**1.3 Пайка**

Пайка – соединение однородных или разнородных металлов, а также металлов с неметаллами, с помощью расплавленного припоя. Как правило, процессу пайки предшествует лужение. Лужение (полудка) – операция, при которой металл покрывается слоем расплавленного припоя. Пайка медных жил и проводов малого сечения осуществляется с помощью паяльника (электропаяльника), для пайки медных жил большого сечения и алюминиевых жил используют пламя пропанокислородной или ацетиленокислородной горелки, паяльной лампы либо способ заливки предварительно расплавленным припоем.

При пайке меди и сплавов применяют мягкие припои марки ПОС (оловянно-свинцовые), а также твёрдые припои ПМЦ (медно-цинковые) и ПСр (серебрянные). При пайке алюминия применяют припои марки А (цинкооловянно-медные), твёрдые припои ЦО-12 (цинкооловянные) и ЦА-15 (цинкоалюминиевые), а также мягкие оловянно-кадмиево-цинковые припои.

**Оловянно-свинцовые** **припои** марки ПОС (цифра от 18 до 90 показывает содержание олова) применяют:

– ПОС-61 (температура плавления 183 ºС) – при пайке РЭА;

– ПОС-40 (235 ºС) – для пайки соединения проводов;

– ПОС-30 (250 ºС) – для пайки свинцовых оболочек кабелей.

Трубчатые припои изготавливают в виде трубочки диаметром 1–5 мм, заполненной канифолью, служащей в качестве флюса.

Добавки в оловянно-свинцовые припои сурьмы, кадмия, а особенно висмута позволяют снизить температуру их плавления (до 60,5 ºС у сплава Вуда). Однако легкоплавкие припои отличаются малой механической прочностью и хрупкостью.

**Твёрдые припои** обладают высокой механической прочностью и применяются для выполнения соединений, работающих при повышенной температуре. Температура плавления латуней ПМЦ с содержанием меди 36–54 % (остальное – цинк) составляет 825–860 ºС. Серебряные припои содержат 25–70 % серебра, 26–40 % меди, 4–35 % цинка, имеют температуру плавления 720–765 ºС и отличаются высокой электропроводностью.

**Припои для пайки алюминия:**

– А (40 % олова, 58,5 % цинка, 1,5 % меди, температура плавления 400–425 ºС) широко применяется для соединения алюминиевых жил проводов и кабелей, обладает невысокой коррозионной устойчивостью, место пайки требует покрытия влагостойким лаком и тщательной изоляции;

– ЦО-12 (12 % олова, 88 % цинка, 500–550 ºС) отличается ещё меньшей коррозионной устойчивостью. Его применяют для пайки алюминиевых жил кабелей внутри муфт, герметическая заделка которых исключает попадание к месту пайки влаги и воздуха;

– ЦА-15 (85 % цинка, 15 % алюминия) отличается высокой механической прочностью и устойчивостью к коррозии. Недостаток – высокая температура плавления (550–600 ºС);

– мягкие оловянно-кадмиево-цинковые припои (40–55 % олова, 20 % кадмия, 25 % цинка и до 15 % алюминия, 200–250 ºС) применяют для пайки обмоточных алюминиевых проводов, а также для соединения алюминия с медью.

Для разрушения оксидной плёнки, а также для защиты поверхности соединяемых металлов от окисления при нагреве применяют различные **флюсы**. При пайке меди и сплавов мягкими припоями используют активные (кислотные), пассивные (бескислотные), активированные и антикоррозийные флюсы.

Активные флюсы используют при пайке железа, стали и сплавов на основе железа, а также меди, латуни и бронзы. После пайки место спая требует тщательной промывки в воде. Если на металле остался активный флюс, то он через некоторое время покрывается ржавчиной и зеленеет, происходит разрушение как спая, так и основного металла. Широко применяемая паяльная кислота представляет собой 30%-ный раствор хлористого цинка в воде.

