

Лекция 7

ОРГАНИЧЕСКИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

7.1 Классификация полимеров

Полимеры или высокомолекулярные соединения (ВМС) – вещества, состоящие из макромолекул, т.е. молекулярных цепей, образованных большим количеством атомов, которые соединены химическими связями. Термин «макромолекула» ввел в 1922 г. немецкий химик Г. Штаудингер (H. Staudinger), экспериментально обнаруживший цепное строение молекул полимеров.

Реакцию образования полимера из мономеров называют *полимеризацией*. В процессе полимеризации вещество может переходить из газообразного или жидкого состояния в состояние густой жидкости или твердое. Реакция полимеризации не сопровождается отщеплением каких-либо низкомолекулярных побочных продуктов. Полимер и мономер характеризуются одинаковым элементным составом.

Помимо реакции полимеризации ВМС может быть получено реакцией *поликонденсации*. Эта реакция связана с перегруппировкой атомов полимеров и выделением из сферы реакции воды или других низкомолекулярных веществ. Полимеры, полученные поликонденсацией, обладают пониженными электрическими свойствами по сравнению с материалами, полученными по реакции полимеризации. Это объясняет наличие в поликонденсационных диэлектриках остатков побочных низкомолекулярных веществ (воды, кислот, спирта), которые, распадаясь на ионы, увеличивают проводимость материала.

Полимеры классифицируют по нескольким признакам, важнейшими из которых являются следующие.

По происхождению: *природные* или *биополимеры* (белки, нуклеиновые кислоты, полисахариды) и *синтетические* (например, полиэтилен, полиамиды, эпоксидные смолы), получаемые методами полимеризации и поликонденсации.

По расположению составных звеньев в макромолекуле:

- *линейные*, макромолекулы которых представляют собой линейные цепи;
- *разветвленные*, состоящие из линейных макромолекул с ответвлениями, например, в виде гребенок, звезд, случайно разветвленных цепей (рис. 7.1).
- *сетчатые* – полимеры со сложной топологической структурой, макромолекулы которых образуют единую пространственную сетку (рис. 7.1, г), в предельном случае весь объем полимера представляет собой одну огромную молекулу.

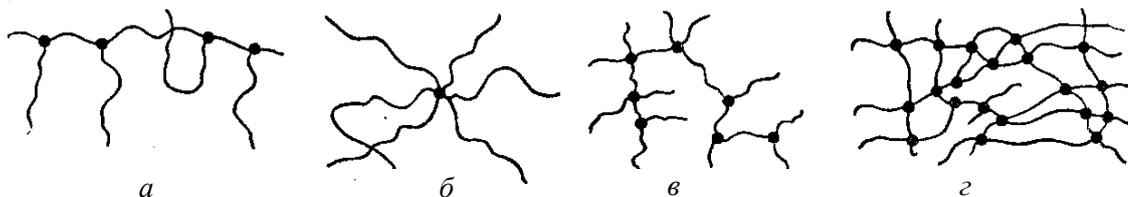


Рис. 7.1 Типы разветвленных макромолекул: а – гребнеобразная; б – звездообразная; в – случайно разветвленная; г – сетчатая

В зависимости от структуры основной цепи макромолекул различают два больших класса полимеров. *Гомоцепные* полимеры состоят из макромолекул, основная цепь которых построена из одинаковых атомов. В основной цепи *гетероцепных* полимеров содержатся атомы разных элементов, чаще всего С, N, Si, P. Из гомоцепных полимеров наиболее распространены *карбоцепные*, главные цепи которых образованы только атомами углерода. Полимеры, в состав макромолекул которых наряду с углеводородными группами входят атомы небиогенных (биогенные – необходимые для роста живых тканей) элементов, называют *элементорганическими*. *Координационные полимеры* содержат атомы металлов (Zn, Mg, Cu), и поэтому в их основной цепи обычные ковалентные связи сочетаются с координационными. Отдельную группу составляют *неорганические* полимеры, макромолекулы которых построены из неорганических главных цепей и не содержат органических боковых групп. Сетчатые неорганические полимеры входят в состав большинства минералов земной коры.

По технологическому признаку полимеры подразделяют на реактопласты и термопласты. *Реактопласты* – полимеры, переработка которых в изделия сопровождается химическими реакциями образования микромолекулярных сеток, вследствие чего полимер необратимо утрачивает способность переходить в вязкотекучее состояние. *Термопласты* после переработки в изделия сохраняют способность к многократным переплавкам.

По химическому составу макромолекул полимеры классифицированы советскими химиками А.А. Берлиным и В.В. Коршаком. Схема этой классификации приведена на рис. 7.2. В пояснении к ней использованы ранее упомянутые термины.

К *органическим полимерам* относят соединения, молекулы которых содержат атомы углерода, азота, кислорода, серы и галогенов, входящих в состав главной цепи и боковых групп. В *элементорганических полимерах* главная молекулярная цепь состоит из атомов углерода и других элементов (за исключением азота, кислорода и серы), а боковые группы включают атомы углерода и другие атомы (за исключением азота, серы, кислорода и галогенов), непосредственно соединенные с атомами цепи. *Неорганические полимеры*, как отмечено ранее, это соединения, которые не содержат атомов углерода в составе макромолекул.

Органические полимеры подразделяют на *карбоцепные* и *гетероцепные*. Главная цепь карбоцепных полимеров состоит только из атомов углерода. В состав цепи макромолекул гетероцепных полимеров входят атомы O, N, S.

Названия карбо- и гетероцепных полимеров образованы из названий химических классов мономеров, входящих в состав макромолекул. Например, в класс карбоцепных полимеров входят вещества, макромолекулы которых образованы: а) углеводородными мономерами (предельными или непредельными) – полиэтилен, полипропилен, полиизобутилен, полибутадиен и др.; б) галогеносодержащими мономерами – поливинилхлорид, политетрафторэтилен и др.; в) мономерами, производными от спиртов и эфиров, – поливинилацетат, полиметилметакрилат и др. Совокупность гетероцепных полимеров образуют полиэфиры, полиамиды, полиацетали, полисульфиды и др.

Из *элементорганических полимеров* наибольшее практическое значение имеют те, макромолекулы которых состоят из атомов кремния и углерода. Титанорганические полимеры содержат в составе углеродных макромолекул атомы титана, а фосфорорганические – атомы фосфора. Совокупность других элементорганических полимеров образуют борорганические полимеры и полимеры, содержащие Al и Sn, а

также координационные полимеры, в макромолекулах которых находятся Fe, Co, Ni, Cu, Mn и Zn.

