|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Учебное занятие, 90 мин | Тема: | Рассматриваемые вопросы | Используемая литература, источники | Форма отчета |
|  | Практическая работа  Нефтяные масла. Воскообразные диэлектрики. Смолы. Лаки и эмали. Компаунды |  |  | Выполнить письменно в тетради. Фотографию с выполненным заданием отправить на электронный адрес [onoshkin.sergey@yandex.ru](mailto:onoshkin.sergey@yandex.ru)или в социальной сети «ВКонтакте»<https://vk.com/id25553248>  В названии файла указать: номер группы, название дисциплины, свою Фамилию ИО, дату выдачи задания! |

Лабораторная работа №2

**ТЕМА:**  Электроизоляционные материалы

**НАИМЕНОВАНИЕ РАБОТЫ:** Нефтяные масла. Воскообразные диэлектрики. Смолы. Лаки и эмали. Компаунды

**ЦЕЛЬ ЗАНЯТИЯ:** Изучить нефтяные масла, смолы, лаки и эмали, компаунды, применяемые в практике, их изоляционные и электромеханические характеристики

**НОРМА ВРЕМЕНИ:** 2 часа

**А) ЗАДАНИЕ,**

Оформить бланк отчета по лабораторной работе (заполнить титульный лист, перечислить изучаемые материалы (изделия), отразить в отчете конструктивные особенности изучаемых материалов (изделий), дать краткую характеристику, указать входящие компоненты, технические, электрические и др. характеристики). в справочной литературе найти практическое применение изучаемых материалов и изделий.

**ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ:**

1. Какое из нефтяных масел наиболее очищенное?
2. Как можно классифицировать компаунды?
3. Чем отличаются лаки от эмалей?
4. Как поступают с сильно окисленными маслами?
5. К чему приводит присутствие воды в масле?
6. Что такое совол, где он применяется?
7. Где применяются воскообразные диэлектрики?
8. Где применяются смолы?
9. Какие бывают лаки?

**КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ИЗУЧАЕМЫМ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫМ МАТЕРИАЛАМ.**

**НЕФТЯНЫЕ МАСЛА**

Нефтяные электроизоляционные масла получают методом дробной перегонки нефти, в результате которой получают соляровое масло. После обработки солярового масла серной кислотой и щелочью из него удаляют химически не стойкие соединения. После очистки, сушки и фильтрации получают электроизоляционное масло для трансформаторов, конденсаторов и кабелей. Конденсаторные и кабельные масла отличаются более глубокой очисткой от примесей и поэтому обладают более высоким уровнем электрических характеристик. Химический состав нефтяных масел определяется составом нефти. Все нефтяные электроизоляционные масла - это смесь углеводородов нафтенового, парафинового и ароматического ряда. Присутствие воды в масле ускоряет процесс его старения, при этом в масле образуются твердые, смолообразные примеси, которые ухудшают его электрические свойства. Хранение и перевозка масел производится в сухой таре, защищенных от соприкосновения с воздухом.

**Трансформаторное масло** выпускается с антиокислительной присадкой или без нее, обладает следующими характеристиками: плотность масла 885-890 кг/м3, вязкость при 20 0С.-30 сст (сст - сантистокс), вязкость при 50 град./С - 8сст. Температура вспышки паров - + 135 0С. Объемное удельное сопротивление: 1012 - 1014 Ом\*см. Кислотное число 0.03 – 0.05мг КОН/г (кислотное число — количество миллиграммов (мг) гидроксида калия (КОН), необходимое для нейтрализации свободных кислот содержащихся в одном грамме диэлектрика). Диэлектрическая проницаемость 2.2 –2.4 . Электрическая прочность 18 МВ/м.

Сильно окисленное масло с кислотным числом выше 0.4 мг КОН/г подвергают восстановлению (регенерации). В трансформаторах, выключателях масло является средой пропитывающей волокнистую изоляцию и заполняющую пространство между отдельными конструктивными элементами, создающей масляно-барьерную изоляцию.

