнителя в значительной степени определяют выбор метода формования изделий. При формировании изделий из армированных пластиков волокнистый наполнитель, как правило, малоподвижен, а связующее обладает хорошей текучестью. Это требует внимательного подхода к выбору давления формования. При использовании связующих, не выделяющих летучие продукты на стадии отверждения, давление формования будет определяться только деформативными свойствами волокнистой заготовки, т. е. степенью ее уплотнения.

При использовании же связующих, отверждающихся по поликонденсационному механизму с выделением газообразных и жидких продуктов реакции, давление формования следует выбирать с учетом интенсивности этого явления на разных стадиях процесса во времени, а также с учетом возможного давления, возникающего в результате этих выделений в замкнутой форме или в форме, конструкция которой обеспечивает удаление только части летучих продуктов отверждения. Кроме того, конструкция формы должна обеспечить стабильность размеров изделия под действием давления продуктов реакции, выделившихся при нагреве, с тем, чтобы обеспечить формование изделий.

6. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ ПЛАСТМАСС

6.1. Способы изготовления материалов и изделий из пластмасс

Изготовление полимерных материалов и изделий включает подготовку сырьевых компонентов, их дозирование, перемешивание, формование и стабилизацию.

Полимерные материалы и изделия изготавливают следующими способами: каландрированием, экструзией, литьем под давлением, термоформованием, свариванием, склеиванием, промазным способом.

Выбор метода в каждом конкретном случае определяется видом и свойствами изготавливаемого материала, составом композиции, свойствами входящего в неё полимера.

При *вальцевании (каландрировании)* изделие формуют в зазоре между вращающимися валками специальной машины-каландра. Подготовленная композиция подаётся в зазор между двумя верхними валками. Проходя последовательно через зазоры каландра, она освобождается от воздуха, окончательно уплотняется, пластифицируется и выходит в виде непрерывной ленты требуемого сечения. *Каландрирование* – один наиболее широко распространенных методов переработки термопластичных композиций. Им пользуются при изготовлении поливинилхлоридного и резинового линолеумов, поливинилхлоридных и кумароновых плиток для полов, полиэтиленовой и поливинилхлоридной пленок, листов из полиизобутилена и других полимерных материалов.

При *экструзии* изделиям придают определенный профиль, продавливая термопластичную полимерную композицию, находящуюся в вязкотекучем состоянии, сквозь формирующую головку экструдера. Процесс изготовления изделий экструдером сводится к следующему. Полимерная композиция в виде гранул (чаще всего) непрерывной ленты или порошка через загрузочный бункер поступает в цилиндр экструдера, захватывается шнеком и продвигается к формирующей головке. При прохождении вдоль цилиндра материал постепенно нагревается, гомогенизируется и переходит в вязкотекучее состояние. Затем он продавливается сквозь формирующую головку, из которой выходит в виде изделия заданного профи-

ля. Скорость выхода изделия колеблется от 0,5 до 15 м/мин. Методом экструзии изготавливают линолеумы, погонажные изделия, пленки, трубы, листовой винипласт; полипропилен и ударопрочный полистирол. Этим же методом можно осуществлять гранулирование полимерных композиций.

Литье под давлением – это процесс формования изделий из термопластичной полимерной композиции, доведенной до вязкотекучего состояния, инъекцией в форму. Порция расплавленной массы, получаемой в литьевых машинах, под давлением впрыскивается в форму, где охлаждается и быстро затвердевает. Процесс производства изделий автоматизирован. Методом литья под давлением изготавливают полистирольные плитки для облицовки стен, вентиляционные решетки, соединительные детали для труб, дверные ручки и некоторые другие изделия.

Термоформование пластмасс производят вакуумным и пневматическим методами. При вакуумном термоформовании изделия формируют на специальных вакуум-формовочных машинах или установках, которые в зависимости от вида применяемых форм могут работать по негативному или позитивному принципу. При негативном формовании листовую заготовку укладывают на форму, плотно прижимают по периметру и нагревают до пластического состояния. Через каналы в форме откачивают воздух, находящийся в её полости. Атмосферным давлением заготовка плотно прижимается к форме и приобретает её конфигурацию. После непродолжительной выдержки под вакуумом и охлаждения холодным воздухом готовое изделие вынимают из формы.

В процессе позитивного формования листовую заготовку зажимают в раме, расположенной над формой и также нагревают. Затем форма поднимается вверх, деформируя при этом заготовку. Воздух, оставшийся между заготовкой и формой, откачивают. Как и при негативном формовании, заготовка под влиянием атмосферного давления плотно прижимается к поверхности формы. После охлаждения изделия и отключения вакуума форму опускают вниз, а изделие вынимают из рамы. В отличие от вакуумного, при пневмотермоформовании размягченные заготовки превращаются в изделия с помощью сжатого воздуха.

В зависимости от свойств и толщины заготовки продолжительность изготовления изделия составляет 120–240 с. Этим ме-

тодом пользуются при производстве ванн, умывальников, раковин, смывных бачков и других подобных изделий.

Прессованием изготавливают изделия на основе термореактивных полимеров. В зависимости от вида и свойств исходных композиций, получаемого материала или изделия, их прессуют в специальных горячих формах (пресс-формах) или непосредственно между обогреваемыми плитами многоэтажного пресса. При заданных температуре и давлении прессуемый материал выдерживают в течение определенного времени, после чего охлаждают. Например, при формовании древесно-слоистых пластиков на основе фенолоформальдегидного связующего оптимальная температура составляет 145–150 °С, давление 15–16 МПа, время выдержки 240–360 с на единицу давления. Этим способом получают слоистые пластики: древесный и бумажный, текстолит, стеклотекстолит, ДСП и ДВП.

Сварка и склеивание – это процесс образования прочного неразъемного соединения двух или нескольких заготовок термостата. Существует несколько способов сварки: горячим газом, нагретым инструментом, трением, токами высокой частоты и др. *Сварку* применяют для соединения термопластичных пластмасс, а *склеивание* – как для термопластичных, так и термореактивных пластмасс. Клеем для термопластичных масс может быть органический растворитель, который способствует набуханию концов деталей, которые сдавливаются, и происходит их слипание при давлении. Такими методами пользуются для соединения труб, соединительных деталей к ним, при укладке линолеума, различных емкостей и т. п.

Напыление – это способ нанесения на поверхность строительных изделий и конструкций порошкообразных полимеров, которые, расплавляясь, прилипают к ней, а при охлаждении образуют прочную пленку. Напыление создает декоративное, антикоррозийное покрытие.

Реже в производстве полимерных материалов применяют такие методы, как намотка, непрерывное формование, центробежное литье, автоклавное формование.

6.2. Материалы и изделия для полов

Среди различных видов материалов полимерные в наибольшей степени отвечают всем требованиям, предъявляемым к покрытиям полов. Они износостойки, красивы, гигиеничны и технологичны, затраты времени и труда на устройство пола из полимерных материалов значительно (в 5–10 раз) ниже, чем у традиционных материалов.

Для полов применяют рулонные, плиточные полимерные материалы, а также мастики для устройства бесшовных покрытий полов.

Рулонные материалы для полов – это разнообразные виды линолеумов. Впервые линолеум появился в конце XIX в. и представлял собой грубую ткань, покрытую слоем пластической массы на основе высыхающих растительных масел (льняного) и пробковой муки. Эти сырьевые материалы и дали название линолеуму (льняная ткань, масло). В настоящее время подобный линолеум, называемый алкидным или глифталевым, выпускают в ограниченном количестве.

В зависимости от вида применяемого полимера в линолеумах их различают:

- на поливинилхлоридные;
- глифталевые;
- коллоксилиновые;
- резиновые.

По структуре:

- на безосновные;
- тканевой, войлочной или другой подоснове (однослойные и многослойные).

Они могут иметь поверхность:

- окрашенную в различные цвета;
- гладкую, с узором;
- блестящую;
- матовую;
- тисненую.