Неорганические полимеры состоят из атомов или групп атомов, соединенных между собой непрерывной системой ковалентных, полярных или координационных связей, образующих трехмерную пространственную (например, алмаз), двухмерную слоистую (нитрид бора) или одномерную цепную (пластическая сера) структуру. Их подразделяют на две группы. В первой из них макромолекулы состоят из гомоатомных (т.е. образованных одинаковыми атомами) цепей. Во второй – макромолекулы имеют гетероатомную структуру, т.е. представляют собой комбинацию разных атомов. Среди гомоатомных полимеров наибольшее практическое применение получили углерод, кремний, германий, бор, селен. Более распространены в технике материалы на основе гетероатомных неорганических полимеров (стекла, ситаллы, керамика и др.).



Рис. 7.2 Классификация высокомолекулярных соединений

Между свойствами линейных (термопластичные) и пространственных (терморезистивные, или реактопласты) полимеров имеются весьма существенные различия. Линейные полимеры, как правило, гибки и эластичны, многие из них при умеренном повышении температуры размягчаются, а затем расплавляются. Пространственные полимеры обладают большей жесткостью, размягчение их происходит при весьма высоких температурах, а многие из них при температуре размягчения химически разрушаются – деструктурируют (сгорают, обугливаются и т.п.).

Линейные полимеры способны растворяться в растворителях. Пространственные – трудно растворимы или вообще не растворимы. Линейные полимеры в большинстве своем способны вытягиваться из раствора или расплава в виде тонких гибких и прочных волокон, пригодных для изготовления текстильных материалов. Пространственные полимеры не обладают такими свойствами.

Линейные полимеры при повышении температуры размягчаются (становятся пластичными) и легко деформируются. При этом в них не происходит никаких необратимых изменений свойств. После охлаждения эти материалы приобретают прежние свойства и при новом нагреве вновь размягчаются. Реактопласты при нагреве

отверждаются, т.е. приобретают другую (более высокую) механическую прочность и твердость, теряя при этом свойства растворимости.

Из-за различия в свойствах применение рассмотренных материалов не одинаково. Например, если нужна электрическая изоляция, эксплуатируемая при повышенных температурах не размягчаясь, не деформируясь и сохраняя высокую механическую прочность, или изоляция должна быть стойкой к действию соприкасающихся с ней растворителей, то лучше использовать термореактивные полимеры.

7.2 Термопласты

Термопластичные пластмассы представлены обширной группой полимерных материалов. Их основные физико-механические свойства представлены в Приложении 3.

П о л и о л е ф и н ы – углеводороды непереломного ряда, получаемые полимеризацией соответствующих олефинов. Типичными представителями этой группы пластиков являются полиэтилен, полипропилен и их многочисленные сополимеры.

Полиэтилен (ПЭ) представляет собой продукт полимеризации этилена ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$) с линейной макромолекулой, имеющей небольшое число ответвлений. В зависимости от условий полимеризации (давления, вида катализаторов, температуры) получают продукт с различной молекулярной массой. Химическая промышленность производит ПЭ при различных давлениях. ПЭ высокого давления (ПЭВД) имеет молекулярную массу $30 \div 400$ тыс. единиц атомной массы, низкого и среднего давления (ПЭНД и ПЭСД) – $50 \div 800$ тыс. Выпускается также сверхвысокомолекулярный ПЭ (СВМПЭ) с молекулярной массой, достигающей нескольких миллионов. ПЭВД имеет низкую плотность ($\rho = 0,92 \text{ г/см}^3$), $T_{\text{пл}} = 105 \div 110 \text{ }^\circ\text{C}$. У ПЭНД $\rho = 0,96 \text{ г/см}^3$, $T_{\text{пл}} = 120 \div 125 \text{ }^\circ\text{C}$, у ПЭСД $\rho = 0,97 \text{ г/см}^3$, $T_{\text{пл}} = 127 \div 130 \text{ }^\circ\text{C}$.

Достоинством ПЭ является сочетание высокой химической стойкости, удовлетворительных механических свойств с технологичностью переработки и низкой стоимостью. Электроизоляционные свойства ПЭСД и ПЭНД мало отличаются от ПЭВД, если первые хорошо очищены от катализаторов. Особым преимуществом ПЭСД является его меньшая по сравнению с другими типами полиэтилена газопроницаемость. При длительном нагревании полиэтилен «старееет», особенно на воздухе и при освещении. При этом снижается механическая прочность. Для предотвращения старения в него вводят антиоксиданты (например, антиокислителями являются некоторые ароматические вещества).

Полипропилен (ПП) – термопластичный линейный полимер, продукт полимеризации пропилена ($\text{CH}_2=\text{CH}$).



ПП – это твердое, в тонких слоях прозрачное, в толстых – молочно-белое вещество с высокой (до 75 %) степенью кристалличности и температурой плавления около $170 \text{ }^\circ\text{C}$. ПП отличается от ПЭ более высокой ударной вязкостью, прочностью, износостойкостью, обладает высокими диэлектрическими свойствами, низкими паро- и газопроницаемостью. ПП нерастворим в органических растворителях, устойчив к действию кипящих воды и щелочей, но обладает низкими термо- и светостойкостью. Около 30 % ПП перерабатывают в волокна, пленки, трубы и профилированные изделия.

Электроизоляционные свойства такие же, как у полиэтилена. Используются в качестве диэлектрика в силовых конденсаторах.

Г а л о г е н о п р о и з в о д н ы е п о л и о л е ф и н ы в составляют основу широко используемых в электронной технике пластмасс – поливинилхлоридов и фторопластов.

Поливинилхлорид (ПВХ) представляет собой высокомолекулярный продукт полимеризации винилхлорида ($\text{CH}_2=\text{CHCl}$) с молекулярной массой $14 \div 85$ тыс. ед. На основе ПВХ изготавливают два вида пластмасс – винипласт и пластикат.

Винипласт – это жесткий ПВХ, не содержащий пластификаторов. Его выпускают в виде листов, труб, пленок и сварочных прутков. Винипласт хорошо обрабатывается резанием, гнется, формуется, выдувается, поддается сварке и склеиванию. В качестве конструкционного материала он может служить заменителем цветных металлов. Пленочный винипласт используют для футеровки химической аппаратуры (антикоррозионные покрытия), для изоляции проводов, защитных оболочек кабелей. Пластифицированный ПВХ называют *пластикатом*. Введение пластификаторов не только улучшает пластичность, но и повышает морозостойкость ПВХ (до -50 °С), стойкость к воздействию переменных нагрузок и вибраций. Пластикат широко применяют для изоляции кабелей, изготовления труб, искусственной кожи, клеев.

