

***В.А. ЕГОРОВ, М.Ф. ЖАРКОЙ,
С.С. ЧЕУСОВ***

ОСНОВЫ МОНТАЖА ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Лабораторный практикум

Часть 1



Министерство образования и науки Российской Федерации
Балтийский государственный технический университет «Военмех»

*В.А. ЕГОРОВ, М.Ф. ЖАРКОЙ,
С.С. ЧЕУСОВ*

ОСНОВЫ МОНТАЖА ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Лабораторный практикум

Часть 1

Санкт-Петербург
2018



УДК 621.396.6.061(076)

Е30

Егоров, В.А.
Е30 Основы монтажа электронной аппаратуры: лабораторный практикум. Ч. 1/ В.А. Егоров, М.Ф. Жаркой, С.С. Чеусов; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2018. – 74 с.

Приведены основные понятия электромонтажа радиоэлектронной аппаратуры приборов, а также три лабораторные работы, позволяющие получить навыки выполнения паяных соединений проводов.

Предназначен для обучающихся по дисциплинам конструкторско-технологического цикла при подготовке бакалавров приборостроительных специальностей.

УДК 621.396.6.061(076)

Рецензент д-р техн. наук, доц., зав. каф. И4 БГТУ *С.Ю. Страхов*

*Утверждено
редакционно-издательским
советом университета*

© БГТУ, 2018
© Авторы, 2018

ТЕРМИНЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Технологический процесс производства электронной аппаратуры (ЭА) – сложный комплекс преобразования исходных элементов, компонентов и материалов в готовое изделие: изготовление деталей и нестандартных изделий электронной техники (ИЭТ); механическая сборка и электрический монтаж отдельных частей устройства, общая сборка и монтаж, регулировка, контроль и испытание изделия ЭА.

Сборочные работы – совокупность приемов и действий по механическому соединению деталей и установочных ИЭТ в сборочные единицы (сначала простые, затем более сложные).

Совокупность используемых в аппаратуре электрорадиоэлементов (ЭРЭ), интегральных схем (ИС) и других ИЭТ составляет электронную компонентную базу (ЭКБ) ЭА. Для выполнения электрической связи ИЭТ с соединительными проводниками используют выводы и контактные площадки (ГОСТ Р 55756–2013. Комплексная система общих технических требований. Изделия электронной техники. Общие технические требования).

Электрический монтаж – получение электрических соединений и межсоединений ЭРЭ, интегральных микросхем, функциональных узлов и модулей с помощью контактных соединений и монтажа.

Контактное соединение – соединение, обеспечивающее механически прочный и надежный электрический контакт с малым электрическим сопротивлением.

В ЭА применяют контактные соединения, полученные пайкой, сваркой, склеиванием, накруткой, и электрические контактные соединения, для которых характерна разъемная электрическая связь. Выбор типа монтажных соединений и способа выполнения определяется используемыми ЭРЭ, конструкцией, условиями эксплуатации.

По конструктивному выполнению электрический монтаж бывает проводной, печатный, поверхностный и комбинированный. Наиболее распространенный метод получения электромонтажных соединений в ЭА – **пайка**.



Применяемые в науке, технике и производстве термины и определения основных понятий в области пайки и лужения металлов и неметаллических материалов, технические требования к выполнению технологических операций пайки электронных модулей радиоэлектронных средств установлены ГОСТ 17325–79 «Пайка и лужение. Основные термины и определения», ГОСТ Р 56427–2015 «Пайка электронных модулей радиоэлектронных средств. Автоматизированный смешанный и поверхностный монтаж с применением бесвинцовой и традиционной технологий. Технические требования к выполнению технологических операций».

Общие требования к технологии пайки электромонтажных соединений электронных модулей РЭС приведены в ГОСТ Р МЭК 61191-1-2010 «Печатные узлы. Часть 1. Поверхностный монтаж и связанные с ним технологии. Общие технические требования». Стандарт устанавливает классификацию электронных и электрических сборок в соответствии с их назначением в используемой аппаратуре: три основных класса, отражающих уровень работоспособности, требования к эксплуатационным характеристикам и периодичности проверок (контроля/испытаний).

1. Класс А. Электронные изделия общего применения. Включает товары широкого потребления, персональные компьютеры и периферийные устройства, электронные модули и блоки, пригодные для применения в областях, где главным требованием является функционирование готового изделия.

2. Класс В. Специализированная электронная аппаратура. Включает коммуникационную аппаратуру, сложные вычислительные средства и электронную аппаратуру, для которых требуются высокое качество и длительный срок службы и для которых желательна, но не обязательна бесперебойная эксплуатация. Типовые условия эксплуатации у конечного заказчика, как правило, не приводят к отказам.

