

Глава II. МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СИЛОВОМ КОНДЕНСАТОРОСТРОЕНИИ

§11. Общие сведения об электротехнических материалах

Применяемые в электротехнике материалы, из которых изготавливают активные части электрических машин, аппаратов и других электротехнических устройств, называются электротехническими и обладают свойствами, отличными от свойств обычных материалов. Все электротехнические материалы можно разделить на четыре группы.

К первой группе относятся проводниковые материалы (проводники), обладающие высокой электропроводностью. Проводниковые материалы служат для изготовления токоведущих частей электротехнических машин, аппаратов и устройств.

Ко второй, более обширной, группе относятся непроводниковые или электроизоляционные материалы (диэлектрики), обладающие свойствами, противоположными свойствам проводников. Эти материалы применяют для изоляции токоведущих частей установок друг от друга или заземленных элементов.

К третьей группе относятся полупроводниковые материалы (полупроводники), по своей электропроводности занимающие промежуточное место между проводниками и диэлектриками. Ввиду особых свойств эти материалы служат для изготовления выпрямителей, усилителей, фотоэлементов и т. д.

К четвертой группе относятся магнитные материалы (железо, никель, кобальт и их сплавы). Магнитные материалы применяют для создания магнитопроводов (путей с малым магнитным сопротивлением) в электрических машинах, аппаратах и приборах.

Электротехнические материалы указанных групп обладают большим разнообразием электрических и физико-химических свойств. Знание этих свойств и правильный выбор материалов позволяют создавать современные экономичные и надежные в работе конструкции электрических машин, аппаратов и приборов.

В силовом конденсаторостроении используют электротехнические материалы только первых двух групп — проводниковые и электроизоляционные.

§ 12. Проводниковые материалы

К группе проводниковых материалов относятся все металлы и их сплавы, которые обладают электронной проводимостью и могут быть подразделены на материалы высокой проводимости и материалы высокого сопротивления.

Основными характеристиками проводниковых материалов являются: удельное сопротивление, температурный коэффициент сопротивления, теплопроводность, температура плавления, механическая прочность, плотность и др. Физические свойства некоторых проводниковых материалов приведены в табл. 1.

Из указанных в таблице проводниковых материалов в силовом конденсаторостроении применяют главным образом алюминий, медь, латунь и железо.

Таблица 1. Основные физические свойства некоторых проводниковых материалов

Металл или сплав	Плотность, кг/м ³ · 10 ³	Температура плавления, °С	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К)	Удельное сопротивление, Ом · м · 10 ⁻⁶	Температурный коэффициент сопротивления, К ⁻¹
<i>Металлы</i>					
Медь	8,9	1083	93	0,0172	0,0043
Алюминий	2,7	657	202	0,0280	0,0042
Железо	7,8	1535	63	0,0980	0,0060
Серебро	10,5	961	111	0,0160	0,0040
Олово	7,3	232	66	0,1200	0,0044
Свинец	11,4	327	35	0,2100	0,0037
Цинк	7,1	420	111	0,0590	0,0040
Никель	8,8	1455	67	0,0730	0,0065
Ртуть	13,6	—39	8	0,9580	0,0009
<i>Сплавы</i>					
Латунь	8,5	900	105	0,071	0,0017
Бронза	8,8	900	204	0,052	0,0015
Нихром	—	1375	17	1,0—1,2	0,0001—0,0004
Константан	8,9	1270	—	0,48—0,52	0,000005

Алюминий — легкий металл, обладает небольшим удельным сопротивлением, высокой теплопроводностью, хорошо обрабатывается и относительно дешев. На воздухе алюминий очень быстро покрывается тонкой пленкой окисла, которая надежно защищает металл от дальнейшей коррозии. Недостатком алюминия является сравнительно низкая прочность при разрыве и трудность пайки.

В силовом конденсаторостроении алюминий в виде тонкой фольги (ГОСТ 618—73) применяют в качестве обкладок конденсаторов. Используется главным образом фольга толщиной 0,005—0,007 и 0,016 мм и шириной от 95 до 270 мм, поставляемая в виде рулонов.