Поливинилхлоридный линолеум изготавливают тремя (каландровым, промазным, экструзионным) способами. Линолеумы без подосновы формируют *каландровым* и *экструзионным* способами. В многослойном линолеуме в состав массы для лицевого слоя обычно вводится в 2–3 раза больше полимера и соответственно

меньше наполнителей, чем для нижних слоев. При производстве многослойного линолеума получают пленки различного наполнения к окраске, которые затем склеивают на специальных барабанных прессах, где развивается усилие до 0,3–1,5 МПа и температура достигает 170 °С.

При *экструзионном способе* линолеумная масса нагревается, пластифицируется и непрерывно выдавливается сквозь формирующую головку экструдера.

Промазной метод используют в производстве линолеумов на подоснове. При этом методе линолеумную пасту наносят на движущуюся подоснову с последующей термообработкой в камерах с уплотнением на каландрах. В качестве подосновы наиболее часто применяют войлок, льняные, джутовые и другие волокнистые материалы.

ПВХ линолеум выпускают в виде полотнищ шириной 1200–2400 мм, толщиной до 2,1 мм и длиной не менее 12 м. Хранят его в рулонах в вертикальном положении при температуре не ниже 10 °С. Приклеивают линолеум к основанию холодной битумной и другими видами мастик.

Применяется ПВХ линолеум для настилки полов в жилых, общественных и производственных зданиях. Не рекомендуется использовать его в помещениях с повышенным влажностным режимом эксплуатации, а также в условиях воздействия абразивных материалов, жиров и масел.

Глифталевый (алкидный) представляет собой рулонный материал, верхним слоем которого является линолеумная паста, получаемая из фталевого ангидрида, глицерина и модифицирующих добавок, а нижним слоем – джутовая ткань. Изготавливают линолеум *промазным способом*. Для получения так называемого печатного линолеума на лицевую поверхность полотна перед подачей в термокамеру наносят одноцветный или многоцветный рисунок из масляных красок или лаков.

Выпускают линолеум в виде полос длиной 15–30 м, шириной 2000 мм, толщиной 2,5; 3; 4 и 5 мм. Применяют для покрытия полов в помещениях жилых, общественных и производственных зданий, не подвергаемых воздействию абразивных материалов, кислот, щелочей и растворителей. Крепят линолеум к основанию битумной, битумно-каучуковой мастиками, клеем бустилат. Основной

недостаток глифталевого линолеума – повышенная хрупкость, особенно при отрицательных температурах.

Коллоксилиновый линолеум производят однослойным без подосновы из коллоксилина, пластификаторов, наполнителей и пигментов, стабилизаторов и обязательно антипиренов, так как линолеум обладает повышенной возгораемостью. Этот вид линолеума имеет характерный красный или коричневый цвет и обладает высокой гибкостью даже при отрицательных температурах. Его выпускают в рулонах длиной не менее 12 м, шириной 1000–1200 мм и толщиной 2 мм. Коллоксилиновый линолеум укладывают на твердое, гладкое основание на кумаронокаучуковую или коллоксилиновую мастику.

Резиновый линолеум – двух- или трехслойный рулонный материал с гладкой лицевой поверхностью, верхний его слой представляет собой резину, получаемую на основе синтетического каучука, а нижний может быть трех видов: 1 – одинарный резиновый из дробленой, утильной резины и битума; 2 – одинарный или двойной резиновый на основе синтетического каучука и резиновой крошки; 3 – войлочная или пористая подоснова. Длина рулона составляет 12 м, ширина 1000, 1200, 1400, 1600 мм и толщина 3 мм. Резиновый линолеум обладает высокой водостойкостью и химической стойкостью, малыми тепло- и звукопроводностью. Механические свойства его сохраняются в интервале температур от $-2,5$ до $+80$ °С. Применение резинового линолеума особенно рекомендуется в помещениях с повышенным влажностным режимом эксплуатации. Крепят резиновый линолеум к основанию резинобитумной, кумаронокаучуковой и битумной мастиками.

Недостатком резинового линолеума является способность к увеличению линейных размеров, что может служить причиной его вспучивания.

Ворсолин – нетканый двухслойный материал (верхний слой – петельный ворс из синтетической пряжи, нижний – поливинилхлоридная плёночная основа). Ворсолин изготавливают в виде рулонов длиной до 50 м, шириной 1 м и толщиной 5–6 мм. Его применяют для покрытия полов непосредственно по железобетонному или несущему основанию в жилых и общественных

зданиях с повышенными акустическими и теплотехническими требованиями.

Плиточные изделия по сравнению с рулонными обладают рядом преимуществ: более экономичны, так как содержание полимера в них всегда меньше, чем в рулонных, легко заменяются новыми на поврежденных или изношенных участках пола; позволяют подбирать разнообразные по цвету и рисунку покрытия. К недостаткам полимерных плиточных полов относятся большое количество швов, которые снижают долговечность и гигиеничность покрытия, и более высокая трудоемкость настилки по сравнению с рулонным.

Поливинилхлоридные плитки выпускаются без подосновы и на пористой подоснове, одно- и многослойными, полужесткими и гибкими, одноцветными и многоцветными. Форма плиток может быть прямоугольной, квадратной, фигурной; фактура лицевой поверхности – гладкой, рифленой и тисненой. Плитки изготавливают *каландровым* и *экструзионным методом*. После термостабилизации полотно разрезается на продольные полосы роликowymi ножницами и подается на пресс для вырубki плиток. Плитки можно вырубать также из выбракованных кусков линолеума.

Основные размеры плиток: 150 × 150, 200 × 200 и 300 × 300 мм толщиной 2 и 3 мм.

ПВХ плитки используют для покрытия полов в жилых, общественных и производственных зданиях. Их не следует применять в помещениях с систематическим увлажнением, а также в условиях воздействия абразивных материалов, жиров и масел.

Кумароновые плитки выпускаются на основе инденкумаронового полимера, пластификатора, наполнителей и пигментов. Технология их изготовления близка к технологии изготовления ПВХ плиток. Выпускаются плитки с гладкой лицевой поверхностью, толщиной 3 и 5 мм и чаще всего квадратными 200 × 200 мм. Окраска может быть одноцветной и многоцветной (мраморовидной, крапчатой). Применяют кумароновые плитки для покрытия полов в помещениях общественных и производственных зданий. В жилых домах их можно использовать для коридоров и кухонь. Запрещается настилать полы из кумароновых плиток в яслях, детских садах, школах, в зданиях с интенсивным движением и там, где возможно воздействие на плитки масел, жиров, кислот и щелочей, в помещениях с повышенным тепловым и влаж-

ностным режимом эксплуатации. Недостатком кумароновых плиток является повышенная хрупкость.

Из других плиточных материалов можно выделить резиновые и фенолитовые плитки, но они, по сравнению с кумароновыми и особенно поливинилхлоридными, применяются в строительстве реже.

Мастичные материалы – вязкотекучие полимерные составы, наносимые путем полива или распыления на различные основания с последующим отвердеванием. Такие покрытия полов имеют ряд преимуществ перед многими другими: технологичны, отличаются высокой химической стойкостью, достаточной прочностью и износостойкостью, гигиеничны и удобны в эксплуатации. Из полимерных мастичных составов наиболее распространены водные дисперсии поливинилацетата и латексов. Они содержат не менее 50 % полимера и минеральные наполнители.

Необходимая подвижность мастик достигается разбавлением водой. Наносят их на основание пола слоем 0,5–1 см. После затвердевания (обычно 1–3 сут) образуется сплошное бесшовное покрытие.

Поливинилацетатные мастичные полы по сравнению с латексными обладают меньшей водостойкостью, их не рекомендуется применять в производственных помещениях с повышенной влажностью. Высокой водостойкостью и малой истираемостью обладают наливные полы на основе эпоксидно-каучуковых композиций.

Для получения особо устойчивых против истирания покрытий в композиции вводят корунд или наждак, для снижения теплопроводности – древесную или пробковую муку.