3. Класс С. Электронная аппаратура ответственного назначения. Включает все виды аппаратуры, для которых требования к надежности функционирования являются обязательными. Отказ аппаратуры недопустим, условия эксплуатации, заданные потребителем, могут быть исключительно жесткими, аппаратура должна функционировать в любое время включения. К таким, например, относятся системы жизнеобеспечения или другие ответственные системы.

Пайка – образование неразъемного соединения с межатомными связями путем нагрева соединяемых материалов ниже температуры

их плавления, смачивания их припоем, затекания припоя в зазор и последующая его кристаллизация.

Лужение – образование на поверхности материала металлического слоя путем плавления припоя, смачивания припоем поверхности и последующей его кристаллизации.

Припой – материал для пайки и лужения с температурой плавления ниже температуры плавления паяемых материалов.

Паяльный флюс – вспомогательный материал, применяемый для удаления окидов с поверхности паяемого материала и припоя и предотвращения их образования.

Перепайка – распайка и повторная пайка.

Паяльный зазор – зазор между поверхностями паяемых заготовок или изделий, образующийся при температуре пайки.

Смачивание припоем – физико-химическое взаимодействие расплавленного припоя с паяемым материалом, проявляющееся в растекании припоя или образовании мениска с конечным краевым углом смачивания.

Растекание припоя – распространение расплавленного припоя на поверхности паяемого материала.

Затекание припоя в зазор – заполнение расплавленным припоем паяльного зазора.

Режим пайки – совокупность параметров и условий, при которых осуществляется пайка.

Паяемость – свойство материала образовывать паяное соединение при заданном режиме пайки.

Краевой угол смачивания припоем – двугранный угол между плоскостью, касательной к поверхности припоя у границы смачивания, и смоченной припоем плоской поверхностью паяемого материала.

Температура смачивания припоем – минимальная температура паяемого материала и припоя, при которой происходит смачивание припоем.

Температура пайки – температура в контакте соединяемых электромонтажных элементов и расплавленного припоя, при которой обеспечивается формирование паяного соединения.

Термический цикл пайки – совокупность значений температуры паяемых материалов и припоя в месте их контакта, при которых происходят нагрев, выдержка и охлаждение при пайке.

Температурный интервал активности паяльного флюса – интервал температур, в котором паяльный флюс выполняет свои функции.



Время выдержки при пайке – интервал времени выдержки паяемых материалов и припоя при температуре пайки.

Время охлаждения при пайке – интервал времени охлаждения паяемых материалов и припоя от температуры пайки до температуры окружающей среды.

Скорость нагрева при пайке – отношение изменения температуры в месте контакта паяемых материалов и припоя к интервалу времени, за которое произошло изменение.

Традиционная (оловянно-свинцовая) технология пайки – монтаж электронной компонентной базы (ЭКБ) с применением припоев, содержащих не менее 30% свинца.

Бессвинцовая технология монтажа – монтаж ЭКБ с помощью припоев, финишных покрытий печатных плат и выводов компонентов, не содержащих свинец.

Околоэвтектическое соединение – оловянно-свинцовое паяное соединение, образованное припоями системы «олово-свинец» и содержащее от 30 до 40 % свинца.

Неэвтектическое соединение – оловянно-свинцовое паяное соединение, образованное припоями системы «олово-свинец» и содержащее менее 30% свинца.

Капиллярная пайка – пайка, при которой расплавленный припой заполняет паяльный зазор и удерживается в нем преимущественно поверхностным натяжением.

Флюсовая пайка (лужение) – пайка (лужение) с применением флюса.

Бесфлюсовая пайка (лужение) – пайка (лужение), при которой для удаления оксидов с поверхности паяемых материалов и припоя и предотвращения их образования применяют газовые среды или создают вакуум, или оксидную пленку разрушают ультразвуковыми колебаниями либо частицами твердого материала.

Пайка в нейтральной газовой среде – бесфлюсовая пайка с применением инертного газа или газа, нейтрального по отношению к паяемым материалам и припою в диапазоне температур нагрева, выдержки и охлаждения.

Пайка паяльником – пайка, при которой паяемые материалы и припой нагревают паяльником.

Пайка в печи – пайка, при которой паяемые материалы и припой нагревают в печи.

Индукционная пайка – пайка, при которой нагрев паяемых материалов и припоя осуществляется теплом, выделяющимся в них под воздействием электромагнитного поля.

Пайка волной припоя – пайка, при которой нагрев паяемых материалов, перемещаемых над ванной, и подача припоя к месту соединения осуществляются стоячей волной припоя, возбуждаемой в ванне.