Медь является главным проводниковым материалом вследствие высокой электропроводности, теплопроводности, пластичности и стойкости к атмосферной коррозии.

По электропроводности медь занимает второе место после серебра. Медь высокой степени чистоты получают электролитическим способом.

В конденсаторном производстве тонкая медная, проволока служит для изготовления секционных предохранителей. Из медной фольги выполняют токоподводы секций. Рулонную ленту используют для изготовления соединительных шин при сборке схемы пакетов конденсаторов. Из круглой меди различных сечений выполняют выводы конденсаторов и т. д.

Медь — очень ценный проводниковый материал, поэтому ее необходимо расходовать экономно и, если возможно, заменять менее дефицитными материалами. Отходы меди следует тщательно собирать, не смешивая с другими материалами, переплавлять и повторно использовать в электротехнических устройствах.

Латунь — сплав меди с цинком. Наибольшее содержание цинка в латуни может достигать до 45%. По сравнению с медью латунь обладает меньшей электропроводностью, однако благодаря высокой пластичности имеет технологические преимущества при обработке штамповкой, глубокой вытяжкой и т. д.

В силовом конденсаторостроении применяют латуни двух марок: ЛС59-1 — для изготовления выводов изоляторов и крепежных деталей и Л63 — для выполнения корпусов конденсаторов повышенной частоты, используемых в электротермических установках. Латунь для корпусов применяют как немагнитный материал, чтобы уменьшить потери от вихревых токов, которые при повышенных частотах оказывают заметное влияние на нагрев конденсаторов в стальных корпусах.

Железо (и его сплавы) относится к магнитным материалам. В технике применяют главным образом сталь, представляющую собой сплав железа с углеродом.

Применение железа и стали в электротехнике несколько ограничивается их низкой коррозионной стойкостью (они легко окисляются на воздухе — ржавеют) и повышенным удельным электрическим сопротивлением по сравнению с медью и алюминием.

В производстве конденсаторов применяют углеродистые стали. Для изготовления щек, хомутов и корпусов конденсаторов чаще всего используют тонколистовую (1—2 мм) сталь 08кп (ГОСТ 16523—70). Толстолистовая сталь (14—16 мм) служит для производства крышек кон-

денсаторов связи. Прутковая сталь используется для изготовления крепежа.

Наряду с указанными проводниковыми материалами, применяемыми в качестве основных, в конденсаторном производстве используют и такие материалы, как цинк, никель и олово, которые применяют для гальванического покрытия различного рода деталей конденсаторов, чтобы предохранить их от коррозии.

§ 13. Электроизоляционные материалы

Электроизоляционные материалы, или диэлектрики, применяемые в конденсаторостроении, выполняют две основные функции: обеспечивают изоляцию токоведущих частей друг от друга и от корпуса и создают емкость конденсатора.

Электроизоляционные материалы разделяют на твердые, жидкие и газообразные, а по химическому составу — на органические, в состав которых входит углерод, и неорганические, не содержащие углерода. Качество электроизоляционных материалов характеризуется электрическими свойствами: электрической прочностью, электропроводностью, диэлектрической проницаемостью и диэлектрическими потерями. Кроме того, в практике для применения электроизоляционных материалов важное значение имеют и их общие физико-химические свойства: механическая прочность, нагревостойкость, влагопоглощаемость, химическая стойкость и др.

Твердые электроизоляционные материалы. В силовом конденсаторостроении применяют следующие электроизоляционные материалы: конденсаторную и кабельную бумагу, электроизоляционный картон, гетинакс, текстолит, установочную керамику (электрофарфор, стеатит и др.), синтетические пленки (полистирол, полипропилен, лавсан и др.).

Конденсаторная бумага — это основной вид твердого органического диэлектрика при производстве силовых конденсаторов. Сырьем для изготовления конденсаторной бумаги служит сульфатная целлюлоза, или клетчатка, получаемая из древесины химической обработкой ее в щелочной среде.

Клетчатка относится к классу углеводов и является природным высокомолекулярным веществом, состав которого выражается формулой $C_6H_{10}O_5$. Полимерные мо-

лекулы клетчатки представляют собой длинные цепочки, состоящие из простых молекул. Эти цепочки образуют волокна клетчатки. Для получения бумаги или картона волокна клетчатки подвергают размолу в воде. Затем бумажная масса поступает в бумагоделательные машины, на сетке которых она формируется в бумажное полотно. После сушки и каландрирования (уплотнения) бумагу разрезают и сматывают в бобины.