Бескислотные флюсы (канифоль в чистом виде, а также с добавками спирта и глицерина) используют для пайки меди и сплавов на основе меди мягкими припоями при монтаже РЭА. В промышленном производстве для пайки печатных плат используют флюс ЛТИ-120 (этиловый спирт 65–70 %, канифоль 20–25 %, диэтиламин 5 %, триэтаноламин 1–2 %).

Активированные флюсы приготавливают на основе канифоли с добавками небольшого количества соляно-кислого или фосфорно-кислого анилина, салициловой кислоты и т. п. Они позволяют производить пайку без предварительной зачистки поверхности соединяемых металлов (достаточно обезжиривания). Активированным флюсом является также паяльный жир, содержащий 10 % хлористого цинка и широко используемый при пайке оцинкованного железа. Промывка спая в воде от остатков таких флюсов не требуется.

Антикоррозийные флюсы изготавливают на основе фосфорной кислоты (с добавлением различных органических соединений и растворителей), а также на основе органических кислот. Остатки этих флюсов не вызывают коррозии.

При пайке твёрдыми припоями меди и её сплавов используют буру (тетраборно-кислый натрий) и другие флюсы, содержащие соединения фтора, хлора и бора с калием, натрием, литием, цинком, кадмием, аммонием, а также триэтаноламин.

Для удаления оксидной плёнки с поверхности алюминия под слоем расплавленного припоя применяют также механические способы: паяльники с ультразвуковой вибрацией жала, кисточки из стальных волосков и стальные скребки.

При соединении пропаянной скруткой алюминиевых жил малого сечения (до 10 мм2) на них выполняют двойную скрутку с желобком. При этом на расстоянии 20–30 мм, в зависимости от сечения, жилы расположены параллельно.

Место соединения нагревают пламенем пропанокислородной горелки и палочкой припоя А, введённой в пламя, протирают желобок с одной стороны, разрушая при этом оксидную плёнку. По мере нагрева жилы начинают облуживаться и желобок заполняется припоем. Аналогично заполняют припоем желобок с другой стороны, а также облуживают жилы с внешней поверхности. После остывания место соединения изолируют.

Соединение медных жил выполняют пропаянной скруткой без желобка. Жилы зачищают до металлического блеска, скручивают, покрывают слоем флюса и прогревают паяльником с добавлением припоя, либо опускают в расплавленный припой.

Соединение алюминиевых жил пайкой в разъёмных формах выполняют непосредственным сплавлением палочки припоя в форму, либо способом полива расплавленным припоем.

Последовательность операций, выполняемых при пайке непосредственным сплавлением палочки припоя:

1 Соединяемые жилы предварительно разделывают ступенями и лудят припоем марки А. Процесс лужения жилы начинается с нагрева её в пламени пропанокислородной горелки или бензиновой паяльной лампы. После начала плавления палочки припоя А, введённой в пламя горелки, наносят припой на всю ступенчатую поверхность повива проволок, и на их торец. При этом, для полного облуживания проволок, их поверхность тщательно натирают стальной кисточкой.

2 У предполагаемого края формы на жилы подматывают асбестовый шнур и укладывают концы жил в разъёмную форму. Форму укрепляют на жилах специальными зажимами и проволочным бандажом.

3 Для защиты изоляции от перегрева на жилы надевают защитный экран, а при больших сечениях жил устанавливают охладители.

4 Нагревают форму, начиная со дна средней части и далее по всей поверхности до начала плавления припоя, пруток которого вводят в пламя и сплавляют в литниковое отверстие до заполнения формы.

5 Расплавленный припой перемешивают стальной проволокой и удаляют с поверхности расплавленного металла шлаки; одновременно легким постукиванием по форме производят уплотнения припоя, после чего нагрев прекращают.

6 После остывания места соединения снимают экраны и форму, опиливают заусенцы, покрывают влагостойким лаком и изолируют.