Пайка нагретым газом – пайка, при которой паяемые материалы и припой нагревают нагретым газом.

Пайка инфракрасными лучами – пайка, при которой паяемые материалы и припой нагреваются инфракрасными лучами.

Лазерная пайка – пайка, при которой паяемые материалы и припой нагреваются лазером (излучением оптического квантового генератора).

Ступенчатая пайка – пайка многошовных заготовок или изделий с поочередным образованием паяных швов, при которой не происходит распайка или образование дефектов образованных ранее соединений.

Групповая пайка – одновременная пайка нескольких заготовок или изделий.

Диффузионная зона – часть паяного соединения с измененным химическим составом паяемого материала в результате взаимной диффузии компонентов припоя и паяемого материала.

Галтельный участок паяного шва – часть паяного шва, образовавшаяся на наружных поверхностях паяемых элементов.

Трубчатый припой – припой в форме трубки или многоканального прутка, полости в котором заполнены флюсом или компонентами припоя.

Паяльная паста – пастообразная смесь порошкового припоя с флюсом и связующим веществом или с одним из них.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПАЙКИ

Монтажная (электромонтажная) пайка представляет собой процесс механического и электрического соединения металлических деталей с нагревом ниже температуры их расплавления путем смачивания и заполнения зазора между ними расплавленным припоем и сцепления за счет отверждения паяного шва.

Паяное соединение образуется в результате развития ряда процессов: теплового воздействия, физико-химического взаимодействия с припоем и вспомогательными материалами, термического и химического взаимодействия с окружающей газовой средой и материалом



оснастки и др. Все эти процессы влияют на свойства и качество паяных соединений и изделий.

Протекание перечисленных процессов существенно зависит также от конструкционных факторов изделия и паяных соединений, особенностей нагревательного оборудования и инструмента, термических режимов и циклов пайки. Выбор оптимальной технологии изделия требует учета влияния всех этих факторов.

Технологические процессы образования межсоединений протекают при плавлении или диффузии в твердой фазе и могут сопровождаться химическими реакциями.

В процессе пайки развиваются реакции на границах жидкого, а потом и затвердевшего припоя и поверхностей спаиваемых деталей. Течение твердофазных реакций определяется двумя механизмами: диффузией и процессами на границе фаз: жидкой (расплавленный припой) и твердой (соединяемые детали).

Для образования качественного паяного соединения необходимо подготовить поверхности деталей, активировать соединяемые металлы и припой, обеспечить взаимодействие металла с припоем, создать условия для кристаллизации металлической прослойки.

Подготовка включает удаление загрязнений органического и минерального происхождения, оксидных пленок, а иногда и нанесение покрытий, улучшающих условия пайки, повышающих прочность и коррозионную стойкость паяных соединений.

Изделия обезжиривают в растворах щелочей или в органических растворителях (ацетоне, бензине, спирте, СС14, фреоне и смесях).

Иногда перед пайкой на поверхность деталей наносят покрытия, которые улучшают процесс смачивания припоем и увеличивают сроки межоперационного хранения. Для покрытий используют припои, серебро, золото, свинец и их сплавы, которые наносят гальваническим или термовакuumным осаждением.

По критерию паяемости все многообразие современных паяемых материалов можно разделить на три группы:

- 1) легкопаяемые – Sn, Au, Ag, Cu и их сплавы;
- 2) среднепаяемые – латунь, бронза, Ni, Zn, сталь;
- 3) труднопаяемые – нержавеющая сталь, Mg, Al, Fe, Mo и др.

Взаимодействие на границе «металл – жидкий припой» связано с процессами смачивания и растекания припоя по паяемой поверхности.

Под смачиванием понимают свойство основного вещества при образовании поверхностного сплава покрываться тонким, сплошным, прочно сцепленным слоем припоя. Процесс смачивания основного ме-

талла припоем состоит в замене межатомных связей, возникших между металлами в твердой фазе, на металлическую связь атомов на границе раздела между ними. Нагрев основного металла и припоя приводит к снижению их активности вследствие взаимодействия с кислородом воздуха и образования оксидной пленки. Для предотвращения этого явления применяют флюсы, газовые среды, самофлюсующиеся припои или механические вибрации, УЗ-колебания и т.д. Наибольшее распространение получила пайка с применением флюсов.

Расплавленный флюс растекается по поверхности металла и припоя, смачивает их и вступает во взаимодействие с ними, в результате удаляется оксидная пленка, улучшается смачивание металлических поверхностей.

