

Удельное электрическое сопротивление металлов зависит также от целого ряда других показателей: температуры, вида обработки (прокатка, волочение, отжиг), загрязняющих примесей и т. п. Например, с ростом температуры и после механической обработки, вызывающей остаточные деформации в металлах удельное электрическое сопротивление их увеличивается. Поэтому в случае холодной обработки металлов при получения изделий (проводов воздушных линий, троллейных проводов) с повышенным пределом прочности при растяжении, их затем подвергают термической обработке (отжигу без доступа кислорода), что позволяет вернуть проводам прежнюю величину удельного сопротивления.

К основным проводниковым изделиям из металлов относят медную и алюминиевую проволоку для изготовления жил неизолированных и изолированных проводов, кабельной продукции и т.п. Медная проволока выпускается круглого и прямоугольного сечений, мягкой (ММ) и твердой (МТ). Толщина проволоки прямоугольного сечения (ПММ и ПМТ) – 0,08...5 мм, ширина – в пределах 2...30 мм, диаметр круглого сечения – 0,02...11 мм. Сечение прямоугольной проволоки с учетом закруглений ее углов составляет 1,46...149,14 мм².

Круглая алюминиевая проволока выпускается мягкой (АМ), полутвердой (АПТ) и твердой (АТ) диаметром 0,1...18,0 мм, прямоугольная – мягкой (ПАМ) и твердой (ПАТ) шириной 2...18 мм при толщине 0,8...5,6 мм. Диапазон сечений ее 1,46...100 мм².

8.3. Свойства электроизоляционных материалов

Основными свойствами электроизоляционных материалов (диэлектриков), определяющими их техническое применение, являются электропроводность, поляризация и диэлектрические проницаемость и потери, электрический пробой и старение, а также ряд физических, механических и химических характеристик.

Электропроводность диэлектрических материалов обусловлена существованием в них весьма небольшого количества свободных зарядов: электронов (дырок), ионов, молионов (частиц твердых диэлектриков коллоидных размеров 10^{-6} м, которые заряжаются, адсорбируя имеющиеся в жидкости ионы). В твердых диэлектриках имеются два пути протекания

ния электрического тока: сквозь объем диэлектрика и по его поверхности. Поэтому сопротивление, которым обладает диэлектрик при протекании постоянного тока через его объем называют *удельным объемным сопротивлением*. Величина, обратная удельному объемному сопротивлению, называется *удельной объемной проводимостью*.

Удельное поверхностное сопротивление – величина, позволяющая оценить электрическое сопротивление материала при протекании постоянного тока по всей поверхности между электродами. Величина, обратная удельному поверхностному сопротивлению, называется *удельной поверхностной проводимостью*. Объемное и поверхностное сопротивление определяются экспериментально.

В диэлектриках под действием внешнего электрического поля заряды, входящие в каждую молекулу, смещаются в пределах этой молекулы в противоположных направлениях, в результате чего в каждом элементе появляется дипольный момент, отличный от нуля. Ограниченное смещение связанных зарядов диэлектрика или ориентацию дипольных молекул под действием электрического поля называют *поляризацией* (фр. *polarization* от греч. *polos* – ось, полюс). Поляризация приводит к появлению дипольного момента у всего объема диэлектрика. Поляризованное состояние диэлектрика в электрическом поле характеризуется электрическим моментом единицы объема и поляризованностью, которая связана с его относительной диэлектрической проницаемостью.

Диэлектрическая проницаемость характеризует способность материала создавать электрическую емкость и представляет собой отношение заряда, полученного при некотором напряжении на конденсаторе, содержащем данный диэлектрик, к заряду, который можно было бы получить в конденсаторе тех же размеров и при том же напряжении, если бы между электродами находился вакуум. Практически величина диэлектрической проницаемости любого диэлектрика всегда больше единицы (величина безразмерная) и зависит от химического состава и строения (2...17 – у жидких и твердых диэлектриков), у газов (вследствие их малой плотности) – близка к единице (1,00058), а в вакууме равна единице. Диэлектрическая проницаемость изменяется также с изменением температуры (с увеличением температуры она понижается) и частоты приложенного к диэлектрику напряжения.

ного связующих не происходит вспучивания или расслоения материала даже до температуры 170...180 °С, при которой связующие уже начинают обугливаться.