Последовательность операций, выполняемых при пайке алюминиевых жил способом **полива** расплавленным припоем:

1 Припой марки ЦО-12 или ЦА-15 разогревают в тигле вместимостью 7–8 кг до температуры 650–700 °С, которую определяют по началу плавления погружаемой в припой алюминиевой палочки. Такое относительно большое количество припоя в тигле и высокая температура нагрева необходимы для обеспечения надёжного и достаточно полного расплавления проволок спаиваемых жил.

2 Концы жил разделывают ступенчато, либо обрезают ножовкой в стальных шаблонах под углом 55° к горизонту.

3 Закрепляют формы, под которыми устанавливают тигель и лоток для стекания припоя, сделанный из кровельного железа.

4 Паяльной ложкой черпают расплавленный припой и льют его в литниковое отверстие до тех пор, пока не произойдёт расплавление торцов жил. Момент расплавления определяют щупом из стальной проволоки.

5 При пайке концов жил, скошенных под углом 55°, в процессе полива припоя производят счистку плёнки оксида с поверхности жил стальным скребком.

6 При остывании припой дает усадку, поэтому во избежание образования раковины по мере усадки производят доливку припоя в литниковое отверстие формы.

7 Процесс пайки в одной форме не должен превышать 1–1,5 мин. Перед началом пайки следующей жилы, тигель с припоем вновь подогревают до 650–700 °С.

Медные жилы можно спаять в медных гильзах ГМ способом полива расплавленным припоем.

Последовательность выполнения операций:

1 Припой ПОССу 40-0,5 разогревают в графитовом или стальном тигле примерно до 290 °С.

2 Зачищают до металлического блеска концы жил и внутреннюю поверхность гильзы.

3 Покрывают флюсом концы жил и вставляют их в гильзу так, чтобы стык находился в середине заливочного отверстия.

4 Для уплотнения места соединения с обеих сторон между концом гильзы и краем изоляции подматывают на жилы асбестовый шнур. Сразу по окончании пайки, пока не остыл припой, протирают гильзу тряпкой, смазанной паяльной мазью.

5 Во избежание перегрева изоляции жил длительность полива припоя не должна превышать 1,5 мин. За это время необходимо обеспечить полное облуживание гильзы.

При оконцевании алюминиевых многопроволочных жил припайкой наконечников для лучшего проникновения припоя в зазор между жилой и наконечником применяют алюминиевые наконечники с сечением на одну ступень больше, чем жила.

Последовательность выполнения операций:

1 Жилу разделывают ступенчатым способом и лудят.

2 Внутреннюю поверхность гильзы наконечника зачищают стальной щёткой и тоже лудят.

3 Надевают наконечник на жилу так, чтобы центральная проволока жилы выступала из шейки наконечника на 5–6 мм.

4 Зазор между жилой и наконечником уплотняют снизу асбестовым шнуром и закрепляют на жиле экран.

5 Пламя горелки направляют на верхнюю часть наконечника и выступающую жилу, нагревают их и сплавляют палочку припоя до заполнения всего пространства между гильзой наконечника и жилой.

Медные жилы можно оконцевать медными наконечниками.

Последовательность выполнения операций:

1 Конец жилы облуживают и надевают наконечник, у нижнего торца которого накладывают бандаж из двух – трёх слоёв асбеста.

2 Наконечник прогревают пламенем пропанокислородной горелки, паяльной лампы или паяльником и заливают предварительно расплавленный припой ПОС, наблюдая чтобы он проник между проволоками жилы.

3 Тканью, смазанной паяльной мазью, сгоняют и разглаживают подтеки припоя на поверхности наконечника.

4 Асбестовый бандаж снимают и на его место накладывают изоляцию.