Условию равновесия капли на поверхности отвечает минимум свободной поверхностной энергии, под которой понимают избыток энергии поверхностных атомов вследствие несбалансированности сил связи в решетке. Растекание припоя по поверхности основного металла происходит в результате взаимодействия сил поверхностного натяжения и сопровождается сближением жидкой и твердой фаз. Взаимодействие сил поверхностного натяжения определяет краевой угол смачивания θ (рис. 1). Количественные соотношения между поверхностным натяжением, граничными поверхностными натяжениями и краевым углом смачивания устанавливает уравнение Юнга

$$\cos\theta = (\sigma_{\text{ТГ}} - \sigma_{\text{ТЖ}}) / \sigma_{\text{ЖГ}},$$

где θ – угол смачивания (краевой угол); $\sigma_{\text{ТГ}}$, $\sigma_{\text{ТЖ}}$, $\sigma_{\text{ЖГ}}$ – граничное поверхностное натяжение между твердой фазой и газом, твердой фазой и жидкостью и жидкостью и газом соответственно.

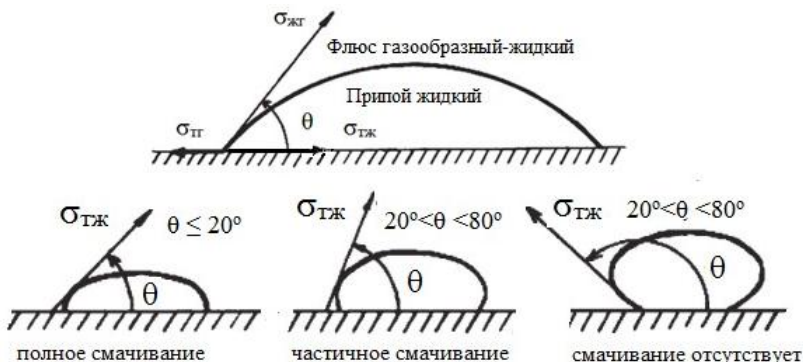


Рис. 1. Схема равновесия сил поверхностного натяжения



Из уравнения следует, что уменьшение поверхностного натяжения припоя в расплавленном состоянии приводит к уменьшению угла смачивания.

На процесс смачивания и растекания припоя влияют технологические факторы: способ удаления оксидной пленки, характер предшествующий механические обработки, режим пайки. Применение флюсов, действующих как поверхностно-активные вещества, снижает поверхностное натяжение расплавленных припоев, что улучшает смачиваемость паяемой поверхности.

Пайка, при которой расплавленный припой заполняет паяльный зазор и удерживается в нем преимущественно поверхностным натяжением, называется капиллярной. Капиллярные явления присущи почти всем способам пайки. Скорость затекания в горизонтальном капилляре и высота подъема в вертикальном уменьшаются при снижении поверхностного натяжения между припоем и флюсом. Эффективность пайки определяется также величиной зазора между паяемыми элементами, она находится в пределах от сотых до десятых долей миллиметра и зависит от пары «припой-основной металл», применяемого флюса и способа пайки.

В процессе растекания припоя происходит взаимодействие жидкой фазы припоя с основным металлом, проявляющееся в растворении и диффузии металлов. Скорость и глубина этих процессов зависят от природы взаимодействующих металлов, температуры, скорости и времени нагрева, напряжений в основном металле.

Наличие зон сплавления (диффузионных зон) на границах раздела припоя и соединяемых металлов является признаком образования

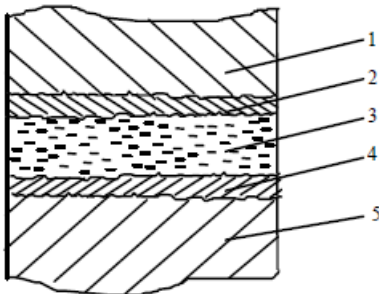


Рис. 2. Структура паяного соединения: 1, 5 – основной металл; 2, 4 – диффузионные зоны; 3 – зона сплавления

металлической связи с полными свойствами электрической проводимости по металлу. Отсутствие диффузионной зоны указывает на недостаточную связь, т.е. на наличие «холодной» пайки: электрическое соединение неустойчиво. В результате диффузии и растворения образуется схема строения паяного шва, приведенная на рис. 2. Ширина диффузионной зоны h оказывает

существенное влияние на прочность паяного соединения (рис. 3). В

каждом конкретном случае условия пайки должны быть подобраны таким образом, чтобы ширина диффузионной зоны находилась в пределах 0,9...1,2 мкм. При правильном выполнении пайки прочность паяного шва всегда больше прочности припоя.