**Кабельное масло** – кабельные масла делятся по вязкости: масло малой вязкости МН – 2, масла средней вязкости С-110 и С-220, масла вязкие. Маловязкое масло МН-2 применяется в маслонаполненных кабелях низкого и среднего давления (до 3\* 105 Па). Малая вязкость масла для таких кабелей необходима, что бы обеспечить подпитку кабелей через сравнительно небольшие каналы при всех эксплуатационных температурах. Средневязкие масла С-110, С-220 предназначены для заполнения маслонаполненных высоковольтных кабелей напряжением 110 кВ и выше. Это масло не содержит в своем составе ни ароматических углеводородов, ни смолистых веществ. Наиболее вязкое масло применяется для кабелей, с бумажной изоляцией до 35 кВ для которых пропитывающим жидким веществом является нефтяное масло с растворенной в нем канифолью. В этих кабелях жидкая изоляция не находится под каким-либо избыточным давлением и высокая вязкость масла позволяет избежать протекания масла в кабеле при наклонных и вертикальных положениях. Масло в кабеле повышает диэлектрическую прочность изоляции кабеля.

**Конденсаторное масло** - конденсаторное масло получают путем глубокой дополнительной очистки трансформаторного масла. Очистку производят химической обработкой и адсорбентами. Электрические свойства конденсаторного масла выше, чем трансформаторного: температура вспышки паров не ниже + 135 оС, удельное объемное сопротивление - 1014 Ом\*см, диэлектрическая проницаемость 2.1 –2.2 . Электрическая прочность 20 МВ/м. Масло в конденсаторах служит для повышения изоляции между пластинами, создавая масляно-барьерную изоляцию. Иногда для заливки конденсаторов применяют вазелиновое масло, по электрическим свойствам сходное с конденсаторным, но более вязкое.

**Совол** (полихлордифенил С12Н5С15) — бесцветная негорючая жидкость большой вязкости с резким запахом; его плотность около 1,5 г/см3; электрическая прочностьне менее 14 МВ/м, объемное удельное сопротивление -5-1012 Ом\*см, диэлектрическая проницаемость совола доходит до 5, но в значительной степени зависит от температуры. Из-за высокой температуры загустевания +5÷8 °С совол применяют только для пропитки бумажной изоляции конденсаторов. Для заполнения трансформаторных баков применяют менее вязкую жидкость — **совтол** (смесь 64% совола и 36% трихлор-бензола), электрические свойства которого близки к соволу, а температура загустевания —30° С.

Совол и совтол растворяют резину и лаки; они также неприменимы в выключателях, так как при разрыве дуги выделяют много сажи.

Совол и совтол, а также их пары токсичны, поэтому при их применении обязательно устраивают вытяжную вентиляцию.

**Кремнийорганические** (полиорганосилоксановые) жидкости также являются синтетическими веществами органического строения. Это — светло-желтые жидкости с температурой вспышки в пределах +140 ÷ 260 °С и температурой замерзания не выше — 60 °С, не действующие на медь, алюминий и другие металлы. Их применяют для заливки трансформаторов, конденсаторов и другой аппаратуры с рабочими температурами от - 60 до +180° С. Одна из них — жидкость «Калория-2» имеет следующие электрические характеристики объемное удельное сопротивление - 1013-1014 Ом\*см, диэлектрическая проницаемость 2,5, электрическая прочность 18 МВ/м.

**Воскообразные диэлектрики**

Характерными особенностями воскообразных диэлектриков являются их мягкость, незначительная механическая прочность и наличие жирной, плохо смачиваемой водой поверхности, вследствие чего водопоглощение этих материалов практически равно нулю.

Из воскообразных диэлектриков в электротехнике находят применение парафины, церезины и галовакс.