**1.4 Разборные соединения**

Самым радикальным способом обеспечения надёжности электрических контактов является применение неразборных соединений – сварных и паяных. Однако без разборных соединений обойтись нельзя. Такие соединения чаще всего выполняются при монтаже внутри электрических аппаратов, а также при подключении токоподводящих проводов и жил кабелей к контактным выводам электрооборудования. Для разборных соединений применяют стальные болты, гайки и шайбы, защищённые от коррозии никелевым или другим покрытием. Крутящие моменты усилий при затяжке болтов должны соответствовать их диаметрам. Рекомендуется применять гаечные ключи с регулируемым моментом усилия затяжки.

В слаботочных цепях связи, сигнализации и управления часто применяются разъёмные соединения, состоящие из многоштырьковых штепсельных вилок и розеток. Бытовые электропотребители также включаются в розетки с помощью штепсельных вилок. Разработаны и применяются штепсельные соединители для силового оборудования, однако опыт их эксплуатации показывает, что они редко обеспечивают надёжный электрический контакт.

Для надёжного соединения силовых цепей необходимо обеспечить большую площадь протекания электрического тока и, соответственно, малое переходное сопротивление контакта. Мощность, выделяемая на контакте, равна произведению его переходного сопротивления на квадрат силы тока. Если переходное сопротивление велико, контакт разогревается, а при нагреве сопротивление ещё больше возрастает. К тому же нагретые контактные поверхности усиленно окисляются, оксидная плёнка также увеличивает переходное сопротивление контакта. Постепенно контакт разогревается, при этом плавится и обугливается электрическая изоляция и возникает пожар либо металл расплавляется, вытекает из места контакта, возникает электрическая дуга, что также приводит к пожару. Для контроля нагрева разборных соединений их покрывают термочувствительной краской. Изменение цвета краски при повышении температуры позволяет вовремя отыскать плохие контакты и отремонтировать их.

Малое переходное сопротивление достигается за счёт тщательной зачистки контактных поверхностей и плотного прижатия их друг к другу. Следует обеспечить протекание тока именно через соприкасающиеся поверхности соединяемых деталей, а не через стальные болты или гайки, так как проводимость стали меньше проводимости меди в 7 раз, а алюминия – в 4 раза. Для того чтобы обеспечить достаточную площадь контакта и облегчить закручивание гаек, применяют шайбы, а для предотвращения раскручивания гаек под действием вибраций используют контргайки и разрезные пружинящие шайбы. В цепях переменного тока повышенной частоты во избежание нагрева крепёжных деталей индукционными токами следует применять немагнитные материалы, лучше всего латунь.

При соединении деталей из алюминия требуются специальные меры по **стабилизации** электрического сопротивления контакта.

Это связано с малой механической прочностью алюминия. При сжатии алюминиевых деталей нельзя добиться большого контактного усилия из-за их деформации, поэтому площадь контактной поверхности должна быть больше в несколько раз, по сравнению с медными. Кроме того, если контакт работает в условиях вибраций, контактное усилие постепенно ослабевает, и его необходимо поддерживать специальными пружинящими деталями.

Для стабилизации алюминиевых контактов применяют шайбы увеличенного размера совместно с тарельчатыми пружинами.

Основным путем повышения надежности разборных соединений алюминиевых проводников является оконцевание их наконечниками из твёрдого сплава алюминия с магнием и кремнием, а также медно-алюминиевыми наконечниками.

Разборное соединение алюминиевых и медных проводников рассмотрено в подразд. 1.5.

Рассмотрим **достоинства и недостатки** различных способов выполнения электрических соединений.

Скрутка:

+ не требует нагрева и специального инструмента;

– не является законченным видом соединения.

Опрессовка:

+ не требует нагрева;

– при этом способе необходимо внимательно следить за правильностью подбора наконечников, соединительных гильз и инструментов.

Электродуговая сварка:

+ обеспечивает высокую электропроводность и механическую прочность;

– требует сложного электро- и газового оборудования.

Сварка способом электроконтактного разогрева:

+ обеспечивает однородный и стабильный контакт;

+ не требует припоя;

– требует источника электроэнергии.