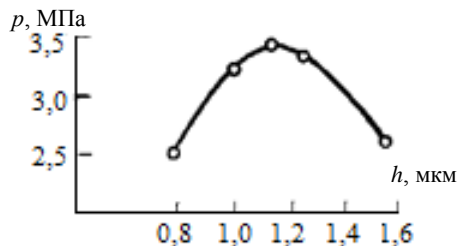


Рис. 3. Изменение прочности паяных соединений в зависимости от ширины диффузионной зоны

После удаления источника тепловой энергии наступает стадия кристаллизации металлической прослойки, которая оказывает большое влияние на качество паяных соединений. Кристаллизация в шве начинается на основном металле, который оказывает сильное ориентирующее воздействие на расплавленный припой, и на тугоплавких частицах. На структуру паяного соединения влияют зазор, так как он определяет температурный градиент расплава, величину и протяженность области концентрационного переохлаждения, а также скорость снижения температуры. Медленное охлаждение способствует образованию более равновесной структуры и, следовательно, прочного и пластичного паяного соединения.

ПРИПОИ И ФЛЮСЫ

Современное сборочное производство характеризуется большим разнообразием применяемых технологических материалов (припоев и флюсов), которые зависят от типа компонентов, процессов, условий эксплуатации и прочих причин.

В качестве припоев используют различные цветные металлы и их сплавы, которые расплавляются ниже температуры плавления контактируемых металлов.

Применяемые в промышленности припои стандартизованы по характеристикам и классифицируются по основному технологическому параметру – температуре плавления, а также по составу и содержанию основных компонентов.



По температуре плавления $t_{пл}$ все припои подразделяют на следующие группы: 1) особо легкоплавкие, $t_{пл} \leq 145^\circ\text{C}$; 2) легкоплавкие, $145^\circ < t_{пл} \leq 450^\circ\text{C}$; 3) среднеплавкие, $450^\circ < t_{пл} \leq 1100^\circ\text{C}$; 4) высокоплавкие, $1100^\circ < t_{пл} \leq 1850^\circ\text{C}$; 5) тугоплавкие, $t_{пл} > 1850^\circ\text{C}$.

По содержанию основных компонентов припои 1- и 2-й групп подразделяют на оловянно-свинцовые, оловянные, кадмиевые, висмутовые, серебряные и др.

Марка припоя обозначается комбинацией элементов в виде нескольких (обычно прописных) букв и через дефис цифрами, указывающими последовательно процентное содержание основных компонентов и специальных присадок. Значения буквенных элементов: П – припой, О – олово, С – свинец, Су – сурьма, В – висмут, М – медь, К – кадмий, Ср – серебро и т.д. Например, ПОС-40 – припой оловянно-свинцовый с содержанием олова 40%, остальное – свинец, Sn96Ag4 – олова 96%, серебра – 4%.

При монтаже ЭА применяют преимущественно легкоплавкие припои, в отдельных случаях – особо легкоплавкие и только для специальных видов монтажа – некоторые марки среднеплавких припоев. Основными компонентами легкоплавких припоев являются олово и свинец (рис. 4). В зависимости от соотношения олова и свинца в сплаве могут существовать два вида твердых растворов: богатый свинцом α -твердый раствор и богатый оловом β -твердый раствор.

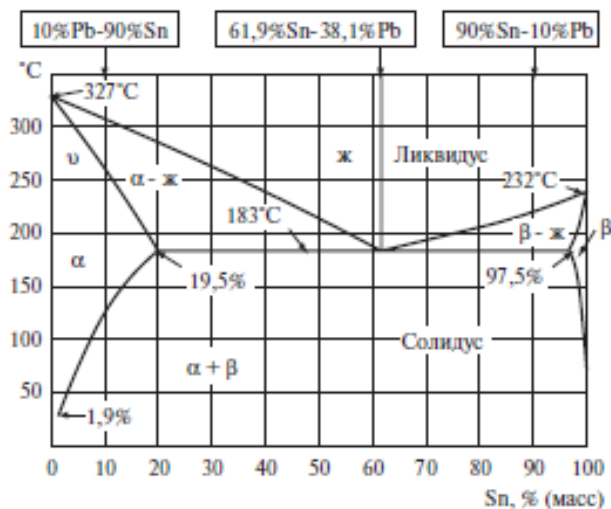


Рис. 4. Диаграмма состояния сплавов олово-свинец

При эвтектической температуре 183°C и эвтектическом составе 61,9% Sn и 38,1% Pb образуется эвтектика, т.е. из сплава выделяются одновременно α -раствор и β -раствор, минуя область двух фаз. Так как α - и β -раствор растут одновременно, то они распределяются очень тонко, из-за чего эвтектическая структура получает мелкокристаллический вид, отверждение (кристаллизация) происходит сразу во всем объеме при самой низкой для данной системы температуре.