6.3. Отделочные материалы из пластмасс

Отделочные материалы из пластмасс по своим декоративным качествам, разнообразию расцветок и рисунков, яркости красок, а также гигиеничности превосходят все другие отделочные материалы. Для внутренней отделки стен и потолков применяют рулонные, листовые и плиточные материалы.

К числу рулонных материалов относятся:

- поливинилхлоридные пленки бесподосновные и подосновные;

- линкруст;
- моющиеся и ворсовые обои.

Пленки поливинилхлоридные представляют собой цветной рулонный материал с печатным рисунком или без него. По свето-пропускной способности различают пленки прозрачные, полупрозрачные и непрозрачные. По фактуре лицевой поверхности – на гладкие и тисненные. По характеру тыльной поверхности – без клеевого и с клеевым слоем.

Для пленок на подоснове применяют в качестве подосновы бумагу, хлопчатобумажную ткань, пенолатекс, пенополивинилхлорид. Изготавливают ПВХ пленки без подосновы вальцово-каландровым и экструзионным способом, а на подоснове – промазным.

Декоративную безосновную пленку применяют в качестве занавесей, штор, драпировок и для обтяжки внутренних стен в зданиях различного назначения. Наклеивают пленки на ровную, хорошо подготовленную поверхность целлюлозным клеем. Пленки с клеевым слоем в дополнительных клеящих материалах не нуждаются.

Подосновные пленки применяют для отделки стен, перегородок, потолков, мебели в жилых и общественных зданиях. Пленки на звукоизолирующей эластичной подоснове используют преимущественно в помещениях с повышенными акустическими требованиями.

Линкруст – материал на бумажной подоснове, лицевой слой которого выполнен из алкидного или поливинилхлоридного полимера.

В качестве наполнителя применяется пробковая или древесная мука. Поверхности нанесенной массы придают тисненую фактуру. Технология изготовления в принципе не отличается от производства алкидного линолеума. Линкруст водостоек, гигиеничен, гниlostоек и достаточно прочен. Применяют линкруст для отделки стен, перегородок, встроенной мебели, а также в железнодорожных вагонах, метро, каютах пароходов. К отделываемой поверхности крепят клеем КМЦ или декстрином, канифольной или кумароновой мастикой.

Моющиеся обои – отделочный материал на бумажной подоснове с лицевой поверхностью, устойчивой против влажного протирания.

Для обработки лицевой поверхности применяют дисперсии синтетических полимеров – поливинилацетатного, полиакрилового, каучуковые латексы, олифу, казеиновый клей, пластификаторы, пигменты, наполнители, лаки. На тыльную сторону обоев, выпускаемых с клеевым слоем, наносят обычно полиизобутиленовый клей.

Лицевая поверхность может быть без рисунка, с простым или сложным рисунком, тисненой и глянцевой. К отделяемым поверхностям обои крепят клейстером из пшеничной муки, декстрином

Полистирольные плитки изготавливают из гранулированного полимера с наполнителями, стабилизаторами методом литья под давлением. Эти плитки легкие (средняя плотность 1070–1100 кг/м³), водостойкие, обладают достаточной химической стойкостью и теплоустойкостью 70 °С. Выпускают квадратными 100 × 100 × 1,25 и 150 × 150 × 1,35 мм, прямоугольными и фризowymi. Фактура лицевой поверхности плиток может быть глянцевой или полуматовой, рифленой.

Плитки используют для облицовки стен и перегородок в зданиях с повышенным влажностным режимом эксплуатации. Из-за высокой горючести их нельзя применять для облицовки элементов зданий, сделанных из сгораемых материалов.

Поливинилхлоридные плитки изготавливают из тех же материалов, что и плитки для полов. Их выпускают квадратными 150 × 150 × 1,0 мм и 500 × 500 × 1,2 мм, одноцветной и многоцветной окраски, с гладкой, рифленой и тисненой лицевой поверхностью.

Применяют для облицовки стен в зданиях с нормальными, влажностными и температурными условиями эксплуатации.

Из листовых материалов получили распространение:

- древесно-слоистый пластик;
- бумажно-слоистый пластик;
- древесно-стружечные плиты.
- древесно-волокнистые плиты.

Декоративный *бумажно-слоистый пластик*, представляет собой материал, который изготавливается методом горячего прессования пакетов из пропитанной полимерами специальной бумаги. Полный пакет-заготовка состоит обычно из пяти слоев:

защитного, декоративного, барьерного, основы и нижнего слоя. Применяемую для декоративного слоя бумагу окрашивают в рисунок, имитирующий ценную породу дерева, камень, ткань.

ДСП – это плиточный материал, изготовленный горячим прессованием древесно-стружечных масс, которые содержат в своем составе полимерные смолы. Древесная стружка – основной по массе компонент. Ее получают из некондиционной древесины лиственных и хвойных пород. Связующим веществом служат карбамидные и полимеры. Кроме того, в состав масс вводят антисептики, антипирены и гидрофобизаторы. Древесно-стружечную массу формируют методом прессования или экструзии. Прессование проводится под давлением 2,0–2,5 МПа и температуре 140–160 °С между стальными лентами.

Выпускают ДСП в виде листов длиной 1000–3000 мм, шириной 600–1600 мм, толщиной 1–5 мм. В зависимости от качества поверхности и физико-механических свойств ДСП выпускают трех марок: А – для применения в условиях, требующих повышенной износостойкости (отделка горизонтальных поверхностей); Б – используемые в менее жестких условиях; В – применяемые в качестве подделочного материала. ДСП применяют для настила полов, облицовки стен и перегородок, изготовления дверных полотен, встроенной мебели.

ДВП выпускают длиной до 3–6 м, шириной до 1800 мм, толщиной от 2,5 (твердые) до 16 мм (мягкие). Применяют ДВП как облицовочный и теплоизоляционный материал для стен и потолков внутренних помещений, для настила полов. Из твердых плит изготавливают мебель.

ДВП получают горячим прессованием древесно-волоконистых масс, которые содержат в своем составе полимерные смолы. Основное сырье для их производства – древесные отходы или низкокачественная неделовая древесина. Древесину в рубильных машинах превращают в щепу, которую пропаривают (температура 150–155 °С и избыточное давление), а затем распаренную и размягченную щепу распушивают на отдельные волокна. Для получения твердых или полутвердых плит сухие полотна укладывают на поддоны и прессуют при давлении 5,5 МПа при температуре 200–210 °С.

Стеклопластики – группа полимерных материалов, в которых наполнителем является стекловолокно. В качестве связующих компонентов для производства стеклопластиков применяют ненасыщенные полиэфирные, эпоксидные, кремнийорганические и фенолоформальдегидные полимеры. Эти полимеры обладают высокой адгезией к стекловолокну, хорошей смачивающей способностью и достаточно быстро отвердевают без выделения летучих продуктов.

Выпускают три разновидности стеклопластиков:

- листовые материалы с ориентированным стекловолокном;
- листовые материалы с рубленным волокном;
- листовые материалы на основе стеклоткани или матов.

Большой интерес представляют стеклопластики с ориентированным волокном типа СВМ (стекловолокнистый анизотропный материал). Его получают путем горячего прессования пакета из листов стеклошпона.

Стеклошпон представляет собой тонкие полотнища однонаправленных стеклянных нитей, склеенных спиртовыми растворами карбамидных, бутваро-фенольных или эпоксидных полимеров.

Склеивание стеклянных волокон производится в момент вытягивания их через фильеры стекловаренной печи. Полимер, обволакивая стеклянные волокна при выходе из фильер, способствует сохранению их первоначальных высоких механических свойств.

Отличительная особенность СВМ – высокая механическая прочность, зависящая от вида и количества связующего, толщины волокон, их расположения. Наибольшей прочностью обладает СВМ, изготовленный из волокон диаметром 14–16 мкм, уложенных в одном направлении. При таком расположении волокон предел прочности СВМ при растяжении достигает 950 МПа, а средняя плотность составляет 1800–2000 кг/м³.