Конденсаторная бумага отличается малой толщиной (от 4 до 30 мкм), высокой плотностью и небольшим содержанием неорганических примесей.

При изготовлении силовых конденсаторов в настоящее время преимущественно используют бумагу толщиной 10—15 мкм. Конденсаторную бумагу выпускают трех видов: обычную КОП (конденсаторную) и с улучшенными диэлектрическими свойствами, МКОН (малопотерную конденсаторную) по ГОСТ 1908—77 и специальную оксидную АНКОН (с активным наполнителем, конденсаторную с содержанием до 5% окиси алюминия, выпускаемую по ТУ). Окись алюминия, являясь хорошим адсорбентом, поглощает содержащиеся в пропитывающей жидкости конденсаторов ионы загрязнений, в результате чего снижается тангенс угла потерь конденсаторов. Это особенно важно при пропитке конденсаторов хлорированными дифенилами.

Бумагу изготовляют плотностью $0,8 \cdot 10^3$; $1 \cdot 10^3$ и $1,2 \cdot 10^3$ кг/м³. Микрофотографии бумаги приведены на рис. 10.

Волокнистое строение бумаги обуславливает ее большую пористость. Объем пор в воздушно-сухой конденсаторной бумаге в зависимости от плотности составляет 15—45%. Пористостью и полярностью клетчатки объясняется высокая влагопоглощаемость бумаги. Конденсаторная бумага обычно содержит 7—10% воды по массе. В зависимости от плотности и толщины воздухопроницаемость этой бумаги 2—7 см³/мин. Разрывная длина в продольном направлении составляет не менее 8000 м. Зольность абсолютно сухой бумаги не превышает 0,4%.

При нормальной температуре конденсаторная бумага является химически устойчивым материалом. Однако при нагревании в ней начинаются химические процессы, приводящие к ее разрушению. При температуре 120—130° С. бумага заметно окисляется и механическая прочность ее