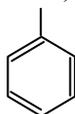
Фторопласты – полимеры фторпроизводных этиленового ряда: тетрафторэтилена ($\text{CF}_2=\text{CF}_2$), трифторэтилена ($\text{CF}_2=\text{CHF}$), трифторхлорэтилена ($\text{CF}_2=\text{CFCl}$), винилфторида ($\text{CH}_2=\text{CHF}$) и др. Достоинством фторопластов является высокая стойкость в агрессивных средах, в том числе сильных кислотах, за исключением плавиковой, щелочей, трехфтористого хлора, элементного фтора при повышенных температурах. Фторопласты термостойки – температура их интенсивной термоокислительной деструкции составляет около 400 °С. Фторопласты некоторых марок обладают уникальными антифрикционными свойствами – низким коэффициентом трения и высокой износостойкостью при трении без смазки.

Наиболее широко распространенным представителем фторопластов является *политетрафторэтилен* (ПТФЭ) – фторопласт-4 (тефлон, флюон). ПТФЭ является самым стойким из всех конструкционных материалов – полимеров, металлов, силикатов – к воздействию агрессивных сред, климатических факторов, микроорганизмов.

Фторопласт-4 применяют для изготовления конденсаторных и электроизоляционных пленок. Его модификации – фторопласт-4Д, фторопласт-4М (-4МБ, -4МБ-2, -4МД), фторопласт-4НА и др. – технологичны в переработке, допускают возможность изготовления изделий плунжерной экструзией и литьем под давлением. Существенными недостатками ПТФЭ является низкая износостойкость и хладотекучесть. Для их устранения в состав композиций вводят модификаторы и наполнители.

Для изготовления пленок, лаков, волокон, тканей, защитных покрытий применяется фторопласт-3 (фторлон-3, дайфлон).

Карбоцепные полимеры ж и р н о а р о м а т и ч е с к о г о ряда представлены в номенклатуре пластмасс группой *полистиролов* (ПС) – продуктов полимеризации стирола ($\text{CH}_2=\text{CH}$).



ПС обладает высокими диэлектрическими свойствами, водостойкостью и химической стойкостью; отличается радиационной стойкостью и высоким коэффициентом

преломления, легко окрашивается в различные цвета. Недостатками ПС являются большая хрупкость, невысокие теплостойкость и ударная вязкость. Выпускают различные виды модифицированного ПС и сополимеров стирола: общего назначения; ударопрочные, вспенивающиеся, АБС-пластики. Они имеют более высокие показатели эксплуатационных свойств, чем исходный ПС.

Полистирол общего назначения прозрачен, обладает достаточно высокими механическими свойствами. Главное применение полистирола этого вида – детали радиоаппаратуры, неотчетственные конструкционные детали, изделия бытового назначения.

Ударопрочный ПС получают на основе стирола и каучука. Его применяют для изготовления корпусов телевизоров, пылесосов, электробритв. Ударопрочный ПС широко используется для упаковки пищевых продуктов и лекарственных препаратов, изготовления посуды разового пользования, игрушек, авторучек и т. д.

АБС-пластики – группа конструкционных материалов, аналогичных по строению ударопрочному ПС, на основе сополимеров акрилонитрила с бутадиен-стиролом. АБС-пластики имеют высокие влагостойкость и стойкость к действию растворителей, масел, кислот и щелочей. Они обладают большими твердостью и прочностью при изгибе, чем ПЭ и ПВХ. АБС-пластики применяют для изготовления корпусов приборов теле- и радиоаппаратуры, телефонов, футляров, контейнеров и др.

Полиметилметакрилат (ПММА) – линейный термопластичный полимер, получаемый полимеризацией метилового эфира метакриловой кислоты $[\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{COOCH}_3]$. Молекулярная масса ПММА может достигать нескольких млн. ед., плотность – 1190 кг/м^3 , показатель преломления – 1,492. ПММА (иногда называемый *органическим стеклом*) – бесцветный прозрачный полимер, обладающий высокой проницаемостью для ультрафиолетового и видимого света (оргстекло толщиной 3 мм пропускает до 92 % УФ лучей, силикатное – лишь до 3 %), высокой атмосферостойкостью, хорошими физико-механическими и электроизоляционными показателями. Органическое стекло легко сваривается и склеивается с помощью своего же раствора в ацетоне или дихлорэтаноле. Такое стекло можно пилить и резать на станках, сверлить и полировать обычными инструментами. ПММА используют в электротехнической и автомобильной промышленности. Из него изготавливают линзы и призмы в приборостроении, стекла в часовой промышленности, защитные щитки на станках, стекла самолетов и автомобилей, светильники и др. изделия.

Из гетероцепных термопластов наибольшее применение в качестве конструкционных материалов получили полимеры из класса простых и сложных полиэфиров, а также полиацетали и полиамиды (см. рис. 7.2).

Полисульфоны (полиариленсульфоны, полиэфирсульфоны) – продукты конденсации ароматических сульфонилхлоридов с углеводородами, твердые некристаллические термопласты белого цвета. Основное достоинство полисульфонов – высокая термостойкость: они стабильны при нагревании на воздухе до $400 \text{ }^\circ\text{C}$. Физические и электрические свойства полисульфонов незначительно изменяются в широком интервале температур (от -100 до $+175 \text{ }^\circ\text{C}$), а также при длительном нагревании при $140 \text{ }^\circ\text{C}$. Полисульфоны применяют для изготовления электротехнических изделий (например, корпусов электрохимических батарей), а также для приготовления связующих в производстве стеклопластиков.

Полиэтилентерефталат (ПЭТФ) – твердый полимер белого цвета, представляющий собой сложный полиэфир терефталевой кислоты и этиленгликоля. ПЭТФ не растворяется в большинстве органических растворителей, имеет высокую температуру плавления ($255 \div 265$ °С), стоек к действию слабых щелочей, смазок, масел, спиртов, кетонов, эфиров. ПЭТФ используют главным образом в производстве полиэфирных волокон (лавсан). Из него изготавливают также пленки (основа для лент магнитной записи и кинофотопленок, теплостойкая изоляция обмоток трансформаторов) и литьевые изделия (радиодетали, химическое и другое оборудование).

Поликарбонаты (ПК) – сложные полиэфиры угольной кислоты, получаемые поликонденсацией дефенилпропана и фосгена. Это твердые бесцветные или желтоватого цвета прозрачные вещества, растворяющиеся в хлорированных углеводородах, крезоле и других растворителях. Температура их плавления колеблется от 150 до 270 °С. ПК обладают высокой механической прочностью в широком интервале температур (от -135 до $+140$ °С), теплостойкостью, хорошими электроизоляционными свойствами, атмосферостойкостью и влагостойкостью. Устойчивы к действию разбавленных кислот, растворов минеральных солей, углеводородов, бензина, масел и т.д., но нестойки в растворах щелочей и хлорсодержащих углеводородов. ПК применяются для изготовления деталей конструкционного и электроизоляционного назначения в приборостроении (телефонные аппараты, вентиляторы, экраны для кинескопов телевизоров и т.д.). Порошкообразные ПК используют для нанесения покрытий на металлические детали.