Стеклопластики могут быть прозрачными, полупрозрачными и непрозрачными. Прозрачные и полупрозрачные стеклопластики в виде плоских и волнистых листов используют для ограждений лестниц, балконов, устройства прозрачных перегородок, навесов и оформления малых архитектурных форм.

Древесные слоистые пластики – листовый или плиточный материал, получаемый путем горячего прессования лущеного шпона, пропитанного полимерами (фенолоформальдегидный полимер, бакелитовый лак и др.). Шпон в виде листов толщиной 0,3–1,5 мм получают лущением предварительно распаренных краевой березы, бука, ольхи.

Древесные слоистые пластики в зависимости от порядка укладки шпона выпускают четырех марок: ДСП-А, ДСП-Б, ДСП-В и ДСП-Г. Размеры листов составляют: длина 0,7–5,6 м, ширина 0,95–1,2 м при толщине 1–12 мм, а размеры плит: длина 0,7–5,6 м, ширина 0,7–1,5 м при толщине 35–60 мм.

Древесные слоистые пластики обладают достаточно высокой теплостойкостью, малой теплопроводностью (0,15–0,25 Вт/(м·К)), легко поддаются механической обработке. Их применяют в качестве отделочного и конструкционно-отделочного материала в жилых и общественных зданиях при облицовке стен, перегородок и для подшивки потолков.

Погонажные изделия – плинтусы, рейки, поручни для лестниц, например, поручни из поливинилхлоридной пластифицированной композиции поставляют в бухтах. Для укрепления на металлических перилах поручни разогревают при температуре 50–70 °С в воде до размягчения и насаживают на перила. После остывания поручень плотно охватывает металл. Применение полимерных погонажных изделий позволяет экономить большое количество древесины.

7. ПОЛИМЕРНЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Теплоизоляционными называют строительные материалы, которые обладают малой теплопроводностью и предназначены для тепловой изоляции строительных конструкций жилых, производственных и сельскохозяйственных зданий, поверхностей производственного оборудования и агрегатов (промышленных печей, турбин, трубопроводов, камер холодильников). Эти материалы имеют небольшую среднюю плотность – не выше 600 кг/м^3 , которая достигается повышением пористости.

В строительстве тепловая изоляция позволяет:

- уменьшить толщину ограждающих конструкций;
- снизить расход основных материалов;
- облегчить конструкции и понизить их стоимость;
- уменьшить расход топлива в эксплуатационный период.

В технологическом и энергетическом оборудовании тепловая изоляция:

- снижает потери теплоты;
- обеспечивает необходимый температурный режим;
- снижает удельный расход топлива на единицу продукции;
- оздоравливает условия труда.

По основной теплофизической характеристике – теплопроводности – теплоизоляционные материалы делят на три класса:

- А – малотеплопроводные;
- Б – среднетеплопроводные;
- В – повышенной теплопроводности.

Классы отличаются значением теплопроводности материала, а именно: при средней температуре $25 \text{ }^\circ\text{C}$ материалы класса А имеют теплопроводность до $0,06 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, класса Б – от $0,06$ до $0,115 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, класса В – от $0,115$ до $0,175 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

Самым характерным признаком теплоизоляционных материалов является их высокая пористость, поскольку воздух в порах имеет меньшую теплопроводность, чем окружающее его вещество в конденсированном состоянии (твердом или жидком).

При размерах пор $0,1\text{--}2,0 \text{ мкм}$ теплопроводность воздуха в них равна $0,023\text{--}0,030 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Пористость теплоизоляционных материалов может составлять до 90 и даже до 98 %, а супертон-

кое стекловолокно имеет пористость до 99,5 %. Между тем такие конструкционные материалы, как тяжелый цементный бетон, имеет пористость до 9–15 %, гранит, мрамор – 0,2–0,8 %, керамический кирпич – 25–35 %, сталь – 0 %, древесина – до 70 % и т. п.

Поскольку пористость непосредственно влияет на среднюю плотность, теплоизоляционные материалы обычно различают не по пористости, а по средней плотности. Их делят на три группы:

– особо легкие (ОЛ) (и наиболее пористые), имеющие марку по средней плотности (кг/м^3) в сухом состоянии 15, 25, 35, 50, 75 и 100;

– легкие (Л) – 125, 150, 175, 200, 225, 300 и 350;

– тяжелые (Т) – 400, 450, 500 и 600.

Пенополистиролы. Теплоизоляционные материалы, получаемые на основе органических полимеров, характеризуются значительной легкостью, малой теплопроводностью и достаточной механической прочностью. Особый интерес представляют «заливочные» пено- и поропласты на основе фенолоформальдегидных, пенополистирольных, пенополивинилхлоридных и полиуретановых полимеров. Образование теплоизолирующей прослойки пено- или поропласта непосредственно при изготовлении стеновых панелей значительно упрощает и удешевляет производство работ.

Пенополистирол имеет пористую структуру с замкнутыми ячейками, заполненными воздухом или газом. Сырьем для изготовления пенополистирола служат суспензионный полистирол и порофор как вспенивающий компонент. Эту разновидность поропласта выпускают в виде плит, изготавливаемых беспрессовым способом, марок ПС-С (с антипиреном) и ПСБ (без него) или фасонных изделий марок ПС-1, ПС-4 и ПС-6.

Пенополистирол характеризуется следующими показателями физико-механических свойств: средняя плотность плит находится в пределах 20–40 кг/м^3 , теплопроводность 0,035–0,40 $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$, предел прочности при изгибе до 0,18 МПа, водопоглощение по объему – не более 2–5 % за 24 ч.

Пенополистирол не подвержен гниению, легко крепится гвоздями и склеивается со многими строительными материалами. Он используется в конструкциях совмещенных кровель, в строительстве холодильников, при устройстве внутренних перегородок,

междуэтажных перекрытий, вентиляционных каналов, утепления стен.

К эффективному материалу можно отнести и экструзионный пенополистирол «Экспол», вспучивающийся через расплав в экструдере. Он характеризуется максимальной устойчивостью тепло-технических и физико-механических свойств во времени. Его структура отличается микропористостью при нулевой капиллярности, что обеспечивает низкое водопоглощение при гарантированной высокой прочности. Такое сочетание положительных свойств пенополистирола благоприятствует его высокой долговечности. Он применяется как утеплитель оснований автомобильных дорог и железнодорожного полотна, подземных частей зданий и сооружений, в конструкциях кровли, в зонах вечной мерзлоты и т. п.

Пенополивинилхлорид – жесткий, эластичный или полуэластичный пенопласт. Плиточный жесткий пенопласт ПХВ-1 – легкая газонаполненная пластмасса равномерного, замкнуто-пористого строения. Длина и ширина плит составляет 500 мм при толщине не менее 45 мм. Эти плиты устойчивы к действию кислот, щелочей, воды и могут быть использованы в интервале температур от -60 до $+60$ °С. Средняя плотность ПХВ-1 составляет $70\text{--}130$ кг/м³, предел прочности при сжатии (перпендикулярно плоскости плиты) $0,4\text{--}7$ МПа, водопоглощение за 24 ч не более 0,3 %, теплопроводность – $0,04$ Вт/(м·К).

Пенополивинилхлорид широко применяют для термоизоляции холодильников, рефрижераторов, а также для звукоизоляционных целей наравне с пенополистиролом.

Пенополиуретаны – газонаполненные пенопласты, получающиеся на основе полиэфиров и диизоцианатов. Выпускают их в виде плит размером $500 \times 500 \times 50$ мм. Такие пенопласты могут быть применены в интервале температур от -60 до $+170$ °С. Пенополиуретаны имеют среднюю плотность $100\text{--}200$ кг/м³, теплопроводность – $0,06$ Вт/(м·К); предел прочности при сжатии от $0,55$ до $2,2$ МПа.