Текстолитовые электротехнические стержни – изделия круглого сечения, изготовленные путем намотки ткани из натурального хлопка, предварительно пропитанной терморезистивной смолой с последующим горячим прессованием в специальных формах. Стержни выпускаются диаметром 8...60 мм при длине заготовки до 1000 мм и используются в качестве конструкционного и электроизоляционного материала. Длительно допустимая рабочая температура от –65 до +120 °С в трансформаторном масле и на воздухе при тех же рабочих температурах в условиях относительной влажности 45...75 %.

Электроизоляционные бумаги получают из древесины путем химической переработки технической целлюлозы. Затем ее перерабатывают в конденсаторную, кабельную и другие виды электроизоляционной бумаги.

Конденсаторная бумага является наиболее тонкой и высококачественной. Ее выпускают следующих марок: КОН – обычная, СКОН – специально улучшенного качества, МКОН – с малыми диэлектрическими потерями, ЭМКОН – с высокой электрической прочностью и малыми потерями, АНКОН – адсорбентная, с малыми диэлектрическими потерями и повышенной электрической прочностью. За буквенными символами следуют цифры, указывающие на плотность бумаги (г/см³). В зависимости от марки номинальная толщина ее составляет 4...30 мкм.

Кабельная бумага маркируется символами (К – однослойная, М – многослойная, П – более прочная, В – высоковольтная, С – стабилизированная, У – уплотненная) и цифрами, указывающими номинальную толщину (мкм).

Электротехнический картон (электрокартон) изготавливают из древесной целлюлозы или смеси хлопчатобумажных волокон и древесной целлюлозы, взятых в разных соотношениях. В отличие от электробумаги электрокартон имеет большую толщину (0,1...3 мм). Толщиной 0,1...0,8 мм выпускается в рулонах, а от 1 мм и выше – в листах различных размеров. С целью уменьшения гигроскопичности картон в системе изоляции пропитывают соответствующими лаками и компаундами, после чего на его поверхность наносится слой покрывного лака или эмали.

териала и использовать его для конструкционных деталей электрооборудования.

Асботекстолит получают путем горячего прессования двух и более слоев асбестовой ткани, пропитанной фенолоформальдегидной смолой.

Гетинакс электротехнический листовой (ГОСТ 2718) представляет собой слоистый листовой материал, полученный методом горячего прессования двух и более слоев специальной бумаги, пропитанной терморезактивным связующим на основе фенолоформальдегидных или эпоксидных смол. Изготавливается в листах толщиной 0,4...50 мм с длительно допустимой рабочей температурой от -65 до $+120$ °С. Рекомендуются для применения в низковольтной технике до 1000 В для работы на воздухе в условиях нормальной относительной влажности окружающей среды и в трансформаторном масле.

Наилучшими электроизоляционными свойствами из рассмотренных выше слоистых пластиков обладает гетинакс, сравнительно хорошими – стеклотекстолит, наиболее низкие электроизоляционные свойства имеют текстолит и асботекстолит. Однако это оказывается справедливым, если слоистые пластики работают в трансформаторном масле или при сравнительно невысоких относительной влажности воздуха и температуре.

При высокой же относительной влажности окружающей среды и при повышенной температуре стеклотекстолит оказывается намного лучше по показателям удельного электрического сопротивления и тангенса угла диэлектрических потерь, чем гетинакс, который пригоден при этих условиях только для применения в низковольтной аппаратуре. Кроме того, у гетинакса при длительном нагревании при температурах выше 100 °С наступает также довольно сильное старение наполнителя, что приводит к снижению его механических и электроизоляционных свойств. В то же время, например, у стеклотекстолита марки СТ-ЭТФ, изготовленного с применением модифицированного эпоксидного связующего, после продолжительной выдержки при температуре 180 °С, электрическая прочность остается на высоком уровне и мало отличается от типичных показателей при комнатной температуре.

У большинства видов гетинакса при температуре порядка 150 °С происходит также вспучивание материала или его растрескивание. В то же время у стеклотекстолитов, если они изготавливаются на основе фенолоформальдегидного или эпоксид-

Используется электрокартон в низковольтных электрических машинах и аппаратах в качестве всевозможных прокладок, каркасов катушек, пазовой изоляции самостоятельно либо в сочетании с полиэтилентерефталатной пленкой.

Пленкоэлектрокартон – гибкий электроизоляционный материал, состоящий из изоляционного картона, оклеенного с одной стороны лавсановой пленкой. Пленкоэлектрокартон на лавсановой пленке имеет толщину 0,27 и 0,32 мм. Его выпускают в рулонах шириной 500 мм.