Полиарилаты – сложные эфиры двухатомных фенолов общей формулы $[-OCRCOOR'O-]_n$, где R – остаток дикарбоновой кислоты, R' – остаток двухатомного фенола. Это термостойкие полимеры (максимальная рабочая температура до 250 °С), обладающие высокими диэлектрическими свойствами и механической прочностью, а также химической стойкостью к действию кислот и разбавленных щелочей, высокой радиационной стойкостью. Полиарилаты находят применение в радио- и электротехнике в виде пленок (электроизоляционные материалы) и фильтрующих материалов (фильтры Петрянова).

Полиамиды (ПА) – гетероцепные полимеры, содержащие в основной цепи макромолекулы амидные группы $-CO-NH-$. ПА получают поликонденсацией диаминов и дикарбоновых кислот либо полимеризацией лактама аминокислоты. В зависимости от химического строения ПА могут быть линейными, разветвленными или сшитыми.

Полиамиды – один из самых распространенных конструкционных полимерных материалов. В настоящее время промышленность выпускает полиамиды многих марок: П6 (капрон), П66 (анид), П610, П12 и др. Главным достоинством ПА как конструкционных материалов является сочетание высокой прочности, износо-, тепло- и химической стойкости с технологичностью переработки в изделия. В немодифицированном виде ПА подвержены окислению на воздухе, особенно при повышенных температурах, что приводит к резкому снижению их прочности. Из ПА изготавливают электрические изоляторы, пленки, волокна, защитные покрытия, пропиточные материалы, клеи.

Полиимиды (ПИ) – ароматические гетероциклические полимеры, содержащие в цепи макромолекулы циклическую имидную группу $-R \begin{matrix} \diagup CO \\ \diagdown CO \end{matrix} N-$.

В зависимости от метода получения и структуры полимерной цепи ПИ могут быть термопластичными и термореактивными.

Важными достоинствами ПИ являются высокая термостойкость (до 350 °С), стойкость к термоокислительной деструкции и радиационному облучению, прочность, износостойкость. ПИ не растворяются в органических растворителях, стойки к маслам, слабым кислотам и основаниям, но гидролизуются под действием щелочей и перегретого пара. Для ПИ характерна весьма высокая для органических полимеров теплопроводность 150÷180 Вт/(м·К). Изделия из ПИ можно успешно эксплуатировать при температурах от –200 до +350 °С. ПИ используют для изготовления электроизоляционной пленки, эмали для обмоточных проводов, заливочных компаундов, волокон, клеев.

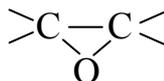
Полиуретаны – линейные полимеры, в цепочках молекул которых между углеводородными остатками располагаются группы –NHCOO–. В определенных условиях полиуретаны могут образовывать молекулы пространственной структуры. Полиуретаны используются для эмалирования проводов. Такие провода более нагревостойки, чем провода лакированные, но уступают проводам с полиэфирной изоляцией. Эмалированные провода весьма удобны при монтаже, т.к. обслуживаются в припое без снятия эмали.

7.3 Реактопласты

Термореактивные пластмассы (реактопласты) отличаются от термопластов повышенной теплостойкостью, практически полным отсутствием ползучести под нагрузкой при обычных температурах, постоянством физико-механических показателей в интервале температур эксплуатации. Основу термореактивных пластмасс составляют *смолы*, или *олигомеры* (т.е. полимеры сравнительно небольшой молекулярной массы), которые в процессе отверждения превращаются в неплавкие и нерастворимые продукты. Причиной отверждения является образование поперечных связей между макромолекулами – *сшивка*, которая происходит с участием специальных реагентов (*отвердителей*) или под действием тепла, излучений высоких энергий и др. Как правило, термореактивные (отверждающиеся) пластики содержат наряду со связующим компонентом (смолой) наполнители – порошковые, волокнистые или слоистые. Большинство термореактивных пластмасс получают на основе феноло-формальдегидных, эпоксидных и мочевино-формальдегидных смол.

Феноло-формальдегидные смолы (ФФС) – олигомерные продукты конденсации фенолов с формальдегидом. В зависимости от условий поликонденсации образуются резольные (термореактивные) или новолачные (термопластичные) ФФС. В процессе переработки они отверждаются с образованием трехмерных полимеров. Отвержденные ФФС обладают высокими атмосферо- и термостойкостью, хорошими электроизоляционными свойствами, стойки к действию большинства кислот. ФФС в течение длительного времени стабильны при нагревании до 200 °С и в течение ограниченного времени способны противостоять действию более высоких температур (несколько часов при 250÷500 °С, несколько минут при 500÷1000 °С). ФФС находят наибольшее применение в производстве специальных видов пластмасс (фенопласты, пенофенопласты), а также для связывания стекловолокна и асбеста при изготовлении тепло- и звукоизоляционных материалов. ФФС используют как основу лаков, эмалей, клеев и герметиков.

Эпоксидные смолы (ЭС) – олигомеры или мономеры, содержащие в молекуле не менее двух эпоксидных групп



и способные превращаться в полимеры пространственного строения в процессе поликонденсации или полимеризации с помощью отвердителей (алифатические и ароматические полиамины, ангидриды дикарбоновых кислот, синтетические смолы). Отвержденные ЭС обладают хорошими влагозащитными свойствами, высокой адгезией к металлам, стеклу и керамике, хорошими диэлектрическими свойствами и высокой химической стойкостью. По прочностным показателям продукты отверждения ЭС превосходят все применяемые в промышленности полимерные материалы на основе других синтетических смол. Так, прочность при растяжении (для композиций на основе ЭС без наполнителя) может достигать 140 МПа, при сжатии – 400 МПа, ударная вязкость – 250 кДж/м², относительное удлинение при разрыве – 750 %. ЭС широко используют как основу лакокрасочных материалов, клеев, герметиков, заливочных и пропиточных компаундов, связующих для высокопрочных армированных пластиков, для модифицирования других олигомеров и полимеров с целью повышения их прочности, теплостойкости, адгезии к различным материалам.