Сотопласты – тепло- и звукоизоляционные материалы, получаемые горячим формованием гофрированных листов бумаги, ткани или древесного шпона, предварительно пропитанных фенолоформальдегидным резольным полимером.

Физико-механические свойства сотопластов зависят в основном от формы и размеров сот и от природы материала, образующего стенки полостей. Благодаря невысокой стоимости и малой теплопроводности наиболее широкое применение в строительстве получили сотопласты с наполнителем из хлопчатобумажных тканей и бумаги.

Для улучшения теплотехнических показателей материала ячейки-соты заполняют измельченным пенопластом или стекловатой. Сотопласты применяют, чаще всего, как промежуточный слой при изготовлении трехслойных высокопрочных панелей.

Мипора – легкий, тепло- и звукоизоляционный материал в виде затвердевшей пены белого цвета. Сырьем для мипоры служат мочевиноформальдегидные полимеры, 10 %-й раствор сульфонафтеновых кислот и некоторые добавки.

8. ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

8.1. Определение и классификация

Органические вяжущие вещества – представляют собой природные или искусственные органические материалы, состоящие из химических соединений, в молекулах которых содержатся атомы углерода. Под влиянием физических или химических процессов они способны переходить из пластичного состояния в вязкопластичное или твердое и обладают достаточной адгезией к минеральным, металлическим и другим материалам.

Эти вещества встречаются в природе в составе битуминозных горных пород (природные) или их получают искусственно простой переработкой сырья органического происхождения: нефти, каменного угля, древесины, горючего сланца, торфа. Наибольшее применение в строительстве получили дегтевые и битумные органические вяжущие материалы, а также их производные – битумные эмульсии и пасты, битум-но-дегтевые, битум-но-резиновые, битумно-полимерные, дегтеполимерные и некоторые другие вяжущие вещества, в том числе олигомеры, полимеры и сополимеры. Несмотря на то, что битумы и дегти имеют различное происхождение и несколько отличаются составом, оба обладают общими характерными свойствами. При нагревании они разжижаются и в таком состоянии хорошо смачивают другие материалы, приобретая гидрофобные свойства. Это их качество применяется в основном при производстве широкой группы кровельных и гидроизоляционных материалов и изделий, а также для получения специальных дорожных бетонов – асфальтобетонов.

В зависимости от происхождения битумы могут быть природными и искусственными.

Природные битумы – органическое вещество черного или темно-коричневого цвета, при нагревании постепенно размягчается и переходит в жидкое состояние, а при охлаждении затвердевает. Природный битум не растворяется в воде, но легко растворяется в сероуглероде, хлороформе, бензоле и трудно – в бензине. Структура природных битумов, их физико-химические и физико-механические свойства близки к нефтяным битумам. При-

родный битум в чистом виде бывает редко. Чаще встречаются пропитанные битумом горные породы (известняки, доломиты, песчаники, грунт). Природный битум образуется из нефти в результате медленного удаления из нее легких и средних фракций, а также под влиянием процессов полимеризации и окисления. Битумные известняковые и доломитовые породы без извлечения битума используют в виде тонкого порошка (асфальтовый порошок) для получения асфальтовой мастики и асфальтовых бетонов.

Искусственные битумы образуются в виде остатка при получении из нефти топлива и масел – нефтяные битумы.

Нефтяные битумы являются продуктом переработки нефти и представляют собой сложные коллоидно-дисперсные системы, состоящие из нескольких групп веществ:

- твердые высокомолекулярные вещества (асфальтены, карбены, карбоиды), придающие битуму твердость;
- смолистые вещества, придающие битуму клейкость;
- нефтяные масла, придающие битуму вязкость и термопластичность.

В зависимости от вязкости нефтяные битумы делят:

- на твердые;
- полутвердые;
- жидкие.

В зависимости от способа переработки:

- на остаточные гудроны;
- окисленные;
- крекинговые;
- экстрактные.

Остаточные гудроны получают при атмосферно-вакуумной перегонке высокосмолистой нефти после отбора бензина, керосина и маслянистых фракций. Они представляют собой черные твердые или почти твердые при нормальной температуре вещества темного или темно-коричневого цвета.

Окисленные битумы получают продувкой воздуха через нефтяные остатки. В процессе производства окисленных битумов кислород воздуха реагирует с водородом, содержащимся в остатках, образуя водяные поры. Потеря водорода сопровождается

уплотнением нефтяных остатков ввиду их полимеризации и сгущения.

Крекинговые битумы получают при крекинге (разложении при высокой температуре) нефти и нефтяных масел в целях получения большого выхода бензина. Продувка воздуха через эти остатки дает окисленные крекинговые битумы.

Экстрактные битумы получают путем извлечения из битумных пород вываркой в котлах или растворением в органических растворителях (экстрагирование). Извлечение битума из асфальтовых пород целесообразно лишь в том случае, когда содержание его в породе составляет не менее 10–15 %.

Битумы делят на три типа по области их применения:

- дорожные (для асфальтобетонов);
- кровельные (для мягких кровельных материалов);
- строительные (для изготовления мастик, гидроизоляции).

Каждый тип битумов в зависимости от состава может иметь различные марки.

Битумы нефтяные дорожные (БНД) вязкие применяются в качестве вяжущего материала при строительстве дорожных и аэродромных покрытий. Вязкие дорожные битумы разделяют на марки: например, БНД 200/300. Числа означают пределы условной вязкости по глубине погружения иглы в градусах шкалы пенетromетра. Битумы нефтяные дорожные отличаются от нефтяных битумов дополнительными требованиями: глубиной проникания иглы и растяжимостью при температуре 0 °С, а также температурой хрупкости и содержанием водорастворимых соединений. Битумы класса БНД являются улучшенными.

Битумы нефтяные (БН) применяются для выполнения различных строительных работ и выпускают их следующих марок: БН 50/50, БН 70/30, БН 90/10. Первая цифра (числитель) указывает температуру размягчения (0 °С), а вторая (знаменатель) – среднее значение глубины проникания иглы.

Битумы нефтяные кровельные (БНК) разделяются на марки БНК 45/80, БНК 90/40, БНК 90/30, где числитель соответствует среднему значению температуры размягчения (0 °С), а знаменатель – среднему значению глубины проникания иглы пенетromетра.

Битумы нефтяные изоляционные (БНИ) применяются для изоляции трубопроводов от коррозии, а также для гидроизоляции подземных частей зданий и сооружений, и разделяются на три марки: БНИ-IV-3, БНИ-IV, БНИ-V.

Жидкие битумы используют в качестве вяжущего при строительстве дорожных покрытий. Их применяют в подогретом до температуры 60–100 °С состоянии, обеспечивающем необходимую удобоукладываемость смесей. Со временем вязкость жидких битумов повышается вследствие испарения содержащихся в них летучих масел и частично происходящих процессов окисления и полимеризации. Через некоторый промежуток времени жидкие битумы, находящиеся в дорожных покрытиях, приближаются по свойствам к вязким дорожным битумам.

В зависимости от скорости формирования структуры жидкие битумы разделяют на три класса: класс БГ – быстругустеющие; СГ – среднегустеющие; МГ – медленногустеющие. Битумы классов БГ и СГ получают в результате разбавления вязких битумов легкими разжижителями (керосином и т. п.). Битум класса МГ получают в остатке после перегонки нефти или разжижением вязких битумов масляными продуктами нефтяного или каменноугольного происхождения. Каждый класс в зависимости от вязкости делят на марки.

8.2. Основные физико-механические свойства органических вяжущих

Марки битумов определяют по комплексу показателей, основные из которых – глубина проникания иглы (пенетрация), растяжимость (дуктильность), температура размягчения, температура хрупкости.

Для характеристики вязкости твердых и вязких битумов пользуются условным показателем – глубиной проникания стандартной иглы (пенетрацией) при действии на нее груза массой 100 г в течение 5 с при температуре 25 °С и при температуре 0 °С (масса 200 г) в течение 60 с. Глубину проникания определяют на пенетрометре (рис. 8.1). Она выражается в градусах (1 °С = 0,1 мм линейного погружения) и обозначается P_{25} (индекс показывает температуру материала при испытании). Пенетрация дорожных

вязких битумов при $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ находится в пределах $(300\text{--}400) \cdot 0,1$ мм.