**Парафин** представляет собой неполярный воскообразный диэлектрик, получаемый в результате переработки нефти. Парафин состоит из твердых углеводородов. Очищенные от маслянистых фракций и других загрязнений парафины имеют белый цвет и обладают очень хорошими электроизоляционными свойствами. Растворяется в нефтепродуктах, ароматических углеводородах, сероуглероде, эфире. В спирте и в воде нерастворим. В качестве электроизоляционных материалов применяют парафины марок: А, Б, Г и Д.

Основные характеристики парафинов: плотность 0,85-0,92 г/см3; температура плавления 50-56 °С; объемное удельное сопротивление 1014 - 1016 Ом\*см, диэлектрическая проницаемость 2.0 – 2.2. Электрическая прочность 20-25 МВ/м.Водопоглощение: 0%.

Недостатком парафина является большая объемная усадка (12—15%), т. е. уменьшение объема при переходе его из жидкого состояния в твердое. Это вызывает растрескивание парафина и образование в нем пор. При длительном нагреве до температуры 120-140 °С парафин несколько окисляется, после чего его электроизоляционные свойства заметно ухудшаются. Применяют парафин для пропитки пористых материалов и волокнистой органической изоляции, для заливки катушек и трансформаторов высокой частоты, а также вводят в состав изоляционных компаундов.

**Церезин** по своим свойствам напоминает парафин, но обладает меньшей, чем парафин, объемной усадкой (5—7%) и более высокой температурой плавления. Различают озокеритовый и синтетический церезины.

Озокеритовый церезин получают в результате переработки озокерита — горного воска, представляющего собой ископаемое вещество нефтяного происхождения. Озокерит имеет черно-коричневый цвет и обладает запахом нефти. Озокерит применяют для противогнилостной пропитки хлопчатобумажных оплеток проводов и кабелей.

Из озокерита путем его очистки получают церезин, который состоит из смеси твердых насыщенных (т. е. стойких к окислению) углеводородов.

Церезин имеет характерный темно-желтый цвет и обладает более высокой, по сравнению с парафином, температурой плавления. Озокеритовый церезин выпускается четырех марок: I, II, III, IV, отличающихся температурой плавления (каплепадения), которые соответственно равны 80, 75, 67 и 57° С. Церезин способен давать стойкие смеси с маслами и образовать тонкие водо- и газонепроницаемые пленки. Применяют его для тех же целей, что и парафин. Основные характеристики озокеритового церезина: плотность 0,9-0,95 г/см3; , объемное удельное сопротивление 1015 – 1017 Ом\*см, диэлектрическая проницаемость 2,1 – 2,3. Электрическая прочность 22– 30 МВ/м. Водопоглощение: 0%.

Синтетический церезин получают в результате перегонки и очистки промежуточного продукта, образующегося в процессе производства синтетического бензина. Синтетический церезин обладает повышенной температурой плавления (100—105 °С), но более хрупок по сравнению с озокеритовым церезином.

Характеристики синтетического церезина: плотность 0,91- 0,92 г/см3; объемное удельное сопротивление 1015– 1016 Ом\*см, диэлектрическая проницаемость 2.4 – 2.6. Электрическая прочность 20-28 МВ/м. Водопоглощение: 0%.

**СМОЛЫ**

Смолы — сложные смеси органических веществ стеклообразного строения. При нормальной температуре — это твердые вещества, более или менее хрупкие в толстом слое и сравнительно гибкие в тонкой пленке. При нагреве смолы становятся сначала пластичными, а затем жидкими. Смолы нерастворимы в воде и малогигроскопичны. При переходе из жидкого состояния в твердое они прочно пристают к соприкасающимся твердым телам. По происхождению смолы делятся на природные и синтетические. К природным смолам относятся: шеллак, канифоль и др. Синтетические смолы получаются в результате сложной переработки различных химических продуктов, к ним относятся: бакелит, глифталь, карболит.