Фибра представляет собой многослойный пергаментированный картон. Получают пропиткой непроклеенной тряпичной (содержащей в равных количествах хлопковую и древесную облагороженную целлюлозу) тонкой бумаги концентрированным раствором хлорида цинка и последующим прессованием. Для повышения водостойкости фибра иногда пропитывается парафином или воском.

Пленочные электроизоляционные материалы (пленки и ленты) изготавливают в основном из полимеров (полиэтилена, полистирола, полихлорвинила, полиэтилентерефталата и др). Они отличаются большой гибкостью, сравнительно высокой прочностью и хорошими электроизоляционными характеристиками. Пленки выпускаются толщиной 5...250 мкм, а ленты – 0,2...3,0 мм. Ленты могут быть бесклеевые и с липким слоем. Применяются для изготовления обмоток электрических машин, аппаратов и проводов.

Электроизоляционные лакированные ткани (лакоткани) получают путем пропитки ткани (основы) соответствующими лаками или другими электроизоляционными составами с целью придания материалу определенных диэлектрических свойств. В результате получается гибкий, тонкий, в некоторых случаях достаточно эластичный и растяжимый материал, с обеих сторон покрытый прочной лаковой пленкой.

Электрические свойства лакотканей в основном определяются видом и качеством лаковых пленок, а механические – преимущественно свойствами тканевой основы. В зависимости от тканевой основы лакоткани делятся на хлопчатобумажные, шелковые, капроновые и стеклянные (стеклоткани). Пропиточными составами являются масляные, масляно-битумные, эскапоновые и кремнийорганические лаки, а также кремнийорганические эмали, растворы кремнийорганических каучуков и др.

Лакоткани применяются в электромашино- и аппаратостроении в виде всевозможных гибких элементов (межслойная и пазовая изоляция, обмотка секций, стержней, проводов и т.п.), работающих в разных средах: на воздухе с переменной влажностью, включая тропическую, в маслах различного состава и температуры, в химически агрессивных средах и др.

Лакоткани поставляются намотанными на картонную гильзу в рулонах различного метража и упакованными в парафинированную и оберточную бумагу. К лакотканям относятся также электроизоляционные трубки, полученные путем пропитки лаками плетеных трубок.

Лакобумаги являются заменителями лакотканей. Они имеют достаточно высокие электроизоляционные свойства и дешевле лакотканей, но механические свойства их ниже.

Пленкоасбестокартон – гибкий электроизоляционный материал, состоящий из лавсановой пленки толщиной 50 мкм, оклеенной с двух сторон асбестовой бумагой толщиной 0,12 мм. Пленкоасбестокартон выпускают в листах 400 × 400 мм и более и толщиной 0,3 мм.

Лаки представляют собой растворы пленкообразующих веществ (смола, битумов, высыхающих масел, эфиров целлюлозы или их композиций) в органических растворителях. По назначению лаки подразделяются на *пропиточные, покровные и клеящие*.

Эмали по составу являются пигментированными лаками. Пигменты (охра, сурик, оксид цинка) вводятся в лак не только с целью придания соответствующего цвета, но и повышения твердости, прочности, влагостойкости эмалевых пленок.

Компаунды тоже представляют собой смеси различных смол, битумов, масел, наполнителей, пластификаторов, отвердителей, но не содержащие растворителя. В момент применения при нормальной или повышенной температуре они находятся в жидком состоянии, а после нанесения затвердевают в результате охлаждения или происходящих химических процессов. Из-за отсутствия растворителей компаунды лучше лаков обеспечивают герметизацию узлов и деталей электрических машин и аппаратов.

По назначению компаунды подразделяются на *пропиточные* и *заливочные*. Особую группу составляют *порошкообразные* компаунды, применяемые для напыления изоляции.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что представляют собой электроизоляционные материалы?
2. Приведите классификацию электроизоляционных материалов.
3. Какими показателями оценивается качество электроизоляционных материалов?
4. Перечислите и охарактеризуйте основные виды листовых композиционных электроизоляционных материалов.
5. Дайте качественную оценку электроизоляционным материалам (текстолиту, стеклотекстолиту и гетинаксу) в зависимости от различных условий эксплуатации.
6. Что представляют собой электроизоляционные ленточные материалы?
7. Перечислите и охарактеризуйте основные виды пленок и лент, применяемых в качестве электроизоляционных материалов.