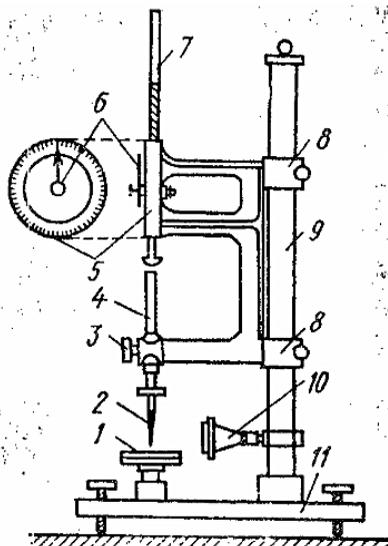


Рис. 8.1. Схема пенетromетра:

- 1 – столик; 2 – игла; 3 – зажимное устройство; 4 – стержень иглодержателя;
5 – циферблат; 6 – стрелка; 7 – штанга; 8 – кронштейн; 9 – штатив;
10 – зеркало; 11 – подставка

Вязкость жидких битумов и дегтей определяют с помощью стандартного вискозиметра по времени истечения 50 мм вязущего через калиброванное отверстие стандартного диаметра.

Растяжимость битумов определяют с помощью прибора дуктилометра (рис. 8.2) путем растяжения шейки образца, имеющего форму «восьмерки». Показателем растяжимости битума служит длина нити битума в момент разрыва, выраженная в сантиметрах. Это испытание проводят при скорости деформации $v = 5$ см/мин и температурах 25 и 0 °C (D_{25} , D_0). Растяжимость дорожных вязких битумов составляет $D_{25} = 40$ см, $D_0 = 1\text{--}3$ см.

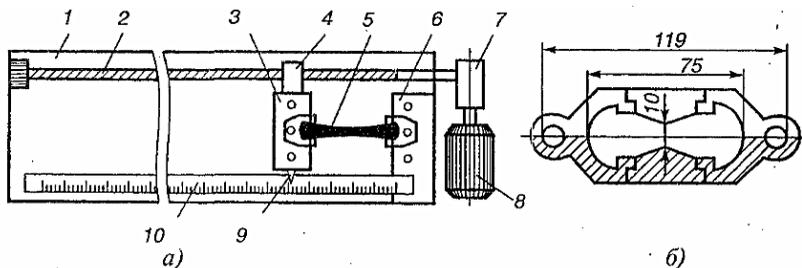


Рис. 8.2. Определение растяжимости битума:

а – дуктилометр; *б* – разборная форма;

- 1 – ящик из оцинкованной стали; 2 – винт; 3 – салазки; 4 – гайка;
 5 – образец битума;
 6 – неподвижная опора; 7 – редуктор; 8 – электродвигатель; 9 –
 стрелка;
 10 – линейка (по ней фиксируется удлинение в момент разрыва)

Когезия характеризует прочность межмолекулярных связей и определяется на когезиометре, состоящем из двух пластинок, склеенных слоем битума толщиной 10 мкм. Прочность (МПа) при скорости деформации (200 мм/мин) для битумов БНД 90/130 и БНД 60/90 колеблется от 0,07 до 0,3 МПа.

Температура размягчения определяется на приборе «кольцо и шар» (рис. 8.3). Кольцо заполняют битумом, на его поверхность укладывают шарик и помещают в подогреваемую водяную баню. За температуру размягчения принимают температуру, при которой битум размягчается и шарик проваливается сквозь битум на нижнюю полочку (рис. 8.3, *в*). Температура размягчения битума колеблется в пределах 30–60 °С.

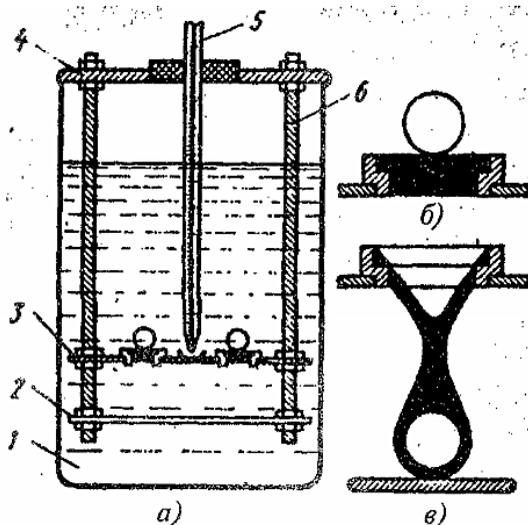


Рис. 8.3. Определение температуры размягчения битума:
 а – схема прибора «кольцо и шар»; б – положение шарика в начале испытания;
 в – положение шарика в конце испытания; 1 – стакан; 2, 3, 4 – диски; 5 – термометр;
 б – крепежные стержни

Температура хрупкости определяется по прибору Фрааса. Слой битума толщиной 1 мм наносят на стальную пластинку и охлаждают со скоростью 1 °С/мин. За температуру хрупкости принимают температуру в момент появления первой трещины на битуме при изгибании пластинки. Температура хрупкости дорожных битумов колеблется в пределах от –5 до –25 °С. Чем ниже температура хрупкости битумов, тем выше трещиностойкость асфальтобетона.

Индекс пенетрации характеризует изменение вязкости битумов от температуры. Битумы с индексом пенетрации менее 2 обладают большой чувствительностью к изменению температуры и приближаются к свойствам ньютоновской жидкости. Битумы с индексом пенетрации от –2 до +2 и более не так чувствительны к изменению температуры. Чем больше индекс пенетрации, тем шире интервал пластичности, тем качественнее битум для дорожного строительства.

Устойчивость при нагревании органических вяжущих определяют по уменьшению массы и изменению свойств (пенетрация, растяжимость и др.). Пробы нагревают до температуры 160 °С в течение 5 ч. По этим изменениям можно судить о стабильности свойств вяжущих во времени.

Температура вспышки – это температура, при которой пары, образующиеся при подогреве вяжущего в открытом тигле, воспламеняются от поднесенного к ним пламени. Температура, при которой это пламя горит не менее 5 с, называется температурой воспламенения. Температура вспышки вязких и твердых битумов не ниже 180–200 °С, жидких среднегустеющих – не ниже 37–60 °С и медленногустеющих 100–110 °С.

Объемное тепловое расширение битумов характеризуется коэффициентом объемного расширения при температуре 25 °С. Он находится в пределах $(5-8) \cdot 10^{-4}$.

Теплоемкость битумов равна 1,8–1,97 кДж/кг.

Теплопроводность битума 0,15–0,175 Вт/(м·град).

Поверхностное натяжение битумов при температуре 20–25 °С равно $(25-35) \cdot 10^{-3}$ Дж/м².

Сцепление органических вяжущих с каменными материалами (адгезия) определяют с использованием мрамора и песка: метод А – пассивное сцепление и метод Б – активное. Метод А заключается в определении способности вязкого битума удерживаться на предварительно покрытой им поверхности песка или мрамора при воздействии воды. Метод Б заключается в определении способности жидкого или вязкого битума сцепляться с поверхностью песка или мрамора в присутствии воды. Сцепление битума оценивают степенью смещения битумной пленки с поверхности минерального материала путем сравнения с фотографиями контрольных образцов, приведенных в ГОСТ 11508–74.

Для более точного определения площади обнаженных от битума минеральных зерен применяются методы адсорбции красителей, меченых атомов или люминесценции.

8.3. Производство нефтяных битумов

Существующие технологии производства битумов основаны на воздействии на нефтепродукт высокой температуры, разряжения воздуха, кислорода, пара, различных растворителей, ПАВ, с помощью которых происходит формирование химического состава и структуры битума, а следовательно, его физико-механических свойств.