**Шеллак** *—* природная смола в виде тонких чешуек от светло-лимонного до темно-оранжевого цвета, образуется в результате жизнедеятельности шеллачного червя, который перерабатывая сок некоторых тропических деревьев, выделяет наплывы сырой смолы, которая затем промывается, сушится, расплавляется и фильтруется с целью очистки шеллака от механических примесей. Шеллак хорошо растворяется в спирте и некоторых органических кислотах. При 35 °С он теряет хрупкость, при 50—60°С становится гибким, а при дальнейшем повышении температуры сначала размягчается, а затем расплавляется. В электротехнике шеллак применяют для изготовления клеящих лаков. Эта смола добывается в Индии, Бирме, Сиаме. В последние годы шеллак успешно заменяют синтетической смолой — глифталем.

**Канифоль** *—* хрупкая смола, получаемая из смолы хвойных деревьев путем отгонки скипидара. На воздухе канифоль постепенно окисляется, причем повышается температура размягчения и понижается ее растворимость в бензине. Применяемая в электротехнике канифоль не должна быть окисленной. Канифоль в воде не растворяется, зато хорошо растворяется в минеральных и растительных маслах, скипидаре, ацетоне, хлороформе. Температура размягчения канифоли в зависимости от ее сорта колеблется от 52 до 68 °С.

Канифоль входит в состав при изготовлении маслоканифольных масс для вязкой пропитки бумажной изоляции силовых кабелей, масс для заливки муфт высоковольтных кабелей, различных компаундов, смолок, лаков.

**Глифталь** *—* синтетическая смола, получаемая из 29% глицерина и 71% фталевого ангидрида. Хорошо растворяется в спиртобензольной смеси. Глифталевая смола размягчается при 80—105 °С. Важным свойством глифталевых смол является высокая дугостойкость. Глифталевые смолы необходимы для изготовления пропиточных, покровных и клеящих лаков, эмалей и цементов.

**Бакелит** *—* фенолформальдегидндя смола, производится в двух стадиях: резол (бакелит в стадии А) и резит (бакелит в стадии С). Резол при температуре около 80 °С размягчается, а затем и плавится; растворяется в спирте и ацетоне. При 100—140 °С твердеет и переходит в резит. Резит обладает хорошими электроизоляционными свойствами, высокой механической прочностью, малоэластичен, гигроскопичен. Широко применяется при изготовлении сложных пластиков — гетинакса, текстолита и др.

**Карболит** – получают при варке формальдегида с карбамидом. По свойствам напоминает бакелит, но более дуго- и водостоек и имеет лучшие изоляционные свойства. Применяется для изготовления пластмасс.

**ЛАКИ**

Электроизоляционные лаки являются растворами пленкообразующих веществ в органических растворителях. Слой лака, нанесенный на твердую поверхность, постепенно отверждается, образуя лаковую пленку — гибкую или хрупкую — в зависимости от состава лака. В качестве растворителей используют легко испаряющиеся жидкости — бензол, толуол, ацетон, спирты. К пленкообразующим веществам относятся полимеры (полистирол, поливинилхлорид) и смолы (бакелитовые, эпоксидные, кремнийорганические и др.).

В состав некоторых лаков входят еще пластификаторы и сиккативы. **Пластификаторы —**вещества, придающие эластичность отвержденной лаковой пленке. В качестве пластификаторов применяют касторовое масло, жирные кислоты льняного масла. **Сиккативы** *—* жидкие или твердые вещества, вводимые в некоторые лаки, чтобы ускорить отверждение лака.

По основе лаки подразделяют на смоляные, масляные и масляно-битумные.

По своему назначению электроизоляционные лаки делят на пропиточные, покровные, эмаль-лаки и клеящие.

**Пропиточные лаки**применяют для пропитки обмоток трансформаторов, дросселей и др. Обмотки пропитывают лаками для прочного соединения их витков друг с другом, а также для устранения пористости изоляции проводов обмоток и повышения коэффициента теплопроводности. Одной из главных характеристик пропиточных лаков является вязкость (коэффициент внутреннего трения). Чтобы, пропиточный лак проникал в поры и капилляры многослойной обмотки, его вязкость должна быть очень малой.