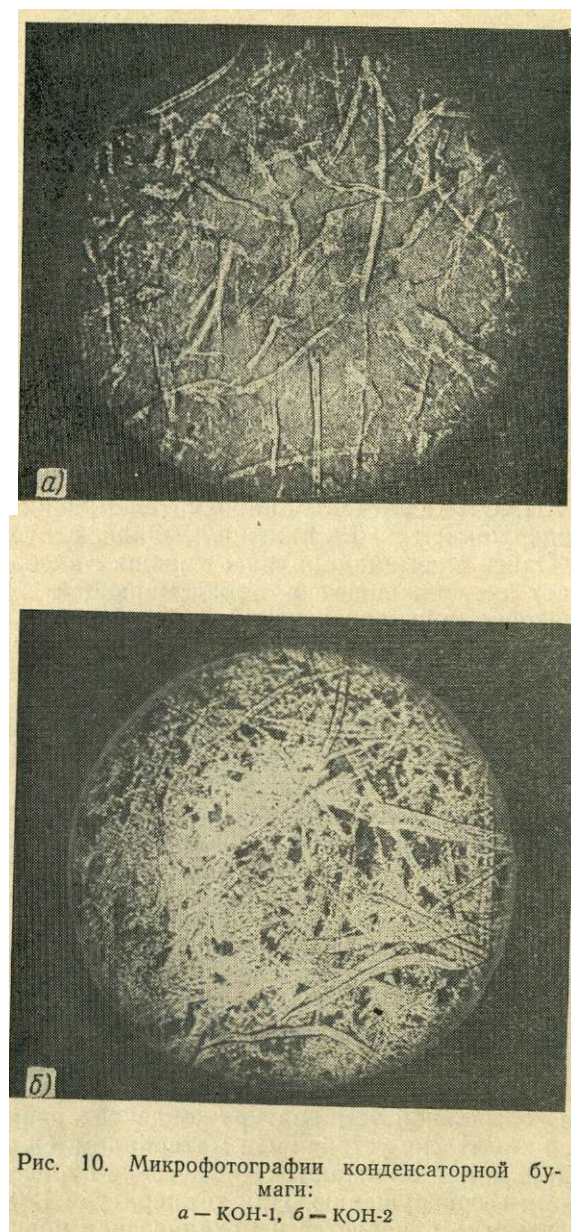


Рис. 10. Микрофотографии конденсаторной бумаги:
а — КОН-1, б — КОН-2

снижается, а при температуре выше 150—160° С быстро разрушается вследствие обугливания клетчатки. В вакууме (при отсутствии кислорода и влаги) процесс разложения бумаги значительно замедляется. Электрическая прочность бумаги при переменном токе 30—60 В/мкм и возрастает с увеличением плотности и уменьшением толщины.

Тангенс угла потерь лучших конденсаторных бумаг при температуре 120°С в сухом виде 0,12—0,22%, в пропитанном (трихлордифенилом) 0,23—0,34%. Повышенные значения тангенса угла потерь относятся к более плотным бумагам и обусловлены большим содержанием в них клетчатки, которая имеет тангенс угла потерь 0,6—0,7%. Поэтому более плотная бумага применяется, как правило, для конденсаторов постоянного тока, а менее плотная — для конденсаторов переменного тока.

Диэлектрическая проницаемость бумаги находится в пределах 2,2—2,9 и возрастает с увеличением плотности бумаги. Диэлектрическая проницаемость клетчатки 6,5. Бумага, служащая диэлектриком между обкладками, при изготовлении конденсаторов подвергается вакуумной сушке и пропитке для улучшения ее диэлектрических характеристик.

Кабельная бумага (ГОСТ 645—79Е) является основным изоляционным материалом при производстве кабелей. При производстве силовых конденсаторов эта бумага используется главным образом для изоляции пакета конденсаторов от корпуса, а также секций или групп секций друг от друга.

Кабельная бумага, так же как и конденсаторная, изготавливается из сульфатной целлюлозы, но в отличие от конденсаторной имеет большую толщину. В конденсаторах бумага используется четырех марок: КВ-080, КВ-120, КВ-170 и КВ-240 (К — кабельная, В — высоковольтная, цифры обозначают толщину бумаги в микронах). Плотность бумаги этих марок $(0,8—0,9) \cdot 10^3$ кг/м³, зольность 0,3%, разрывное усилие в продольном направлении 88—216 Н (9—22 кгс), воздухопроницаемость не более 25 см³/мин. Электрическая прочность сухой непропитанной бумаги 8—10 В/мкм.

В настоящее время наряду с обычной кабельной бумагой при изготовлении конденсаторов с пропиткой трихлордифенилом применяют оксидную бумагу марок ЭИО-120 и ЭИОУ-120 (ГОСТ 21215—75).

Электроизоляционный картон (ГОСТ 4194—78) изготавливается тем же способом, что и бумага, и имеет толщину 0,5—3 мм. Картон толщиной 0,5 мм, как и бумага, вырабатывается в рулонах, а при большей толщине — в листах стандартных размеров.

Электроизоляционный картон изготавливают четырех марок: А, Б, В и Г. Плотность этих картонов $(0,9—1,25) \cdot 10^3$ кг/м³, а электрическая прочность в зависимости от толщины 8—13 В/мкм. В производстве силовых конденсаторов применяют картон только марки Г, содержащий 100% сульфатной целлюлозы; его, как и кабельную бумагу, используют для корпусной и межсекционной изоляции.

Гетинакс (ГОСТ 2718—74) — листовой слоистый прессованный материал, изготавливаемый из бакелизированной бумаги. Для производства гетинакса применяют сульфатную пропиточную бумагу толщиной 0,12 мм. Бумагу пропитывают бакелитовыми лаками, представляющими собой коллоидные растворы феноло- или крезоло-формальдегидных смол.