Наибольшее распространение получило производство битума, основанное на следующих технологиях:

- на окислении гудрона или смеси гудрона с другими нефтепродуктами в кубах периодического или непрерывного действия (старое оборудование) или в трубчатых реакторах, окислительных колоннах, бескомпрессорных установках (новое оборудование). По этой технологии получают окисленные битумы;

- глубоком отборе из мазута масляных фракций на вакуумных установках, в результате чего внизу колонны образуется тяжелый нефтяной остаток – остаточные битумы;

- использовании смолисто-асфальтовых веществ, полученных при деасфальтизации масел. При необходимости уменьшить вязкость, продукты деасфальтизации соединяют с остаточными экстрактами или гудронами. Эти битумы принято называть битумами деасфальтизации;

- компаундировании (смешении) различных нефтепродуктов, имеющих разный химический состав и свойства, в целях получения битума в соответствии с заданными требованиями. Чаще всего по этой технологии производится глубокое окисление гудрона до получения битума с высокой вязкостью, а затем разжижение переокисленного битума более легким нефтепродуктом, например экстрактом селективной очистки или гудроном.

Нефть, нагретая в трубчатой печи до температуры 330–335 °С, направляется в ректификационную колонну, где происходит ее разделение на фракции и их переработка. Исходным сырьем для производства битума является гудрон. Если по показателям качества он соответствует требованиям, предъявляемым к битумам – это остаточный битум.

При получении окисленных битумов гудрон пропускают через холодильник, в котором его температура снижается до 210–

220 °С, а затем он поступает на окислительную установку (трубчатый вертикальный реактор, куб периодического действия, реактор колонного типа, бескомпрессорный реактор).

Температура гудрона от 240 до 180 °С. Время окисления от 3 до 50 ч. Окисляется кислородом воздуха, который нагнетается в гудрон либо с помощью компрессора через маточник (горизонтальная труба с многочисленными отверстиями для пропуска воздуха), либо диспергатором, обеспечивающим самовсасывание и диспергирование воздуха из атмосферы и развивающим при этом большую поверхность контакта гудрона с воздухом и высокую скорость ее обновления.

В начальный момент обработки воздухом гудронов небольшое количество термически активированных углеводородов распадается на свободные радикалы. Последние, объединяясь с молекулярным кислородом, образуют продукты присоединения перекисного характера, которые инициируют дальнейший процесс. Арильные радикалы связываются друг с другом, образуя молекулу, способную к дальнейшему росту, т. е. происходит полиоксиконденсация нафтеновых и ароматических углеводородов. Атомы водорода после соединения в молекулу образуют с молекулярным кислородом воду. Характер протекания реакции – цепной.

В процессе деасфальтизации (извлечение смолисто-асфальтовых веществ из нефтепродуктов сжиженным пропаном) смолисто-асфальтовые вещества, нерастворимые в пропане, отстаиваются внизу деасфальтизационной колонны, откуда непрерывно отводятся в однотопочную печь, где нагреваются до температуры 200–220 °С.

Из печи нагретый раствор смолисто-асфальтовых веществ в пропане поступает в эвапоратор, в котором под давлением основная часть пропана испаряется. Остатки пропана отпариваются при помощи открытого пара в атмосферной отпарной колонне, из нижней части которой откачивается остаточный продукт – битум деасфальтизации.

Технологический процесс получения битумов смешением (компаундированием) получил большое распространение в США, Франции, Германии и других странах. В вязкие нефтепродукты (переокисленные битумы, битумы деасфальтизации и др.) вводятся более легкие нефтяные фракции, полимеры, каменноугольные

дегти и ПАВ. С помощью этих добавок можно значительно повысить сцепление битума с поверхностью каменных материалов, его теплоустойчивость и прочность при высоких, а эластичность и пластичность – при низких температурах.

8.4. Улучшение качества нефтяных битумов

Наиболее распространенным способом улучшения качества битумов является их физико-химическая модификация путем введения добавок и получения различных видов органических вяжущих: битумно-дегтевых, битумно-полимерных и дегтебитумно-полимерных.

Битумно-дегтевые вяжущие широко применяются для поверхностной обработки различных покрытий, производства черного щебня, устройства дорожных покрытий, а также рулонных строительных материалов. Битумно-дегтевые вяжущие состоят из смеси каменноугольного дегтя и битума, причем содержание битума составляет 30–70 %. При использовании битумно-дегтевых вяжущих значительно сокращается расход битума, повышается адгезия органических вяжущих нефтяного происхождения к поверхности каменных материалов различного петрографического состава, что дает возможность отказаться от применения специальных ПАВ.

Битумно-полимерное вяжущее получают введением в состав битума небольшого количества полимера, что позволяет создать материал с необходимым комплексом физико-механических свойств в широком диапазоне эксплуатационных температур.

В настоящее время для улучшения органических вяжущих в качестве добавок используют:

- каучукоподобные полимеры – эластомеры (натуральные и эстетические каучуки, девулканизированная резиновая крошка);
- термопластичные полимеры (полиэтилен, полипропилен, полистирол, поливинилхлорид и др.);
- термореактивные полимеры (фенолоформальдегидные, эпоксидные и др.);
- термоэластопластичные полимеры (дивинилстирольный и др.).

Использование для модификации органических вяжущих полимеров преследует цель приблизить механические свойства вяжущих к свойствам высокополимеров, отличающихся такими ценными качествами, как прочность, теплостойкость, пластичность, способность к упругим и эластическим деформациям при низких температурах. Введение в органические вяжущие 1,5–5 % по массе совмещающихся с ними полимеров способствует повышению трещиностойкости (при отрицательных температурах), сдвигоустойчивости и снижению усталостных явлений (при температурах, близких к 0 °С).

Примером может служить полимербитумное вяжущее (ПБВ), полученное введением в битум 2 % дивинилстирольного термоэластопласта ДСТ-30. ПБВ обладает повышенной, по сравнению с битумом, прочностью и теплоустойчивостью при положительных температурах. Это подтверждается увеличением условного предела текучести в 21 раз и наибольшей пластической прочности в 4 раза (при 25 °С). Кроме того, возрастает деформативность ПБВ при отрицательной температуре, о чем свидетельствует снижение его модуля упругости при изгибе в 2 раза. Асфальтобетонные смеси на ПБВ отличаются лучшей укладываемостью и более широким температурным интервалом уплотнения. Бетоны на ПБВ имеют в сравнении с асфальтобетоном большую теплоустойчивость, коррозионную и динамическую стойкость.

Для повышения адгезии битума к поверхности каменных материалов их модифицируют ПАВ. Молекулы ПАВ состоят из двух частей – полярной и неполярной. К полярным группам относятся –ОН, –СООН, H_2 и др. Эти функциональные группы и обуславливают хорошее прилипание органического вяжущего к поверхности минеральных материалов. Неполярная часть – неактивная, гидрофобная состоит из углеводородной цепи или ароматического радикала.

ПАВ разделяются на ионогенные и неионогенные. Ионогенные вещества, в свою очередь, подразделяются на анионноактивные и катионноактивные. В анионноактивных веществах углеводородная часть молекул входит в состав аниона, а в катионноактивных – в состав катиона. К анионноактивным добавкам относятся высокомолекулярные органические кислоты, мылонафт (соли нефтяных кислот), производные карбоновых кислот (мыло, фенолы и

др.). К катионактивным веществам относятся амины, соли аминов и четырехзамещенные аммониевые основания.

Для асфальтовых материалов содержание анионактивных добавок составляет 3–10 % и катионактивных 0,5–3 % массы вяжущего. Катионактивные ПАВ обеспечивают повышение сцепления со всеми горными породами, но особенно эффективно – с кислыми. Анионактивные ПАВ повышают сцепление с карбонатными (основными) и почти не влияют на сцепление с кислыми породами.

Введение ПАВ в битум позволяет повысить показатель сцепления битума с поверхностью каменных материалов на 25–50 % и, следовательно, повысить коррозионную устойчивость композиционных материалов.