**Покровные лаки**применяют для создания на поверхности пропитанных обмоток или печатных плат электроизоляционных защитных покрытий толщиной 0,04 — 0,2 мм большой сплошности - без пор. Отвержденные пленки покровных лаков должны обладать влагостойкостью, а в отдельных случаях тропикостойкостью и стойкостью к другим воздействиям.

**Эмаль-лаки** *—* одна из разновидностей покровных лаков, применяемых для тонкопленочной изоляции обмоточных проводов. Эти лаки должны обладать очень хорошей адгезией к медным и алюминиевым проводам, а также образовывать гибкую пленку с большим сопротивлением истиранию. Эмаль-лаки изготовляют на основе поливинилацеталевых, полиэфирных смол и других полимеров.

**Клеящие лаки**применяют для склеивания различных электроизоляционных материалов: листочков слюды, керамики, а также пластмасс и других материалов. Растворы клеящих лаков должны обладать хорошей адгезией к различным твердым материалам; и образовывать прочный клеевой шов. В качестве клеящих лаков широко применяют составы на основе эпоксидных, бутварно-фенолных и других полимеров.

Следует иметь в виду, что один и тот же лак может применяться в качестве пропиточного и покровного, или в качестве покровного и клеящего.

По способу сушки (отверждению) все лаки делят на две группы: воздушной (холодной) и печной (горячей) сушки. У лаков воздушной сушки образование твердой пленки происходит при комнатной температуре 20 – 25 °С, печной сушки – при, 60 – 200 °С. Лаки печной сушки, как правило, обладают лучшими механическими и электрическими характеристиками.

В зависимости от основы отвержденные пленки лаков могут быть термопластичными веществами (полистирольные, поливинилхлоридные) или термореактивными (бакелитовые, эпоксидные).

Важнейшими характеристиками лаков являются: вязкость, время высыхания, термоэластичность, водопоглощаемость и электрические характеристики.

Наибольшее применение находят лаки:

масляные - **№202, №302** – покровные лаки быстрой печной сушки, используются для изоляции листов электротехнической стали;

масляно-смоляные - **КФ-95** – пропиточный лак печной сушки, применяется для изготовления лакотканей и пропитки обмоток электрических машин;

масляно-глифталевый - **ГФ-95** - пропиточный, клеящий и покровный лак печной сушки, применяется для пропитки обмоток трансформаторов и других аппаратов, работающих в масле, для склейки миканитов и волокнистых изоляционных материалов;

**бакелитовый лак** - покровный, клеящий и лакирующий, применяется в производстве пластмасс гетинакса и текстолита;

масляно-битумные - **БТ-95** - клеящий лак печной сушки применяется для клейки микаленты, **БТ-99** - покровный лак печной сушки и воздушной сушки, применяется для покрытия обмоток электрических машин и аппаратов при ремонте.

Следует иметь в виду, что номенклатура лаков используемых при электротехнических работах не ограничивается только выше перечисленными, широко применяются лаки и других марок.

**ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ЭМАЛИ**

Эмали представляют собой лаки с введенными в них мелко раздробленными (мелкодисперсными) веществами — пигментами. В качестве пигментов применяют неорганические вещества, преимущественно окислы металлов (окись цинка, железный сурик, литопон (смесь сернистого цинка с сернокислым барием ) и др.) и их смеси. Пигментирующие вещества, введенные в лак, тщательно перетирают в краскотерочных машинах до получения однородной массы. В процессе высыхания эмалей пигменты вступают в химические реакции с лаковой основой, образуя плотное покрытие с повышенной твердостью.

Электроизоляционные эмали являются покровными материалами. Ими покрывают лобовые части обмоток электрических машин и аппаратов с целью защиты их от смазочных масел, влаги и от других воздействий.

