

14 Органические электроизоляционные материалы

Волокнистые изоляционные материалы

Большинство применяемых в электротехнике волокнистых материалов состоят из органического полимера – целлюлозы. Это дерево, бумага, картон и хлопчатобумажные ткани. Диэлектрическая проницаемость целлюлозы $\epsilon \approx 6,6$; $\text{tg}\delta \approx 0,02$. Кроме целлюлозы в изоляционных целях используются материалы из шёлковых, искусственных, синтетических, стеклянных и асбестовых волокон.

Благодаря упорядоченному строению волокно обладает особой прочностью и гибкостью. Общим недостатком волокнистых материалов является большая гигроскопичность. Поэтому в большинстве случаев волокнистая изоляция пропитана жидкими диэлектриками либо совместно с полимерами образует композиционные материалы.

Дерево применяют для изготовления штанг, рукояток, опорных и крепежных деталей масляных трансформаторов, опор линий электропередачи и связи.

Для изготовления электротехнических *бумаг* и *картонов* используют щелочную целлюлозу желтоватого цвета, имеющую большую прочность, чем белая кислотная. Выпускают следующие разновидности бумаг: *кабельную* – для изоляции жил силовых кабелей, *телефонную* – для кабелей связи, пропиточную – для изготовления гетинакса, конденсаторную, *микалентную* – для подложки микаленты. *Картон* отличается от бумаг большей толщиной.

Фибру изготавливают из слоёв бумаги, пропитанной раствором хлористого цинка. Применяют в качестве конструкционного дугогасящего материала.

Текстильные материалы применяют для изоляции обмоточных проводов и шин, а также для изготовления лакотканей и текстолитов.

Изоляционные масла

Наибольшее распространение получило *трансформаторное масло* – жидкость от почти бесцветного до тёмно-жёлтого цвета, представляющая собой смесь различных углеводородов. Получается из нефти посредством её ступенчатой перегонки с последующей тщательной очисткой от химических примесей. Основные области применения трансформаторного масла – силовые маслonaполненные трансформаторы и высоковольтные масляные выключатели.

Заполняя поры волокнистой изоляции, масло существенно повышает её электрическую прочность, улучшает отвод тепла от обмоток и сердечников, а в масляных выключателях способствует гашению электрической дуги, возникающей между расходящимися контактами.

По своим электрическим характеристикам хорошо очищенное от примесей и влаги трансформаторное масло имеет свойства неполярного диэлектрика: $\epsilon = 2,2-2,3$; $\text{tg}\delta \leq 0,003$; $\rho = 10^{12}-10^{13}$ Ом·м (характеристики приведены для $t = 20$ °С и $f = 50$ Гц).

Недостатком трансформаторного масла является его горючесть.

Конденсаторное масло служит для пропитки бумажной изоляции конденсаторов и отличается особо тщательной очисткой адсорбентами.

Кабельные масла используются для пропитки бумажной изоляции силовых кабелей. Для увеличения вязкости в них добавляют канифоль или синтетический загуститель.

Электроизоляционные лаки и компаунды

Лаки это растворы смол, битумов и высыхающих масел в летучих растворителях. При сушке лака растворитель улетучивается, а лаковая основа полимеризуется, образуя лаковую плёнку. По назначению лаки подразделяют на: пропиточные, покровные и клеящие.

Путём пропитки лаком изготавливают лакоткани и лакобумаги.

Покровные лаки образуют механически прочную, гладкую, влагостойкую плёнку на поверхности диэлектрика или металла.

Клеящие лаки используют, например, для склеивания между собой листочков расщеплённой слюды при изготовлении миканитов или для приклеивания их к бумажным подложкам микаленты.

По составу различают лаки: бакелитовые, глифталевые, кремнийорганические, поливинилхлоридные, нитроцеллюлозные, масляные, битумные и другие.

Компаундами называют смеси различных изоляционных веществ (смола, битумов и т. д.), которые переходят из жидкого состояния в твёрдое при остывании или благодаря вводимым в них отвердителям. В составе компаунда могут быть пластификаторы, наполнители, разбавители и т. д. По назначению компаунды делят на две основные группы: пропиточные и заливочные.

Различают термопластичные и терморезистивные компаунды.

Термопластичные компаунды размягчаются при нагревании и отвердевают при охлаждении. К их числу относятся битумные компаунды, которые представляют собой сложные смеси углеводородов.

Терморезистивные компаунды необратимо отверждаются в результате химических реакций. Они, как правило, обладают более высокой нагревостойкостью по сравнению с термопластичными компаундами, так как при нагревании уже не размягчаются. Однако заливка терморезистивным компаундом практически исключает возможность ремонта детали или прибора в случае их повреждения. К числу терморезистивных относятся компаунды на основе полиэфирных, кремнийорганических и эпоксидных смол. Эпоксидные компаунды обладают малой усадкой при затвердевании, исключительной прочностью и весьма высокими влагозащитными свойствами. После добавления в эпоксидную смолу

полиэтиленполиамина в соотношении 1:10 и перемешивания она застывает с небольшим нагревом.