Для монтажной пайки традиционно много лет используют эвтектический сплав олово-свинец с содержанием олова 61% (ПОС-61). Он имеет наименьшую температуру плавления, наименьшую межкристаллитную пористость, наилучшие капиллярные свойства.

Неэвтектические сплавы кристаллизуются в широком температурном диапазоне, что увеличивает время, необходимое для охлаждения паяного узла, в течение которого соединяемые детали должны оставаться строго неподвижными, чтобы не сдвинуть остывающий полутвердевший припой. Если твердеющий припой из неэвтектического сплава потревожить даже незначительным сдвигом (микросдвигом), мгновенно наступает общая кристаллизация с выделением крупных кристаллов с непрочными межкристаллическими связями. Неэвтектическим сплавам свойственно явление зональной ликвации – образования структурной неоднородности. Получается сплав со слоистой структурой, что создает в паяном узле локальные напряжения, способные при определенных условиях разрушить паяное соединение. В припое эвтектического состава ликвации не возникают.

Для улучшения технологических или эксплуатационных свойств в оловянно-свинцовые припои вводят присадки некоторых металлов:

- висмута или кадмия, снижающие температуру плавления;
- меди 1,5...2%, замедляющие эрозию стержня паяльника и т.д.;
- серебра (Ag) и сурьмы (Sb), повышающие температуру плавления и затвердения припоя;
- Ag, задерживающие снижение прочности при старении, уменьшающие окисление олова;
- Sb, увеличивающие прочность соединения, но делающие его более хрупким.

Механическая прочность припоев возрастает с увеличением содержания олова, но одновременно растет его стоимость, так как свинец в 20 раз дешевле олова.

Жидкий припой растворяет соединяемые металлы, за счет чего его свойства могут ухудшаться. Растворяя основной металл, припой может уменьшать толщину и без того тонких покрытий, например,



микронных покрытий серебра на керамике. Скорость растворения основного металла или металлопокрытия при пайке (температура 270 °С) волной припоя (мкм/с): для никеля – 0,43; для меди – 1,56; для серебра – 2,8; для золота – 0,4.

Для предотвращения насыщения припоя посторонними для него компонентами применяют защитные (паяльные) маски, закрывающие металлические поверхности, не подлежащие пайке, используют мало-растворимые в припое барьерные покрытия, например, никель на меди. Легирование припоя предотвращает растворение металлов и улучшает свойства припоев:

ПОС61Су – припой, легированный сурьмой, обладает повышенной механической прочностью;

ПОС61М – припой, легированный медью (до 2%), не растворяет медь, предназначен для пайки микропроводов;

ПСрОСИн – сплав олова, свинца, сурьмы, серебра, индия, предназначен для пайки и лужения тонких проводов из золота и серебра или покрытых ими деталей. Присадки индия значительно увеличивают способность припоя к смачиванию поверхностей.

Выбор марки припоя определяется свойствами основного металла и технологического покрытия, максимально допустимой температурой при пайке ЭРЭ, а также технико-экономическими и технологическими требованиями к паяным соединениям.

К монтажным припоям предъявляют следующие основные требования:

- технологические: температура плавления припоя минимальна и ниже температуры плавления паяных проводников, хорошая смачиваемость и растекаемость, малый температурный интервал кристаллизации;
- конструкционные: механическая прочность и пластичность, высокая электропроводность, необходимая теплопроводность, температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР), близкий к ТКЛР паемого металла, коррозионная стойкость и герметичность.

Дополнительно оценивают такие факторы, как стоимость и дефицитность компонентов, интенсивность их испарения (угара) и растворения в основном металле, способность припоя растворять соединяемые металлы (загрязняться растворяемыми металлами), когезионную прочность, свойства химических соединений металлов с припоями (интерметаллидов).

Составы припоев можно найти в справочниках, стандартах и каталогах фирм поставщиков. Основные марки припоев, их состав и назначение приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Монтажные легкоплавкие припой