Основой многих электроизоляционных эмалей являются масляно-глифталевые лаки, характеризующиеся высокой клеящей способностью и повышенной нагревостойкостью. На масляно-глифталевых лаках изготовляют эмали нескольких марок: ГФ-92ГС (бывшая СПД) — эмаль горячей сушки (105°С), покрытия из этой эмали имеют серый цвет и обладают стойкостью к минеральным маслам и к электрическим искрам, применяется для покрытия вращающихся и неподвижных обмоток; ГФ-92ХС (бывшая СВД) — эмаль холодной сушки, образует покрытие серого цвета, стойкое к минеральным маслам, применяется для покрытия неподвижных обмоток; ГФ-92ХК (бывшая КВД) — эмаль холодной сушки, образует покрытия красно-коричневой окраски, стойкие к электрическим дугам.

Некоторое применение находят эмали на основе перхлорвиниловых смол. Их получают в результате дополнительного хлорирования поливинилхлоридных смол. В отличие от поливинилхлоридных смол перхлорвиниловые смолы обладают хорошей растворимостью во многих растворителях (ацетон, хлорбензол, толуол и др.). Лаковые и эмалевые покрытия на основе перхлорвиниловых смол отличаются стойкостью к воде, минеральным маслам, бензину, кислотам и щелочам. Они отличаются также атмосферостойкостью и обладают хорошими электроизоляционными свойствами. Перхлорвиниловые эмали (марки ХСГ-26, ХСЭ-26 и др.) применяют для покрытия лобовых частей обмоток в электрических машинах, а также пластмассовых деталей с целью защиты их от влаги. Сушка перхлорвиниловых покрытий производится 2 ч при 20 °С или 1 ч при 60 °С.

Недостатками перхлорвиниловых покрытий является слабое прилипание к металлам и сравнительно низкая нагревостойкость (85 °С).

Эмали на эпоксидных лаках отличаются хорошим прилипанием (адгезией) и повышенной нагревостойкостью (до 150 °С).

Большой интерес представляют электроизоляционные эмали на основе кремнийорганических лаков, отличающиеся очень высокой нагревостойкостью (180—200 °С). Из этой группы следует отметить эмаль ПКЭ-14, представляющую собой кремнийорганический лак К-48, в который введены двуокись титана и железный сурик. Пленки этой эмали отличаются повышенной маслостойкостью и нагревостойкостью до 180 °С.

Широкое применение имеют также эмали ПКЭ-15 и ПКЭ-19. Покрытия из них отличаются нагревостойкостью и стойкостью против плесневых грибков, что является одним из основных требований в отношении материалов, поставляемых в страны с тропическим климатом. Растворителями и разбавителями кремнийорганических эмалей служат толуол или ксилол.

Ниже в таблице 1 приведены основные характеристики широко применяемых электроизоляционных эмалей.

Таблица 1

Основные характеристики электроизоляционных эмалей

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Марка**  **эмали** | **На каком лаке** | **Электрические характеристики** | |
| **Удельное объемное сопротивление, ρυ, Ом\*см** | **Электрическая прочность,**  **Епр, кВ/мм** |
| ГФ-92ГС  (СДП) | Глифталевом | 1013- 1014 | 50-60 |
| ГФ-92ХС  (СВД) | Глифталевом | 1012-1014 | 30-32 |
| ЭП-91 | Эпоксидном | 1014-1015 | 50-70 |
| ПКЭ-14 | Кремнийорганическом | 1013-1015 | 40-80 |

**ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ КОМПАУНДЫ**

Компаунды — это электроизоляционные составы, изготовляемые из нескольких исходных веществ: смол, битумов. В момент применения компаунды представляют собой жидкости, которые постепенно отвердевают, превращаясь в монолитный твердый диэлектрик.