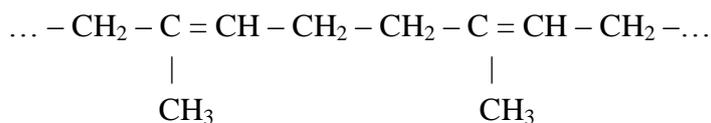
Кремнийорганические смолы (силиконы или полиорганосилоксаны) содержат, помимо характерного для органических полимеров углерода, кремний (он является одной из важнейших составных частей многих неорганических диэлектриков: слюды, асбеста, ряда стекол, керамических материалов). Основа строения молекулы – силоксановая группировка чередующихся атомов кремния и кислорода.

Полиорганосилоксаны могут быть термопластичными и иметь линейное строение и термореактивными с образованием пространственных структур. Силиконовая связь Si–O более прочна, чем связь C–C, но менее прочна, чем C–F во фторорганических соединениях, что и определяет более высокую нагревостойкость кремнийорганических соединений по сравнению с большинством рассматриваемых здесь органических полимеров. Кремнийорганические смолы используются в лаках, компаундах и в пластмассах. Некоторые из пластмасс весьма эластичны (например, кремнийорганические каучуки). Электроизоляционные свойства кремнийорганических соединений высоки даже при повышенной температуре. Их высокая нагревостойкость дает возможность использования в композиции с нагревостойкими неорганическими материалами (слюда, стекловолокно, асбест) в виде миканитов, стеклолакотканей. Однако эти материалы сравнительно дороги и имеют низкую механическую прочность.

7.4 Эластомеры

К ним относят натуральный и синтетический каучуки.

Н а т у р а л ь н ы й к а у ч у к получают из особых растений – каучуконосов. Эти растения содержат каучук в соке (латексе), представляющем взвесь в воде мелких частиц округлой формы (глобул). Каучук выделяется при коагуляции латекса и удалении примесей. По химическому составу натуральный каучук представляет собой полимерный углеводород, имеющий состав (C₅H₈)_n и строение, характеризуемое наличием двойных связей:



Уже при нагреве до 50 °С каучук размягчается и становится липким, а при низких температурах он хрупок. Каучук растворяется в углеводородах и сероуглероде. Раствор каучука в бензине называется резиновым клеем, применяется для склеивания каучука и резины. Каучук – аморфное вещество, но в растянутом состоянии он дает рентгенограммы, характерные для кристаллических тел, имеющих упорядоченное расположение молекул в пространстве. После снятия растяжения каучук вновь приобретает свойства аморфного тела.

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

Основными видами СК, имеющими наиболее важное практическое значение, являются *бутадиеновые* (полибутадиены – продукты полимеризации бутадиена или дивинила $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$ и *бутадиен-стирольные* $[-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-]_n[-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)-]_m$, относимые к группе СК *общего назначения*, а также *бутадиен-нитрильные*, $[-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-]_n[-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CN})-]_m$, *кремнийорганические*, *полиуретановые* (содержащие в макромолекулах группы $-\text{NH}-\text{CO}-\text{O}-$) и каучуки других видов, относящиеся к СК *специального назначения*. Главное применение практически всех каучуков – переработка в резино-технические материалы и изделия.

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

При вулканизации происходит частичный разрыв двойных связей и сшивание цепочек через атомы серы. Вулканизация способствует повышению нагревостойкости и морозостойкости, механической прочности и стойкости к растворителям. Добавлением 1÷3 % серы получают мягкую резину (высокая деформация и упругость), 30÷35 % серы дают твердую резину (эбонит) – твердый материал с высокой стойкостью к ударным нагрузкам.

Резину широко применяют как электроизоляционный материал и в качестве уплотнителей. Недостатки резины: низкая нагревостойкость, малая стойкость к неполярным жидкостям (бензол, бензин), малая стойкость к действию света, особенно ультрафиолетового, озона. Содержащиеся в резине остатки свободной (не связанной химически с каучуком) серы оказывает вредное воздействие на медь (образуется сернистая медь). Поэтому резиновую изоляцию на медную жилу непосредственно не накладывают. Медь покрывают разделителем, например, оловом. На алюминий резину можно накладывать непосредственно. Чистый каучук практически неполярен, он имеет $\rho > 10^{14}$ Ом·м; $\varepsilon = 2,4$; $\operatorname{tg}\delta = 0,002$.

7.5 Слоистые пластики

Гетинакс электротехнический листовой – слоистый материал, полученный методом горячего прессования бумаги, пропитанной термореактивным связующим на основе фенолформальдегидных или эпоксидных смол. Содержание смолы в гетинаксе 40÷55 %. Иногда гетинакс фольгируют медной электролитической фольгой, облицовывают хлопчатобумажными, стеклянными или асбестовыми тканями, армируют металлической сеткой. В зависимости от назначения гетинакс выпускают нескольких марок.

Для получения листового гетинакса бумагу пропитывают спиртовым или водно-спиртовым раствором резольной смолы либо расплавленной смолой под давлением. Пропитанные листы сушат, режут, собирают в пакеты и прессуют при 150÷160 °С, затем охлаждают под давлением. Иногда гетинакс подвергают дополнительной термообработке (ступенчатому нагреву до 120÷130 °С).

Гетинакс обладает высокой механической прочностью, хорошими электроизоляционными свойствами: плотность 1,25 г/см³; теплостойкость по Мартенсу 150÷160 °С; прочность при растяжении 70÷100 МПа, прочность при статическом изгибе (по основе) 80÷140 МПа; удельная ударная вязкость 1,3÷1,5 кДж/м²; водопоглощение 0,3÷0,6 г/дм² за 24 ч; удельное поверхностное электрическое сопротивление 10^{10} ÷ 10^{12} Ом; тангенс угла диэлектрических потерь 0,07÷0,10 при частоте 1 МГц.

Гетинакс применяют как электроизоляционный материал в изделиях, длительно работающих при температурах от -65 до +120 °С; в производстве деталей телефонов, телевизоров, радиоаппаратуры и как декоративный материал для облицовки мебели, интерьеров судов и т.д. Из фольгированного гетинакса делают печатные схемы. Основную массу деталей из гетинакса изготавливают механической обработкой.

Текстолит представляет собой слоистый материал, полученный методом горячего прессования хлопчатобумажных тканей, пропитанных термореактивным связующим на основе фенолформальдегидной или эпоксидной смолы. Благодаря применению х/б тканей текстолит обладает высокой прочностью при сжатии и повышенной ударной вязкостью, прекрасно подвергается механической обработке сверлением, резанием, штамповкой, поэтому он широко применяется при изготовлении деталей, нагруженных знакопеременными электрическими и механическими нагрузками или работающих при трении (втулки, кулачки и т. п.).