Термитная сварка:

+ технологически не сложна;

+ не требует громоздкого оборудования и электроэнергии;

– обладает повышенной пожароопасностью и требует специальных условий хранения термитных патронов и спичек.

Газовая сварка:

+ не требует электроэнергии и припоя;

– требует громоздкого оборудования и соблюдения сложных правил техники безопасности при работе с газом.

Пайка:

+ не нуждается в сложном оборудовании и приспособлениях;

+ при пайке способом полива расплавленным припоем можно обойтись без электроэнергии;

– этот способ отличается наибольшей трудоемкостью.

Болтовое соединение:

+ наиболее простой способ соединения;

– менее надёжно, чем неразборное соединение;

– требует особых мер по стабилизации электрического контакта при соединении алюминия.

Целесообразность применения того или иного способа зависит от материала жил (алюминий, медь), вида (однопроволочная или многопроволочная), площади сечения (мм2), наличия оборудования, приспособлений, инструмента, электроэнергии.

**1.5 Соединение алюминия с медью**

В контакте алюминий + медь возникает гальваническая пара, способствующая интенсивному разрушению алюминиевых деталей. Недопустимо соединение алюминия с медью опрессовкой, а также скруткой без последующей сварки, т. к. в этих случаях не обеспечивается надёжный и долговременный контакт.

Сварка алюминиевых жил и проводов малого сечения с медными выполняется аппаратом ВКЗ по технологии, аналогичной сварке скрутки алюминиевых жил (п. 1.2.2). Однако при таком соединении медная жила должна быть плотно, виток к витку намотана поверх алюминиевой. В момент сварки место соединения оказывается покрытым слоем расплавленной меди, который защищает расплавленный алюминий от воздействия кислорода воздуха.

Соединение сваркой алюминиевых жил и проводов большого сечения с медными может быть выполнено только в заводских условиях. Промышленность выпускает сварные медно-алюминиевые переходные пластины, а также медно-алюминиевые наконечники, имеющие медную контактную пластину и алюминиевую трубчатую часть.

Соединение пайкой алюминиевых жил с медными может быть выполнено в медных лужёных гильзах.

Алюминиевую жилу подготавливают к пайке способом ступенчатой разделки или со скосом под углом 55° (подразд. 1.3). Медную жилу готовят так же, как и при пайке медных жил. Конец алюминиевой жилы должен быть облужен сначала припоем марки А, а затем припоем ПОС, а конец медной жилы и медная соединительная гильза – припоем марки ПОС. При ступенчатой разделке конца алюминиевой жилы пайку соединения производят или непосредственно сплавлением припоя марки А в форму, или способом полива припоем ЦО-12. При разделке алюминиевой жилы со скосом 55° применяют только способ полива припоем ЦО-12, одновременно счищая оксидную плёнку с торца алюминиевой жилы стальным скребком.

Соединение и ответвление пайкой алюминиевых жил в медных гильзах выполняют аналогично соединению алюминиевых жил с медными.

Гильза должна быть облужена припоем марки ПОС. Концы алюминиевых жил должны быть предварительно облужены припоем марки А, а затем припоем ПОС. Пайку выполняют припоем ПОС.

**В условиях повышенной влажности разборное соединение** **алюминиевых проводников с медными не допускается.**

В сухих помещениях такое соединение возможно, однако медь должна быть предварительно покрыта слоем другого металла, чаще всего припоем, то есть должна быть залужена, а также должны применяться шайбы увеличенного размера и тарельчатые пружины.

Соединение алюминиевых проводников с медными с помощью люстровых зажимов широко применяется при подключении светильников, заряженных медными проводами, к алюминиевой электропроводке. В этом случае контакт алюминия с медью происходит через переходную стальную или латунную пластину.

**Медные провода должны быть залужены.**

**1.6 Технология электроизоляционных работ**

Изоляция является ответственнейшим элементом электротехнических устройств. Нарушение изоляции служит причиной большинства случаев выхода электрооборудования из строя. Срок службы электрооборудования определяется временем старения его изоляции.