В отличие от лаков и эмалей компаунды не содержат летучих растворителей. При сушке слоя лака растворители испаряются и, улетучиваясь, образуют в пленке лака сквозные поры и капилляры. Это приводит к снижению влагостойкости изоляции, пропитанной лаком. Отсутствие в компаундах растворителей обеспечивает монолитность компаунду после его отвердевания, по значению слова, компаундом является любая смесь веществ, не представляющая собой химического соединения. По своему составу компаунды могут быть разделены на два вида: компаунды из синтетических материалов и битумные. Наибольшее распространение сейчас имеют синтетические компаунды: эпоксидные, кремнийорганические, полиэфирные. В состав любого компаунда входят заполнители: волокнистые и не волокнистые. В зависимости от состава отвержденные компаунды могут быть термопластичными или термореактивными веществами. Согласно своему назначению компаунды разделяются на **пропиточные**, **заливочные** и **обмазочные.**

**Пропиточные** компаунды применяют для пропитки обмоток электрических машин и аппаратов с целью цементации витков обмотки и защиты их от влаги. **Заливочные** компаунды применяются для заливки полостей (свободных пространств) в кабельных муфтах и воронках, а также в корпусах электрических аппаратов — трансформаторов тока, дросселей и т. п. **Обмазочные** компаунды применяются с целью защиты их от влаги, масла и др.

Как уже отмечалось, компаунды могут быть термореактивными материалами, не способными размягчаться после своего отвердевания, или термопластичными, способными размягчаться при последующем нагреве. К термопластичным относятся компаунды на основе битумов, воскообразных диэлектриков (парафин, церезин и др.) и термопластичных полимеров (полистирол и др.).

Широкое применение в электротехнике получили термопластичные компаунды на основе битумов, так как последние являются дешевыми материалами, стойкими к воде, и обладают хорошими электроизоляционными свойствами. Например, для пропитки обмоток электрических машин широко применяется битумный пропиточный компаунд № 225, который получают в результате сплавления битума, канифоли и льняного масла, взятых в определенном соотношении. В твердом состоянии компаунд № 225 представляет собой массу черного цвета с блестящей поверхностью.

Основные характеристики компаунда № 225: плотность 0,9210 г/см3; температура размягчения 98 — 112 °С; морозостойкость - 25° С; объемное удельное сопротивление 1013 - 1014 Ом\*см, диэлектрическая проницаемость 2.1 –2.2 . Электрическая прочность 18 - 20 МВ/м. Для пропитки обмоток компаунд нагревается до 160—170° С. При этой температуре он переходит в жидкое состояние и тогда частицы его становятся способными проникать внутрь пропитываемой обмотки.

В результате пропитки получается монолитная изоляция обмоток с повышенной механической и электрической прочностью и стойкая к парам воды. Битумы являются термопластичными материалами, поэтому битумные компаунды применяют, как правило, для пропитки неподвижных обмоток. Из вращающихся обмоток (при перегреве их) битумный компаунд может вытекать (особенно под действием центробежных сил). Битумными компаундами также нельзя пропитывать обмотки, работающие в трансформаторном масле или подвергающиеся воздействию бензина, керосина, так как все битумы растворяются в минеральных маслах и в углеводородах (бензин, бензол и др.).

Назначение заливочных компаундов сочетается со значительными массами металла (заливаются обмотки с сердечником, а иногда целые узлы и приборы; выполняется литая изоляция трансформаторов и других изделий безкорпусной конструкции и пр.) – они применяются для герметизации. Наибольшее распространение в качестве заливочных компаундов получили: эпоксидные, кремнийорганические и компаунды МБК (метакрилбутиловые компаунды). Компаунды, применяемые для герметизации, должны иметь малую объемную усадку (0,2 — 2%) и большой «срок жизни», т.е. возможно более длительное время находиться в жидком состоянии. Это позволяет заготовлять большие количества компаунда. Кроме того, желательно, чтобы компаунды могли превращаться в твердый блок при комнатной температуре (компаунды холодного отверждения). Для отверждения в исходный жидкий компаунд обычно вводят отвердитель.