Листы пропитанной бумаги сушат, собирают в пакеты определенной толщины и прессуют при температуре 160—165° С и давлении 9,8—11,8 МПа (100—120 кгс/см²). При горячем прессовании расплавленная смола склеивает листы бумаги и переходит в неплавкое и нерастворимое состояние. Гетинакс изготавливают в виде листов и досок толщиной от 0,2 до 50 мм и применяют для работы в пределах рабочих температур от —65 до +105° С. В производстве силовых конденсаторов гетинакс используют для изготовления стяжных планок и шек высоковольтных конденсаторов.

Кроме гетинакса в конденсаторном производстве широко применяют слоистые намотанные изделия в виде цилиндров для изоляционных корпусов импульсных конденсаторов; цилиндры изготавливают намоткой на нагревшую стальную оправку рулонной бумаги, покрытой с одной стороны бакелитовым лаком, и называют гетинаксовыми или бакелитовыми. Эти цилиндры выпускают диаметром от 10 до 800 мм, а в отдельных случаях и больше с толщиной стенок от 1,5 до 30 мм. Поскольку давление при намотке цилиндров меньше давления, которое применяется при изготовлении гетинаксовых досок, цилиндры получаются менее плотными, чем доски, и по своим свойствам уступают им.

Текстолит (ГОСТ 2910—74) отличается от гетинакса только тем, что в нем вместо пропиточной бумаги применена хлопчатобумажная ткань, обладает более высокими механическими свойствами, но дороже, чем гетинакс, и применяется в тех случаях, когда деталь может подвергаться ударам или истиранию.

Установочными электрокерамическими материалами являются электрофарфор, радиофарфор, ультрафарфор, стеатит и др. Исходными материалами при изготовлении керамических изделий служат кварц, полевошпат, каолины и глины. Электрокерамические материалы не гигроскопичны, стойки к атмосферным воздействиям, обладают хорошими диэлектрическими и механическими свойствами. Недостатком этих материалов является большая усадка изделий при изготовлении, что создает трудности в обеспечении точных размеров. Для повышения механической прочности и стойкости к влаге и атмосферным загрязнениям фарфоровые изделия перед обжигом покрывают глазурью. Электрофарфор используют для изготовления проходных изоляторов большинства конденсаторов, а также покрышек (фарфоровых корпусов) и изоляционных подставок для конденсаторов связи.

Полистирол относится к числу синтетических термопластичных высокомолекулярных (полимерных) смол и в производстве конденсаторов применяется в качестве диэлектрика в виде пленок толщиной 20—30 мкм. Электрическая прочность пленок весьма велика: 200—300 В/мкм при постоянном токе и 150—180 В/мкм при частоте 50 Гц. Диэлектрическая проницаемость их 2,58, удельное объемное сопротивление $10^{14}—10^{15}$ Ом·м, тангенс угла потерь 0,02—0,03%. Благодаря незначительным потерям полистирольные пленки широко применяют в изготовлении конденсаторов, работающих главным образом при повышенных и высоких частотах. Однако использование пленок ограничено их низкой нагревостойкостью (70—80° С).

Полипропилен является продуктом полимеризации пропилена $\text{CH}_3—\text{CH}=\text{CH}_2$, который получают при переработке нефти и природного газа, представляющих собой доступное и дешевое сырье, и применяют в силовых конденсаторах в качестве диэлектрика в виде пленок толщиной 8—20 мкм. При этом используется изотактический полипропилен, обладающий определенной структурой.

рой с правильным расположением звеньев цепи молекулы. Электрическая прочность пленок при частоте 50 Гц составляет 300—350 В/мкм, диэлектрическая проницаемость 2,25, удельное объемное сопротивление 10^{15} Ом·м, тангенс угла потерь 0,02—0,04% и температура размягчения 160—170° С. Благодаря повышенной термостойкости и совместимости с пропитывающими жидкостями пленки изотактического полипропилена находят широкое применение как в чистом виде, так и в комбинации с конденсаторной бумагой.

Лавсан (полиэтилентерефталат)—прозрачный высокополимерный диэлектрик, относящийся к классу полиэфиров и получаемый в результате поликонденсации этиленгликоля и терефталевой кислоты. Лавсановые пленки толщиной 10—20 мкм обладают высокой электрической прочностью (до 400 В/мкм), повышенной нагревостойкостью по сравнению с конденсаторной бумагой, высоким удельным объемным сопротивлением и являются полярным диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\epsilon=3,3$. Поскольку тангенс угла потерь этих пленок резко увеличивается с ростом температуры и частоты, они находят применение главным образом в конденсаторах постоянного тока.