Как электроизоляционный материал текстолит применяется для работы в трансформаторном масле и на воздухе в условиях нормальной относительной влажности

окружающей среды при частоте тока 50 Гц. Длительно допустимая рабочая температура от -65°C до $+105^{\circ}\text{C}$. Основные свойства приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1 Физико-механические и электрические свойства текстолита:

Наименование показателя	Величина
Плотность, 10^3 кг/м^3	1,6÷1,9
Разрушающее напряжение при изгибе перпендикулярно слоям, МПа, не менее	350
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа, не менее	220
Ударная вязкость по Шарпи параллельно слоям на образцах с надрезом, кДж/м^2 , не менее	50
Удельное объемное электрическое сопротивление после кондиционирования в условиях 24 ч/23 $^{\circ}\text{C}$ /93 %, для листов толщиной до 8,0 мм, Ом·м, не менее	10^{10}
Пробивное напряжение параллельно слоям в условиях М (90 $^{\circ}\text{C}$), трансформаторное масло, кВ, не менее	35
Удельное объемное электрическое сопротивление после кондиционирования в условиях 24 ч/23 $^{\circ}\text{C}$ /дистиллированная вода, Ом·м, не менее	$5 \cdot 10^4$
Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 1 МГц после кондиционирования 24 ч/23 $^{\circ}\text{C}$ /дистиллированная вода, не более	0,07
Водопоглощение образца толщиной 3,5 мм за 24 ч, не более	23 мг/м^2

Стеклотекстолит электротехнический листовой представляет собой слоистый материал, полученный методом горячего прессования стеклотканей, пропитанных термореактивным связующим на основе совмещенных эпоксидной и фенолформальдегидной смол. Стеклотекстолитовые листы изготавливают толщиной от 1,5 до 70 мм.

Предназначен для работы на воздухе в условиях нормальной и повышенной относительной влажности окружающей среды при напряжении свыше 1000 В и частоте тока 50 Гц. Высокая механическая прочность и электрическая стабильность позволяют проводить механическую обработку материала и использовать его для конструктивных деталей электрооборудования. Стеклотекстолит превосходит текстолит по ряду свойств: термостойкость от 140 до 180 $^{\circ}\text{C}$ против 105÷125 $^{\circ}\text{C}$ у текстолита; удельное сопротивление 10^{11} Ом·м против 10^7 Ом·м; тангенс угла потерь 0,02 против 0,07. Длительно допустимая рабочая температура от -65°C до $+155^{\circ}\text{C}$.

7.6 Электроизоляционные компаунды

Компаундами называют смеси различных изоляционных веществ (смол, битумов, эфиров, масел и т.д.), которые в момент применения находятся в жидком состоянии и твердеют после охлаждения или в результате происходящих в них химических процессов.

По назначению электроизоляционные компаунды делятся на пропиточные и заливочные.

Пропиточные компаунды служат для заполнения пор, капилляров и воздушных включений в электроизоляционных материалах, используемых, главным образом, для обмоток электрических машин, катушек аппаратов, трансформаторов и других электротехнических конструкций. После пропитки повышается электрическая прочность материала и всей конструкции в целом, улучшаются теплопроводность, теплоотдача обмоток, что позволяет увеличить мощность электрических машин и аппаратов при тех

же размерах, увеличиваются механическая прочность, влагостойкость, срок службы всей конструкции.

Заливочные компаунды используют для заполнения сравнительно больших полостей, промежутков между различными деталями, для защиты изоляции от влаги, для увеличения пробивного напряжения, для улучшения теплоотвода, повышения механической прочности и т. д.

По отношению к нагреванию электроизоляционные компаунды делятся на термопластичные и термореактивные.

Термопластичные компаунды, твердые при нормальной температуре, при нагревании размягчаются, становятся пластичными и переходят в жидкое состояние. При охлаждении снова затвердевают. Расплавление и отвердевание этой группы компаундов можно производить многократно. Для изготовления этих компаундов часто применяются нефтяные битумы в сочетании с растительными и минеральными маслами, канифолью и некоторыми термопластичными полимерами. К их числу относятся битумные компаунды.

Термореактивные компаунды в момент их применения находятся в жидком состоянии, а затем затвердевают в результате происходящих в них химических реакций. Отвердевание компаундов этой группы происходит под действием отвердителя или катализатора. После отвердевания компаунд становится твердым, неплавким и не растворимым в обычных растворителях. Эта группа компаундов также делятся на компаунды *горячего* и *холодного отвердевания*. Компаунды горячего отвердевания переходят в твердое состояние при специальной термической обработке, а компаунды холодного отвердевания переходят в твердое состояние под действием отвердителей. Из термореактивных компаундов наиболее широкое распространение в электронной технике получили эпоксидные компаунды, отличающиеся высокой механической прочностью, высокой нагревостойкостью, а также хорошими электрическими свойствами. Однако при работе с эпоксидными компаундами следует помнить, что в неотвержденном состоянии смолы, а также пары отвердителей являются токсичными веществами, поэтому необходимо защищать от попадания смолы открытые участки кожи лица и рук, а технологический процесс проводить под вытяжкой. Отвердевшие эпоксидные композиции не токсичны.

Компаунды широко применяют для пропитки и заливки отдельных узлов электро- и радиоаппаратуры, трансформаторов, дросселей, конденсаторов. Их используют также для герметизации и опрессовки дискретных полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Некоторые разновидности эпоксидных компаундов обладают высокой оптической однородностью и прозрачностью к излучению в видимой и ближней инфракрасной областях спектра. Благодаря этим свойствам они находят применение в качестве оптических согласующих (иммерсионных) сред при выводе излучения из светодиодов.

7.7 Клеи и герметики

Клеи (адгезивы) – композиции на основе веществ, способных соединять (склеивать) твердые тела благодаря образованию между соединяемыми поверхностями и клеевой прослойкой прочных адгезионных связей. В состав клеевой композиции входят отвердители и добавки (наполнители, растворители, стабилизаторы, пластификаторы и др.). Добавками регулируют специфические свойства клея – липкость (способность клея

«сцепляться» с поверхностью образца при комнатной температуре), вязкость, скорость отверждения, сохранность или жизнеспособность (время, в течение которого клей пригоден к применению), а также эксплуатационные свойства клеевой прослойки – прочность, жесткость, термо-, морозо-, атмосферостойкость и др. Клеящие свойства жидких клеев проявляются при комнатной температуре, а твердых клеев – при нагревании или действии растворителей.

По типу основы клеи подразделяют на органические и неорганические.

К неорганическим клеям относят клеи на основе клеящих веществ (связок) неорганической природы, относящиеся к группам минеральных и металлических клеев.