**Эпоксидные компаунды** бывают горячего и холодного отверждения, Срок жизни компаундов с отвердителем горячего отверждения — 2 - 6 ч. Эпоксидные компаунды с отвердителями холодного отверждения имеют ограниченный срок жизни (30—60 мин). Электрические, механические и другие характеристики у компаундов горячего отверждения выше, чем у компаундов холодного отверждения. Для улучшения механических и тепловых характеристик в компаунды вводят молотый (пылевидный) прокаленный кварц. Приготовленный эпоксидный компаунд заливают в металлическую форму, в которой находятся герметизируемые элементы. В зависимости от вида отвердителя превращение компаунда в твердый блок может происходить при комнатной температуре или при 80 — 150 °С.

Отвержденный эпоксидный компаунд представляет собой термореактивный диэлектрик, обладающий следующими характеристиками: плотность 1200-1800 кг/м3; температура разложения 340 —350 °С; холодостойкость от-45° до -60 СС; водопоглощаемость 0,1-0,5% (за 24 ч); электрическая прочность Епр =18 - 30 МВ/м (при толщине слоя компаунда 1 мм). Наибольшие значения механической прочности и теплостойкости относятся к компаундам, наполненным пылевидным кварцем. Отличительной особенностью эпоксидных компаундов является их малая объемная усадка - 0,5 % у наполненных и 2 — 2,5% у ненаполненных.

**Крёмнийорганические компаунды**обладают высоким уровнем электрических характеристик, большими нагревостойкостью и температурной стабильностью. Отвержденный кремнийорганический компаунд представляет собой резиноподобное эластичное вещество, имеющее следующие характе­ристики: плотность 1000-12000 кг/м3; холодостойкость от – 60 до – 70 °С; водопоглощаемость 0,05-0,09%; удельное объемное сопротивление ρ = 1012-1013 Ом-м; электрическая проницаемость ε = 3 - 4; электрическая прочность Епр= 20 - 50 МВ/м; нагревостойкость 180-220°С; срок жизни исходных составов 0,5-0,6 ч. Для улучшения адгезии и защиты металлических частей радиокомпонентов от агрессивного действия некоторых кремнийорганических компаундов в жидком состоянии их предварительно покрывают кремнийорганическими и другими клеящими лаками. Для повышения механической прочности в кремнийорганические компаунды вводят белую сажу.

Так же в качестве заливочных компаундов широкое применение получили **битумные компаунды** МБ-70, МБ-90, МБМ-1 и МБМ-2. Первые два компаунда изготовляют на основе нефтяных битумов БН-П1; БН-1У и БН-У, взятых в разных соотношениях. Компаунды МБМ-1 и МБМ-2 изготовляют на основе тех же битумов, но для повышения их морозостойкости в них вводится еще трансформаторное масло (пластификатор). Перечисленные компаунды применяют для заливки полостей в кабельных соединительных муфтах и концевых воронках напряжением до 10 кВ.Компаунд МБ-70, обладающий морозостойкостью до –15 °С, применяют для заливки кабельных муфт, проложенных в земле, и кабельных воронок, установленных в не отапливаемых помещениях (с температурой до —10°С). Компаунд МБ-90, обладающий несколько меньшей морозостойкостью, чем компаунд МБ-70, применяют для заливки кабельных муфт и воронок, установленных в отапливаемых помещениях.

Компаунды МБМ-1 и МБМ-2, обладающие морозостойкостью соответственно —35 и —45°С, применяют для заливки соединительных концевых муфт, монтируемых в наружных установках, т. е. вне зданий.

Основные характеристики заливочных битумных компаундов: плотность 0,92 ~ 1,05 г/см3, объемное удельное сопротивление 1012-1014 Ом-м; электрическая прочность Епр= 14 - 18 МВ/м; Для повышения теплопроводности компаундов в них вводят пылевидный кварц и другие минеральные наполнители. Последние повышают теплостойкость и твердость, но несколько снижают электрические характеристики компаундов.

Кроме пропиточных и заливочных компаундов, находят применение обмазочные компаунды. С их помощью заполняются промежутки между витками и стенками паза в лобовой части обмотки электродвигателя, также наносится слой компаунда на всю лобовую часть обмотки. Этим создается дополнительная защита обмотки от механических повреждений, смазочного масла и повышается его влагостойкость.