Кроме лавсановых разработано много полярных и неполярных синтетических пленок (полиамидные, поликарбонатные, фторопластовые, полиэтиленовые и др.), однако в силовом конденсаторостроении они не находят широкого применения из-за низкой нагревостойкости, высоких диэлектрических потерь и др.

Жидкие электроизоляционные материалы. В качестве жидких электроизоляционных материалов в производстве конденсаторов применяют нефтяное конденсаторное масло, хлорированные дифенилы (трихлордифенил и др.), касторовое масло и др. Жидкие диэлектрики служат для пропитки бумажной и бумажно-пленочной изоляции конденсаторов с целью повышения ее диэлектрической проницаемости и электрической прочности. Характеристики основных пропитывающих жидкостей приведены в табл. 2.

Конденсаторное масло является неполярным диэлектриком и представляет собой продукт перегонки нефти (фракция, отгоняемая при 400—450° С), состоящий из смеси различных углеводородов — соединений углерода и водорода. Полученное при перегонке масло подвергается обработке кислотой и щелочью с последующей

Таблица 2. Основные характеристики пропитывающих жидкостей

Характеристика	Конденсаторное масло	Трихлордифенил	Конденсаторная жидкость КЖ-50	Касторовое масло
Плотность при 20° С, кг/м ³ ·10 ³	0,84—0,89	1,4	1,29	0,95—0,97
Температурный коэффициент объемного расширения, К ⁻¹	0,00065	0,00060	0,00060	0,00062
Кинематическая вязкость, м ² /с·10 ⁻⁶ , при температуре, °С:				
20	37—45	70	1,8	600
100	2,2—3,5	2,5	1,0	18
Кислотное число, мг КОН на 1 г	0,02	0,01	0,007	0,3
Температура застывания, °С, не выше	—45	—18	—50	—17
Температура вспышки, °С, не ниже	+135	+150	+147	+280
Удельное объемное электросопротивление, Ом·м, при температуре, °С:				
20	10 ¹² —10 ¹⁴	10 ¹²	10 ¹² —10 ¹³	10 ¹⁰ —10 ¹¹
100	10 ¹¹	10 ¹⁰	10 ¹¹	2·10 ⁸
Электрическая прочность при частоте 50 Гц и 20° С, В/мкм	20—25	20	20	20
Диэлектрическая проницаемость при 20° С	2,1—2,3	5,5	5,8	4,2—4,7
Тангенс угла диэлектрических потерь при 100° С	0,005	0,02	0,015	0,02—0,06

промывкой дистиллированной водой для удаления химически нестойких соединений. В дальнейшем высокие электроизоляционные свойства масла достигаются его сушкой, дополнительной очисткой глинами и фильтрацией.

Электрические свойства конденсаторного масла значительно снижаются при загрязнении и увлажнении, кроме того, масло подвержено старению — окислению кислородом воздуха. С повышением температуры **старе-**

ние происходит быстрее. При старении в масле образуются смолообразные примеси, ухудшающие его физические и электрические свойства. Однако основным недостатком конденсаторного масла являются сравнительно низкие диэлектрическая проницаемость и газостойкость. При возникновении в диэлектрике конденсатора частичных разрядов под действием переменного электрического поля масло легко разлагается, выделяя газообразные продукты, что приводит к разрушению изоляции и быстрому выходу конденсатора из строя.

В настоящее время применяются газостойкие конденсаторные масла, отличающиеся повышенным содержанием ароматических углеводородов.

Хлорированные дифенилы — полярные синтетические диэлектрики, являющиеся продуктами различной степени хлорирования дифенила $C_{12}H_{10}$. Дифенил получают из бензола, являющегося одним из продуктов переработки каменноугольной смолы. Наибольшее распространение получил трихлордифенил (ТХД) $C_{12}H_7Cl_3$ — продукт хлорирования дифенила, в котором три атома водорода замещены хлором. ТХД — негорючая взрывобезопасная прозрачная жидкость, более устойчивая к окислению и действию переменного электрического поля, чем конденсаторное масло. Вязкость ТХД при нормальной температуре сравнительно велика, но при температуре $50^\circ C$ вязкости конденсаторного масла и ТХД сближаются. Благодаря повышенной диэлектрической проницаемости ТХД при пропитке бумажных конденсаторов увеличивает их емкость в 1,4—1,5 раза по сравнению с конденсаторным маслом.