8.5. Дорожные эмульсии

Эмульсиями называют дисперсные системы, в которых одна жидкость (фаза) в виде мельчайших капель размером 0,1 мкм диспергирована (раздроблена) в другой жидкости (среда), не смешивающейся с ней. Дорожные битумные эмульсии представляют собой жидкости темно-коричневого цвета, получаемые путем диспергирования битума в водном растворе эмульгатора или щелочного вещества.

Битумные и дегтевые эмульсии применяют в качестве вяжущего или пленкообразующего материала при строительстве и ремонте автомобильных дорог, а также устройстве наливных кровель.

По виду ПАВ, используемых в качестве эмульгатора, битумные дорожные эмульсии подразделяют на два вида: анионные (ЭБА) и катионные (ЭБК) (ГОСТ Р 52128–2003).

По смешиваемости с минеральными материалами каждый вид эмульсии подразделяют на три класса:

- анионные – ЭБА-1, ЭБА-2, ЭБА-3;
- катионные – ЭБК-1, ЭБК-2, ЭБК-3.

Смешиваемость косвенно характеризует склонность эмульсии к распаду.

ПАВ ориентируются на границе раздела «битум – вода» так, что неполярной частью они обращены к битуму, а полярной – к

воде. Вследствие такой ориентации ПАВ создается слой, который уравнивает разность полярности битума (фазы) и воды (среды), снижает поверхностное натяжение на границе их раздела. Вследствие диссоциации полярной группы ПАВ частица фазы приобретает электрический заряд (при анионоактивном эмульгаторе – отрицательный, при катионоактивном – положительный). Одноименные частицы эмульгированной жидкости (фаза) отталкиваются, что препятствует их слипанию и обуславливает агрегативную устойчивость эмульсии.

Твердые минеральные эмульгаторы (глина, гашеная известь, асбест, зола-унос ТЭЦ и др.) выполняют ту же роль, что и органические. Они прилипают к поверхности диспергированных частиц битума или дегтя и образуют на границе раздела их с водой защитные оболочки, препятствующие коалесценции.

Эмульсии с содержанием битума или дегтя более 60–70 % называют высококонцентрированными.

Эмульсионными пастами называют вязкие высококонцентрированные эмульсии с применением твердых эмульгаторов. Эмульсионные пасты перед применением разводят водой до получения требуемой вязкости.

Эмульсии с анионоактивными эмульгаторами называют щелочными, с катионоактивными – кислыми. Содержание водорастворимых эмульгаторов в эмульсии обычно не превышает 3 %, твердых эмульгаторов – 5–15 %.

В качестве анионоактивных эмульгаторов применяются мыла: щелочные соли нафтенных, сульфонафтенных, смоляных органических кислот, лигносульфонат технический (ЛСТ), хлопковый гудрон (госсиполовая смола), второй жировой гудрон и др.

К катионоактивным эмульгаторам относятся катионовые мыла, являющиеся производными четвертично замещенного аммония, с солями аминов (выравниватели А-9, А-20, каталин А, АНП-2, БП-3).

К твердым эмульгаторам относятся тонкоизмельченные порошки глин, извести, цемента, сажи и т. д.

В зависимости от свойств и содержания эмульгаторов, количества битума или дегтя, можно получать эмульсии двух типов: прямые, когда капли битума диспергированы в воде, и обратные, когда вода диспергирована в битуме. В дорожном строительстве

применяются, главным образом, прямые эмульсии. При взаимодействии эмульсии с каменными материалами за счет адсорбции эмульгатора, испарения и поглощения воды нарушается равновесие системы и происходит ее распад.

Вследствие адсорбции эмульгатора поверхностью каменных материалов концентрация его на защищенных оболочках битума уменьшается, при перемешивании они разрываются и происходит слияние и объединение битума с каменными материалами.

Эмульсии распадаются с различной скоростью. Устойчивые эмульсии с анионактивными эмульгаторами $\text{pH} = 7-11$, катионактивные с $\text{pH} = 3-6$. С увеличением pH устойчивость анионактивных эмульсий увеличивается, а катионактивных – уменьшается. В качестве добавок, ускоряющих распад эмульсии, применяют сульфатный щелок, соли кальция, сернокислого и хлорного железа, калиево-алюминиевые квасцы в количестве 0,5-1 %.

Согласно ГОСТ Р 52128-2003, к эмульсиям предъявляют следующие требования:

- массовая доля битума (дегтя) с эмульгатором в эмульсиях должна быть 45–55 %. Содержание вяжущего определяется как остаток при выпаривании воды из эмульсии;

- условная вязкость эмульсии при температуре 20 °С на вискозиметре ВУ с отверстием 3 мм должна быть не более 35 с;

- анионные эмульсии классов ЭБА-1 и ЭБА-2 должны выдерживать испытание на сцепление пленки вяжущего со щебнем. При этом не менее трех четвертей (75 %) площади поверхности щебня после испытания должно остаться покрытой пленкой вяжущего;

- катионные эмульсии классов ЭБК-1, ЭБК-2, ЭБК-3 должны выдерживать испытание на сцепление пленки вяжущего со щебнем.

При этом не менее 95 % площади поверхности щебня после испытания должно остаться покрытой пленкой вяжущего;

- однородность эмульсии определяется процеживанием ее навески через сито № 014. Однородность устанавливают в процентах как отношение остатка на сите к навеске эмульсии. Она должна быть не более 0,5 %;

– устойчивость эмульсии определяют по изменению ее однородности при хранении, при выдерживании проб эмульсии в течение недели, а также в течение месяца;

– устойчивость при транспортировании определяют после 2 ч встряхивания навески эмульсии. Если эмульсия не распалась, т. е. не произошло необратимого разделения ее на битум и воду, то она выдержала испытание;

– определение свойств битума, выделенного из эмульсии, производится после испарения воды. Глубина проникания и растяжимость не должны уменьшаться более чем на 15 % показателей исходного битума.

Для приготовления эмульсий применяют вязкие нефтяные битумы марок от БНД 200/300 до БНД 40/60 в зависимости от климатических условий района строительства, конструкции дорожной одежды и способа производства работ.

Водные растворы эмульгатора нагревают до температуры 70–80 °С. Затем битум, нагретый до температуры 140–160 °С, и водный раствор эмульгатора подают в эмульсионную установку механического и акустического действия.

При приготовлении паст на твердых эмульгаторах используют мешалку с частотой вращения более 60 мин⁻¹. Сначала в нее вводят воду при температуре около 90 °С, затем добавляют необходимое количество тонкоизмельченного эмульгатора. Эти материалы тщательно перемешивают до получения однородного сметанообразного раствора при температуре 60–70 °С, после чего в раствор постепенно вводят битум температурой 140–160 °С или деготь температурой 105–115 °С. Смесь хорошо перемешивают в мешалке до получения однородной массы, слегка разбавленной водой.

Битумные и дегтевые эмульсии применяются для обеспыливания дорог, укрепления обочин, откосов, устройства покрытий способом пропитки, приготовления черного щебня, ремонта покрытий, ухода за твердеющим бетоном.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Технические свойства полимерных материалов : учеб.-справ. пособие / В.К. Крыжановский [и др.] – СПб. : Профессия, 2003. – 240 с.
2. Воробьев В.А. Технология полимеров : учебник для вузов / В.А. Воробьев, Р.А. Андрианов. – 2-е изд., перераб. – М. : Высш. школа, 1980. – 303 с.
3. Воробьев В.А. Производство и применение пластмасс в строительстве : учеб. пособие / В.А. Воробьев. – М. : Изд. лит. по строительству, 1965. – 234 с.
4. Комар А.Г. Строительные материалы и изделия : учеб. для инженерно-экон. специальностей. строит. вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1988. – 527 с.
5. Попов К.Н. Строительные материалы и изделия : учебник / К.Н. Попов, М.Б. Каддо. – М. : Высш. шк., 2001. – 367 с.