Марка припоя	Состав припоя, %	Паяемый металл (металлическое покрытие)	Температура плавления, °С		Область применения
			Солидус	Ликвидус	
ПОС-40	Олово – 39...41, свинец – 61...59	Медь, никель и их сплавы, серебро, золото, олово и его сплавы, кадмий	183	238	Пайка и лужение деталей и монтажных проводов, жгутов, наконечников, проходных стеклянных изоляторов
ПОС-61	Олово – 60...62, свинец – 40...38	Медь, никель и их сплавы, ковар, серебро, золото, олово и его сплавы, кадмий	183	192	Пайка и лужение выводов и ПП, микропроводов, пленочных покрытий, работающих при температуре не выше 100 °С
ПОСК 50-18	Олово – 49...51, кадмий – 17...19, свинец – остальное	золото, олово и его сплавы, кадмий	142	145	Пайка и лужение печатных узлов, керамических изоляторов, конденсаторов, проводов и т.д., не допускающих нагрев выше 180 °С
ПОССу 61-0,5	Олово – 60...62; сурьма – 0,2...0,5; свинец – остальное	Медь, никель и их сплавы, серебро, золото, олово и его сплавы, кадмий	183	189	Пайка, лужение выводов, элементов печатных плат, узлов и блоков, электрического монтажа, работающих при температуре не выше 100 °С. Групповая пайка оплавлением припойных плат
Ср2	Олово – 29...31; кадмий – 4,5...5,5; серебро – 1,7...2,3; свинец – остальное	Медь, никель и их сплавы	225	235	Пайка, лужение точечных изделий, штепсельных разъемов, работающих при температуре от 150 до 250 °С
Сплав Розе	Олово – 17,5...18,5; свинец – 31,5...32,5; висмут – 49,5...50,5	Медь	93	96	Лужение элементов печатных плат

Решение экологических проблем при утилизации электронной аппаратуры потребовало изъятия из обращения припоев, содержащих свинец. При этом требование перехода на бессвинцовую пайку, не распространяется на аппаратуру ответственного назначения (воен-



ную, системы безопасности и др.), для которой надежность имеет первостепенное значение. Для другой аппаратуры (по большей части бытового назначения), для которой предписана бессвинцовая пайка, приходится использовать новые более нагревостойкие базовые и вспомогательные материалы, компоненты в термоустойчивых корпусах, оборудование другого класса. В общей сложности стоимость электронной и электротехнической аппаратуры без свинца возрастает на 30%.

Общие требования к применяемым сплавам (ГОСТ Р 56427–2015)

1. При пайке электронных модулей РЭС класса С по традиционной технологии должны быть использованы только сплавы, содержащие не менее 30% свинца (ПОС-61, ПОСК 50-18 и аналогичные). При ступенчатой пайке электронных модулей РЭС допускается применение низкотемпературных припоев с температурой плавления ниже 179°C и указанных в НД.

2. При пайке электронных модулей РЭС классов А и В для Российской Федерации должны быть использованы сплавы, содержащие свинец. По требованию заказчика допустимы бессвинцовые сплавы.

3. Для пайки электронных модулей РЭС классов А и В, предназначенных для продажи за пределами Российской Федерации, а также при работе по бессвинцовой технологии, должны применяться бессвинцовые сплавы, если иное не предусмотрено контрактом.

4. При работе по комбинированной технологии (при пайке РЭС классов А и В) должны быть использованы только сплавы, содержащие не менее 30% свинца (ПОС-61, ПОСК 50–18 и аналогичные).

В соответствии с ГОСТ Р МЭК 61191-1–2010 должны применяться составы припоя Sn60Pb40, Sn62Pb36Ag2, Sn63Pb37 и формы припоя, соответствующие требованиям ИСО 9453. Допускаются и другие сплавы, обеспечивающие срок службы, качество и надежность изделия, если все другие условия настоящих требований удовлетворяются и если они согласованы заказчиком и изготовителем. Например, некоторые изготовители считают, что включения Sn60Pb38Bi2 приводят к матовой поверхности, которая помогает оптическому контролю.

В настоящее время свинцовые припои заменяют сплавами различных составов. Сплавы отличаются как по температуре плавления, так и по прочности, стоимости. Каждый сплав обладает уникальным сочетанием свойств, что затрудняет окончательный выбор, поскольку абсолютно равноценной заменой эвтектическому припою ПОС-61 до

сих пор не предложено. Принципиальное отличие бессвинцовых припоев от эвтектических сплавов олово–свинец – большая температура плавления и плохая смачиваемость. И то и другое вынуждает увеличивать рабочие температуры при пайке, что ускоряет процессы термодеструкции элементов межсоединений и изоляции.

Из припойных сплавов наиболее востребованы следующие стандартные сплавы:

- Sn63Pb37 (температура плавления +183 °С), Sn60Pb40 (ПОС-61) (температура плавления +183...190°С), Sn62Pb36Ag2 (температура плавления +179 °С) для свинцовой пайки;

- Sn99,3Cu0,7 (SN100С) (температура плавления +227°С) для бессвинцовой пайки, характеризуется высокой температурой плавления (227°С для эвтектики), плохой смачиваемостью и низкой прочностью.