Минеральные клеи производят в виде порошков, растворов и дисперсий, преимущественно на основе оксидов и силикатов металлов.

Керамические клеи – композиции на основе высокоплавких оксидов Mg, Al, Si, Zr и оксидов щелочных металлов. Технология их изготовления состоит из операций сплавления компонентов, быстрого охлаждения сплава в воде, сушки, измельчения и смешения с наполнителями и другими модификаторами. Клей наносят на соединяемые поверхности изделий, которые склеивают при небольшом давлении и температуре, превышающей на 20÷50 °С температуру плавления композита. Такие клеевые соединения работоспособны до 3000 °С и применяются для склеивания керамики, металлов, графита и других термостойких материалов в авиационной и электронной промышленности.

Алюмофосфатные клеи – вязкие жидкости или пасты. Примерная рецептура клея (масс. ч.): связка – 7, смесь наполнителей – 10. Наиболее распространенный состав связки (масс. ч.): 7,5 Al₂O₃, 33,0 P₂O₅, 59,5 H₂O. В качестве наполнителей используют металлы, графит, Al₂O₃, SiO₂, TiO₂, MgO. Клеевые прослойки на основе алюмосиликатных клеев застывают при комнатной или повышенной (100÷600 °С) температурах. Клеевые соединения работоспособны в интервале температур до 2000 °С и используются при производстве электровакуумных и электронагревательных приборов в радиоэлектронной и электротехнической промышленности.

Силикатные клеи – водные растворы силикатов натрия или калия (жидких стекол) или дисперсии на их основе, которые могут содержать наполнители (глина, CuO, SiO₂) и модифицирующие добавки (P₂O₅, V₂O₅ или др.). Отверждаются при комнатной температуре или при температурах до 100 °С в результате испарения воды и коагуляции дисперсной фазы. Клеевые соединения работоспособны до 1100 °С, используются в радиоэлектронике, авиационной промышленности для склеивания керамики, стекол, металлов, картона, бумаги и других материалов.

Металлические клеи разделяют на пасты, порошки и клеи-пленки. *Клеи-пасты* получают на основе жидкого металла, например Ga ($T_{пл} \approx 30$ °С), и порошка более тугоплавкого металла (Cu, Al, Fe, Ni, Mg). Компоненты клея смешивают непосредственно перед применением при температуре, незначительно превышающей $T_{пл}$ жидкого металла. Пасту наносят на поверхности склеиваемых деталей, которые притирают друг к другу. В результате диффузии жидкого металла в поверхностный слой тугоплавких частиц и физико-химического взаимодействия компонентов в клеевом слое образуются интерметаллические соединения и твердые растворы, имеющие высокие температуры плавления. Клеи-пасты переходят в твердое состояние при комнатной или повышенной (120÷140 °С) температурах. *Клеи-порошки* готовят из легкоплавких сплавов на основе Bi,

Pb, Sn, In, Cd. *Клеи-пленки* – предварительно спеченные ленты из тугоплавких металлов, которые перед использованием пропитывают жидким металлом.

Металлические клеи придают соединительному шву высокую прочность (до 30 МПа при равномерном отрыве), тепло- и электропроводность. Клеевые соединения работоспособны при температурах выше 800 °С и используются в радиотехнической, авиационной и других отраслях промышленности для склеивания металлов, кварца, стекол, а также для соединения металлов с керамикой, кремнием, ферритами.

О р г а н и ч е с к и е к л е и подразделяют на природные и синтетические.

Природные клеи изготавливают на основе клеящих природных полимеров животного и растительного происхождения. Они могут содержать модифицирующие добавки: растворители (вода), антисептики (салициловая или борная кислота), стабилизаторы (щелочи, жидкое стекло), а также смолы, повышающие липкость (канифоль).

Животные клеи получают из материалов, богатых коллагеном, а также из казеина и продуктов его переработки. Коллаген – фибриллярный белок, составляющий основу соединительной ткани животных – кожи, связок, сухожилий, хрящей, костей. Получаемые из коллагена протеиновые клеи применяют для склеивания древесины, кожи, бумаги, для приготовления клеевых красок. Прочность клеевых соединений при сдвиге не менее 6 МПа, теплостойкость 50 °С, их недостаток – низкая водостойкость и гниение под действием микроорганизмов.

Казеин (от лат. *caseus* – сыр) – основная белковая фракция коровьего молока. Клей на основе казеина содержит добавки: канифоль, жидкое стекло, фенол. Наиболее распространен казеиновый канцелярский клей, применяемый для соединения древесины, фанеры, бумаги, картона, бумаги со стеклом, древесины с тканью. Прочность при сдвиге клеевых соединений из древесины ~10 МПа. Жидкие казеиновые клеи нетоксичны и неогнеопасны.

Наиболее распространенные **растительные клеи** изготавливают на основе крахмала, декстрина и натурального каучука. Клеи на основе крахмала используют в основном для склеивания бумаги. Декстриновые клеи (водные растворы продуктов частичного расщепления гомополисахаридов) применяют для склеивания бумаги, картона, бумаги со стеклом и древесиной. Резиновые клеи – растворы натурального каучука в бензине или его водные суспензии, обычно содержат вулканизирующие агенты и модификаторы. Применяются для склеивания кожи, тканей, бумаги и резин.

Синтетические клеи изготавливают на основе синтетических мономеров, олигомеров, полимеров или их смесей. По сравнению с другими клеями синтетические клеи получили наиболее широкое распространение в электронной технике благодаря возможности направленного изменения их свойств. Синтетические клеи чаще всего классифицируют по химической природе основы: на термореактивные (реактивные) и термопластичные. У **термореактивных клеев** при склеивании изменяется химическая структура, и они из пластичного состояния необратимо переходят в стеклообразное или эластичное в результате отверждения – протекания химической реакции поликонденсации или полимеризации. Структура **термопластичных клеев** при склеивании не изменяется, они затвердевают в результате удаления растворителей или застывания расплава. В Приложении 4 приведены основные характеристики наиболее распространенных синтетических клеев.

Область применения синтетических клеев очень широка. Их главным достоинством является способность соединять разнородные материалы, обеспечивая герметичность и стойкость соединения к воздействию окружающей среды. Наибольшее практическое применение имеют следующие синтетические клеи: на эпоксидной, полиуретановой, фенолформальдегидной основе (с температурным диапазоном применения до 100 °С); на эпоксидной основе с термостойкостью до 150 °С; на основе фенольных смол и кремнийорганических соединений с термостойкостью до 700 °С и выше.