Изоляция выполненных электрических соединений является важнейшим этапом электромонтажных работ. Для этих целей применяют хлопковую изоленту, пропитанную каучуком, либо поливинилхлоридную. Изоленту накладывают в несколько слоёв, каждый пропитывая покровным лаком. Применяют также резиновую самосклеивающуюся ленту ЛЭТСАР.

Для изоляции обмоточных проводов и шин используют особо прочные хлопковые ленты (киперные), которые после обмотки пропитывают лаками или компаундами (эпоксидными, полиэфирными и т. п.). Для аналогичных целей применяют лакоткани на хлопковой и синтетической основе, стеклолакоткани а также различные полимерные плёнки.

Высоковольтную изоляцию выполняют путём обмотки микалентой. Микаленту изготавливают из пластинок слюды, приклеиваемых (вперекрышку) на подложку из высокопрочной бумаги или ткани (стеклоткани). Обмотанный микалентой провод после укладки пропитывают компаундом.

Традиционно для изоляции применяли кембрик – трубку из пропитанной лакоткани. Сейчас это название перешло на трубки из поливинилхлорида. На них можно писать цифры и буквы маркировки анилиновыми чернилами, разведенными в дихлорэтане (ядовит). В последнее время всё шире применяют термоусаживаемые трубки из специальных полимеров.

**Сварка и термоусадка пластмасс.** При монтаже контрольных и телефонных кабелей осуществляют сварку пластмассовой оболочки кабеля с пластмассовой соединительной муфтой в струе горячего воздуха с помощью присадочного пластмассового прутка. Нагрев воздуха происходит в воздухонагревательной камере специальной пропан-воздушной горелки, температура регулируется вентилятором: для сварки винипласта – 220–240 °С, поливинилхлорида – от 160 до 200 °С, полиэтилена – от 140 до 180 °С, полистирола – около 160 °С. Разогрев пластмассы пламенем газовой горелки не допускается, так как от высокой температуры происходит необратимый процесс её разложения.

В начале сварки участки оболочки кабеля, муфты и присадочный пруток (узкую полоску из отходов оболочки кабеля) одновременно разогревают. После размягчения пруток слегка прижимают и формируют поверхность шва с помощью резиновой карточки размерами 80 х 80 х 5 мм. Шов после сварки должен остыть без принудительного охлаждения. Обнаруженные после охлаждения поры и неровности заваривают аналогичным образом.

При соединении между собой полиэтиленовых труб телефонной канализации, прокладываемой в земле, применяют сварку встык.

Концы труб закрепляют в специальном станке, обеспечивающем центровку и прижатие их торцов. Между торцами вставляют нагретую стальную пластину, толщиной 3–4 мм и выполняют сжатие. Торцы труб расплавляются, их резко разводят, вынимают пластину, снова сжимают и дают остыть. Таким образом, шестиметровые отрезки труб диаметром 100 мм и более сваривают в плеть необходимой длины.

При монтаже кабельных муфт, концевых заделок и в других случаях, когда необходима герметичная изоляция широко применяют изделия из **термоусаживаемых пластмасс**, в частности из специальным образом обработанного полиэтилена.

В заводских условиях такие изделия (муфты, перчатки, каппы или лента) подвергаются механическому растяжению, и в таком деформированном состоянии облучаются с помощью радиоактивного источника. Молекулы, из которых состоит материал изделия при облучении «сшиваются» в пространственную структуру и изделие сохраняет форму после снятия растягивающих усилий. На месте установки, при умеренном нагреве, изделие «вспоминает» свою исходную форму (до растяжения) и уменьшается, плотно охватывая соединяемые детали. Для нагрева изделия применяют горячий воздух или инфракрасные лучи, а также пламя пропановой горелки или бензиновой паяльной лампы.