Композиционные пластмассы и слоистые пластики

Композиционные пластмассы, предназначенные для изготовления изделий методом горячего прессования или литья под давлением, состоят из связующего вещества – полимера и наполнителей (древесная мука, очёсы хлопчатника, каолин, кварцевый песок, асбестовое или стеклянное волокно и т. д.), а также красителей и пластификаторов.

Широкое применение для изготовления изоляционных плат, в том числе и для печатного монтажа, нашли слоистые пластики – гетинакс и текстолит.

Гетинакс изготавливают из слоёв бумаги, пропитанной спиртовым или водно-спиртовым раствором резольной фенолформальдегидной смолы. Слоистое строение гетинакса приводит к анизотропии свойств. Вдоль слоёв удельное объёмное сопротивление гетинакса в 50–100 раз, а электрическая прочность в 5–8 раз ниже, чем поперёк. Перпендикулярно слоям электрическая прочность составляет около 30 МВ/м, $\epsilon = 6-7$, а $\text{tg}\delta = 0,04-0,08$ (на частоте 10^6 Гц).

Текстолит – слоистый пластик, аналогичный гетинаксу, но при его изготовлении используют хлопчатобумажную ткань, либо ткани из синтетических волокон. Если в качестве наполнителя использовать ткань из стеклянных волокон, то получим материал под названием стеклотекстолит, а если асбест – асботекстолит. Связующим веществом в этих материалах служат эпоксидные или полиэфирные смолы.

Для изготовления печатных плат на гетинакс и текстолит (стеклотекстолит) с одной или с двух сторон приклеивают тонкие слои медной фольги толщиной 0,035–0,05 мм. Требуемый рисунок печатной схемы получают путём её травления в растворе хлорного железа.

Полимеры

Полиэтилен – основной полимерный материал для высокочастотной и высоковольтной изоляции. Структурную формулу *полиэтилена* можно записать в виде $[-\text{CH}_2-\text{CH}_2-]_n$, где n – степень полимеризации, т. е. число молекул мономера этилена, объединяющихся в молекулу полимера. $\varepsilon = 2,2-2,4$; $\text{tg}\delta = 2-5 \cdot 10^{-4}$; $\rho = 10^{14}-10^{16}$ Ом·м, $E_{\text{пр}} = 40-150$ МВ/м. В последнее время всё шире применяется изоляция из сшитого (вулканизированного) полиэтилена. Сшивание линейных молекул полиэтилена в пространственную структуру происходит при радиоактивном облучении и повышает механическую прочность и нагревостойкость. Широко применяются изоляционные трубки и муфты из термоусаживаемого полиэтилена.

Поливинилхлорид (ПВХ) – твёрдый продукт полимеризации газа винилхлорида $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{Cl}$, представляющего собой этилен, в молекуле которого один атом водорода замещен атомом хлора. $\varepsilon = 3-6$; $\text{tg}\delta = 0,01-0,06$; $\rho = 10^{11}-10^{14}$ Ом·м, $E_{\text{пр}} = 15-50$ МВ/м.

Благодаря сильным межмолекулярным взаимодействиям поливинилхлорид является материалом жестким и негибким. Для придания эластичности к ПВХ добавляют пластификаторы – органические полярные жидкости с высокой точкой кипения.

Политетрафторэтилен (ПТФЭ, фторопласт-4, тефлон) получают путём полимеризации тетрафторэтилена $\text{F}_2\text{C} = \text{CF}_2$ (этилен, в молекуле которого все четыре атома водорода замещены атомами фтора). $\varepsilon = 1,9-2,2$; $\text{tg}\delta = 2-3 \cdot 10^{-4}$; $\rho = 10^{14}-10^{16}$ Ом·м, $E_{\text{пр}} = 40-250$ МВ/м.

Среди всех органических полимеров ПТФЭ выделяется высокой нагревостойкостью (около 300 °С) и очень высокой стойкостью к действию химических реагентов. Так, на него совершенно не действуют серная, соляная, азотная и плавиковая кислоты, щелочи и т. п. По стойкости к химически активным веществам ПТФЭ превосходит золото и платину. Он негорюч, не растворяется ни в

одном из известных растворителей, негигроскопичен и не смачивается водой и другими жидкостями.

Резины

Резины – это материалы на основе каучука (натурального или синтетического). Чистый каучук практически неполярен, его удельное сопротивление $\rho \approx 10^{14}$ Ом·м, $\epsilon = 2,4$, $\text{tg}\delta = 0,002$. При добавлении серы и нагревании происходит вулканизация каучука. Если серы 1–3 % получают мягкую резину, если 30 % и более – эбонит. Резины применяют для изоляции гибких проводов, шнуров и кабелей, а также для защитных перчаток, галош, ковриков.

Хлоропеновый каучук (наирит, неопрен), отличается стойкостью к действию масла, бензина, озона и других окислителей, а также не поддерживает горения. Он используется для защитных оболочек кабелей.

Кремнийорганические (силиконовые) каучуки отличаются высокой нагревостойкостью (до 250 °С), устойчивостью к дуге и скользящим разрядам. Применяются для покрытия стеклопластиковых изоляторов.