В машиностроении наибольшее применение получили термореактивные клеи для склеивания металлических и неметаллических элементов конструкций. Прочность клеевых соединений определяется адгезией склеиваемых поверхностей к клеевой прослойке, когезией самой прослойки и поверхностных слоев соединяемых элементов, а также конструкцией соединительного шва.

Наиболее важными эксплуатационными характеристиками клеев являются стойкость к старению, водо- и атмосферостойкость, длительная и усталостная прочность. Эти характеристики прогнозируют по результатам испытаний на циклическое температурно-влажностное старение (ГОСТ 17580–82), испытаний в кипящей воде (ГОСТ 17005–82), а также по данным испытаний на прочность при сдвиге, прочность при равномерном отрыве, длительную и усталостную прочность (ГОСТ 14759–91, ГОСТ 14760–85).

Технология получения клеевых соединений включает операции приготовления клея, подготовки поверхностей склеиваемых деталей, нанесение (иногда с выдержкой для удаления растворителя и заполнения клеем микронеровностей поверхности), приведения соединяемых поверхностей в контакт, отверждение клеевого слоя. Клеи обычно наносят на поверхности деталей механическим способом, некоторые термопластичные клеи подают в зазор соединения из специальных литьевых машин под давлением. При отверждении клеевое соединение, как правило, выдерживают под давлением. Склеивание можно осуществлять также с помощью пленок или липких лент.

Герметики (герметизирующие составы) – пастообразные или вязкотекучие композиции на основе полимеров или олигомеров, отверждающиеся (вулканизирующиеся) в зазорах конструкций с образованием эластичных прослоек, предотвращающих утечки рабочих сред. По деформационно-прочностным характеристикам они занимают в номенклатуре машиностроительных материалов промежуточное положение между клеями и резинами. По консистенции герметики могут представлять собой замазки, пасты или растворы в органических растворителях. По упругости герметики разделяют на эластичные, пластичные и эластопластичные. Кроме того, существуют их классификации по теплостойкости (50÷70 °С, 100÷150 °С, свыше 200 °С), стойкости к топливам и маслам, а также по методам заполнения зазоров (шпательные, заливочные и т.д.).

Основой наиболее распространенных герметизирующих составов являются синтетические высокомолекулярные каучуки. В зависимости от механизма формирования герметизирующей прослойки различают герметики термореактивные (вулканизирующиеся) и термопластичные (невысыхающие и высыхающие).

Вулканизирующиеся герметики — это термореактивные материалы, которые в процессе герметизации из исходного текучего состояния необратимо переходят в эксплуатационное эластичное состояние. В эту группу герметиков входят:

- вулканизирующиеся составы на основе полисульфидных, силиконовых, фторсилоксановых и некоторых других каучуков;
- сшивающиеся под действием отвердителей составы на основе низкомолекулярных каучуков и олигомеров с реакционноспособными группами OH, COOH, SH, NCO и др;
- анаэробные герметики на основе смол акрилового или метакрилового ряда, не содержащие растворителей; характерной особенностью анаэробных композиций является способность сохранять исходную текучесть в течение длительного времени в присутствии кислорода и быстро полимеризоваться с образованием прочной пленки в зазорах деталей при отсутствии кислорода или при малом его доступе в зазор.

Невысыхающие герметики – термопластичные материалы, обратимо переходящие из исходного вязкотекучего в эксплуатационное пластическое или эластопластическое состояние. Их основой являются высокомолекулярные и низкомолекулярные каучуки (полиизобутиленовый, бутилкаучук, этилен-пропиленовый), полностью насыщенные или с малым количеством двойных связей в молекулах.

Высыхающие герметики (также относящиеся к термопластичным материалам) представляют собой растворы резиновых смесей в органических растворителях, но в отличие от невысыхающих – находящиеся при эксплуатации в эластическом состоянии. При добавлении растворителя они снова переходят в вязкотекучее состояние. Такие герметики получают на основе высокомолекулярных вулканизирующихся синтетических каучуков (бутадиен-стирольных, бутадиен-нитрильных, хлорпреновых и др.), а также на основе термоэластопластов (бутадиен-стирольных, изопрен-стирольных, уретановых и др.) в сочетании со смолами.

Основные эксплуатационные характеристики герметиков: жизнеспособность – период времени до использования, в течение которого сохраняются их технологические свойства; газонепроницаемость при рабочих температурах в различных средах; адгезия к поверхности детали герметизируемого соединения; разрушающее напряжение при растяжении и относительное удлинение при разрыве, плотность герметизирующей прослойки, а также технологичность процесса герметизации.

Процесс герметизации включает приготовление герметика, подготовку поверхности деталей, образующих герметизируемое соединение, нанесение герметика, его вулканизацию или отверждение. Герметизация может быть внутришовной, поверхностной и комбинированной (рис. 7.3). Для внутришовной герметизации, которую осуществляют, заполняя герметиком зазор в конструкции, применяют обычно уплотнительную ленту (ткань, пропитанную невысыхающей замазкой) или самовулканизирующуюся пасту. Поверхностную герметизацию осуществляют после сборки соединения, нанося на него покрытие из низковязких герметиков, в состав которых могут входить растворители. Выбор способа герметизации определяется конструкцией соединения и условиями его эксплуатации. Так, для уплотнения емкостей с агрессивными жидкостями, находящимися под избыточным давлением, используют комбинированную герметизацию, для жестких конструкций с небольшими зазорами – поверхностную.

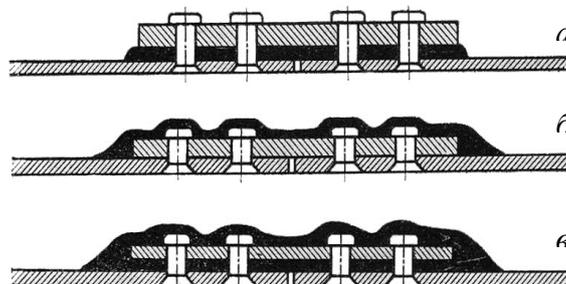


Рис.7.3 Схемы герметизации заклепочных соединений (слой герметика зачернен): *а* – внутришовная; *б* – поверхностная; *в* – комбинированная.

В современной технике герметики широко используются в следующих конструкциях: для уплотнения болтовых, заклепочных, резьбовых, фланцевых и других неподвижных соединений; герметизации ветровых стекол, бензобаков, кузовов транспортных средств; переборок, надстроек и палуб судов; корпусов бытовых машин. Герметики применяют для обеспечения непроницаемости кабин самолетов, топливных отсеков, радиаторов, трубопроводов, спускаемых аппаратов, контейнеров с электроприборами и радиоаппаратурой.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ ФРАНЦИСКА СКОРИНЫ