Трихлордифенил имеет относительно высокую температуру отверждения ($-30^\circ C$), ниже которой его диэлектрическая проницаемость резко уменьшается, что снижает емкость конденсаторов на 20—30%. Кроме того, при низких температурах уменьшается электрическая прочность конденсаторов. Поэтому конденсаторы, пропитанные ТХД, можно применять при температуре не ниже -35 — $40^\circ C$.

Трихлордифенил очень чувствителен к загрязнениям, вызывающим резкое увеличение тангенса угла потерь и снижение электрической прочности конденсаторов, поэтому требует соблюдения особой чистоты при производстве конденсаторов. Большим недостатком ТХД является и его токсичность. Пары ТХД раздражающе действуют

на кожу и слизистые оболочки, вследствие чего при работе с ним необходимо соблюдать специальные правила техники безопасности.

При постоянном напряжении ТХД склонен к разложению, поэтому в чистом виде он не применяется для пропитки конденсаторов постоянного тока. Этот недостаток устраняют введением стабилизатора, в качестве которого используют антрохинон. Стабилизирующие добавки вводят в ТХД для повышения его стойкости к действию и переменного электрического поля. Наиболее эффективными присадками в этом случае являются эпоксидные соединения.

Для конденсаторов, применяемых в северных районах, используют ряд пропитывающих жидкостей, представляющих собой смеси хлорированных дифенилов с различными разбавителями: трихлорбензол, трихлорэтилбензол, хлордифенилоксид и другие жидкости, имеющие низкую температуру застывания, высокую электрическую прочность и стойкость против старения в электрическом поле. Например, жидкость под условным названием КЖ-50 (конденсаторная жидкость), представляющая собой смесь хлордифенилов с хлордифенолоксидом, имеет температуру застывания $-50^\circ C$.

Благодаря высокой устойчивости к частичным разрядам и более благоприятному распределению напряженности электрического поля в диэлектрике при пропитке конденсаторов хлорированными дифенилами можно допускать значительно большую напряженность в диэлектрике, чем при пропитке конденсаторным маслом. Поскольку хлорированные дифенилы позволяют использовать конденсаторы в более широком диапазоне рабочих температур, ими заменяют конденсаторное масло. Удельные характеристики конденсаторов улучшаются в 2—3 раза.

Касторовое масло — полярная жидкость, получаемая выжиманием или экстракцией из семян клещевины, культивируемой на юге страны; не горит, имеет более высокую диэлектрическую проницаемость по сравнению с конденсаторным маслом и ввиду высокой вязкости трудно поддается очистке. При вакууме и температуре выше $120^\circ C$ касторовое масло разрушается с выделением воды; растворяется в спирте и в конденсаторном масле и не растворяется в бензине. Касторовое масло используют для пропитки конденсаторов постоянного тока и

импульсных при небольшой частоте следования импульсов. При переменном напряжении масло не применяют из-за увеличенного тангенса угла диэлектрических потерь.

§ 14. Припой и флюсы

Припой — специальные сплавы, с помощью которых пайкой соединяют металлические части. Пайка производится для создания механически прочного (часто герметичного) шва или для получения электрического контакта с малым переходным сопротивлением.

При пайке место соединения и припой нагревают, причем припой плавится, а основной материал остается твердым. Припой, растекаясь по металлу, смачивает его и заполняет зазоры между соединяемыми деталями. Происходит взаимное растворение припоя и металла, в результате чего образуется промежуточная прослойка, которая после застывания соединяет детали в одно целое.

В зависимости от температуры плавления припой делят на мягкие и твердые. К мягким относят припой с температурой плавления не выше 500° С, а к твердым — с температурой плавления выше 500° С. Мягкие припои обычно обладают меньшей механической прочностью на разрыв, чем твердые, и к ним относятся: оловянно-сурьмяно-свинцовые, оловянно-кадмиево-свинцовые, оловянно-кадмиево-цинковые и оловянно-висмута-свинцовые. Имеются также мягкие припои с добавками серебра. Твердыми припоями являются сплавы меди и цинка, меди, серебра и цинка, меди и фосфора и др.

Химический состав, основные свойства и назначение припоев, используемых в производстве конденсаторов, приведены в табл. 3.

Необходимым условием для создания хорошего соединения при пайке является чистота поверхностей соединяемых деталей, что достигается при помощи веществ, получивших название флюсов. Назначение флюсов состоит в том, чтобы растворять и удалять окислы и загрязнения с поверхностей спаиваемых металлов; защищать в процессе пайки поверхность металла и расплавленный припой от окисления; уменьшать поверхностное натяжение расплавленного припоя; улучшать растекание припоя и смачивание им соединяемых поверхностей.

По действию, которое флюсы оказывают на спаивание металла, они делятся на пять групп:

Таблица 3. Основные свойства и состав припоев

Марка	Состав, %	Температура плавления, °С	Температура пайки, °С	Временное сопротивление разрыву, Н/мм ² · 10 ⁶	Область применения
ПОССу30-2	Олово 30, Сурьма 1,5—2,0 Свинец — остальное	250	320	39	Пайка деталей из меди, железа и стали. Лужение
ПОССу40-2	Олово 40 Сурьма 1,5—2,0 Свинец — остальное	229	290	42	Пайка шин и перемычек, деталей из стали или латуни, изоляторов к корпусу
ПОССу61-0,5	Олово 61 Сурьма 0,2—0,5 Свинец — остальное	189	240	44	Пайка герметичных швов, контактных стержней и колец изоляторов, а также трубопроводов водяного охлаждения
ПСр-2	Олово 30 Серебро 2 Кадмий 5 Свинец — остальное	225	—	—	Лужение серебра, нанесенного на керамику методом вжигания
ПОЦ-65	Олово 65 Цинк 35	419	—	—	Лужение алюминиевой фольги пакетов
ПСр-25	Медь 40 Серебро 25 Цинк 35	765	—	270	Пайка нержавеющей стали, латуни и меди

активные, или кислотные, приготовляемые на основе активных веществ, — соляной кислоты, хлористых и фтористых металлов и т. д.; при пайке эти флюсы интенсивно растворяют пленки окислов и обеспечивают высокую механическую прочность соединения (после пайки места соединений необходимо тщательно промывать, так как остатки флюса вызывают интенсивную коррозию соединения и основного металла);

бескислотные, к которым относят канифоль и ее растворы в спирте, глицерине и минеральном масле (канифоль очищает поверхность металлов от окислов, защищает ее от окисления и улучшает растекание припоя);

активированные, которые готовят на основе канифоли с добавлением "активаторов — небольших количеств солянокислого или фосфорнокислого анилина, салициловой кислоты и др. (благодаря им пайку производят без предварительного удаления окислов);

антикоррозионные, которые готовят на основе фосфорной кислоты с добавлением различных органических соединений и растворителей, а также на основе органических кислот (остатки этих флюсов не вызывают коррозии);

защитные, к которым относят воск, вазелин, оливковое масло, сахарную пудру и др. Они не оказывают химического воздействия, но защищают очищенную поверхность от окисления.

Пайку металлических частей можно производить с помощью газовых горелок или паяльных ламп, электрических паяльников, погружением в расплавленный припой и т. д. В настоящее время широкое распространение получила пайка индукционным нагревом соединяемых деталей токами высокой частоты, а также ультразвуковая пайка, при которой ультразвуковые колебания стержня паяльника очищают поверхности от окислов металлов.

Контрольные вопросы

1. На какие группы разделяют электротехнические материалы?
2. Каковы основные свойства проводниковых и электроизоляционных материалов, применяемых в конденсаторах?
3. Укажите преимущества и недостатки синтетических пропитывающих жидкостей по сравнению с конденсаторным маслом.
4. Каковы назначение и основные свойства припоев и флюсов, применяемых в конденсаторостроении?