Европейские стандарты рекомендуют три сплава для замены оловянно-свинцовых припоев: олово-серебро-медь (Sn/Ag/Cu) и сплавы на основе олово-серебро-висмут (например, Sn93,5/Ag3,5/Bi3). В промышленности массового производства сложилось единое мнение, что наилучшей альтернативой для замены эвтектики Sn62/Pb38 в аппаратуре общего назначения является сплав Sn95,5/Ag3,8/Cu0,7 с температурой плавления 217°С, что на 34°С выше Sn62/Pb38. Припой Sn96,5/Ag3,5 многие годы применяется в Японии для монтажа массовой продукции.

Требования к чистоте сплавов для производства электроники регламентируются различными стандартами, например, IPC-JSTD-001, и для припоев типа ПОС следует отметить важность достаточной чистоты расплава в процессах групповой пайки, даже примеси в доли процента могут существенно влиять на температуру плавления, вязкость расплава, смачивающую способность и в целом на качество пайки.

Примеры влияния различных примесей на свойства оловянно-свинцовых припоев:

- критическое значение серебра (Ag) составляет 0,2%. Если это значение превышено, будет формироваться интерметаллическое соединение Ag₃Sn, что придаст паяным соединениям тусклый внешний вид;

- критический уровень золота (Au) 0,5%. Золото в припой может попадать из-за растворения NiAu-покрытий площадок печатных плат. Припой становится более вязким, текучесть во время охлаждения снижается из-за образования интерметаллического соединения AuSn₄, что также приводит к хрупкости паяного соединения;



- при уровне висмута около 2% паяные соединения имеют матовый внешний вид. Примесь висмута до 3% не сказывается на свойствах пайки. Бóльшее содержание висмута вызывает значительные изменения в температуре плавления;

- кадмий окисляется в расплаве. Оксиды кадмия очень трудно удалить, в связи с чем увеличивается образование шлака, что резко снижает смачиваемость. Поэтому приемлемый уровень кадмия очень низкий, меньше 0,005%;

- критическое значение меди 0,3%. При превышении уровня 0,2% существенно возрастает образование перемычек, а поверхность паяных соединений становится тусклой. Образуется интерметаллическое соединение Cu_6Sn_5 , что приводит к увеличению вязкости расплава.

Содержание примесей в припое ПОС-61 (ГОСТ 21930–76) допускается близким к приведенным выше критическим значениям, а по ряду элементов вообще не нормируется.

В зависимости от производителя и марки сплава в партиях припоя уровень загрязнений может быть как в десятки и сотни раз меньше требований стандартов, так и приближаться к ним вплотную. Поскольку существуют тенденции к росту загрязнений, например, медь с контактных площадок переходит в расплав, то чем чище исходный сплав, тем больше времени он будет набирать примеси при работе в установке до критических значений. К тому же со временем довольно часто снижается содержание Sn (олова). Исходя из этих соображений, предпочтительнее изначально применять более чистый сплав, причем именно эвтектический $\text{Sn}63\text{Pb}37$. Это позволит поддерживать состав расплава и уровень примесей в пределах, достаточных для приемлемого качества процесса.

Припой может быть в виде проволоки, трубы, наполненной флюсом, шариков, таблеток и т.п. Для пайки соединений при монтаже радиоаппаратуры широко применяется так называемый трубчатый припой, представляющий собой пустотелую трубку небольшого диаметра, изготовленную из оловянно-свинцового сплава и заполненную канифольным флюсом (рис. 5).

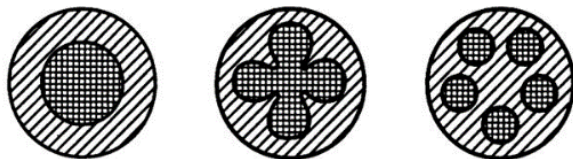


Рис. 5. Конструкции трубчатого припоя

Основные преимущества трубчатых припоев:

- возможность наложения припоя и флюса на место пайки за один прием;
- улучшение качества пайки;
- резкое увеличение производительности труда на монтажных операциях, а также облегчение пайки в труднодоступных местах;
- существенное уменьшение потерь припоя и флюса, которые при работе кусковым или проволочным припоем и отдельно флюсом весьма значительны (около 20 % припоя и 50 % флюса);
- обеспечение подачи к месту пайки надлежащего количества флюса, дозировка которого определяется конструкцией и типом припоя;
- возможность плавления припоя в момент, когда флюс уже подогрет и находится в более активном состоянии;
- исключение возможности случайного загрязнения флюса.

Для поверхностного монтажа применяют припои в виде паяльных паст. Паяльная паста – однородная суспензия порошка легкоплавкого припоя (диаметр частиц, обычно сферической формы, 5...2,5 мкм) во флюсующей связке, в которую кроме флюса (обычно канифоль) входят активатор, растворитель, антиоксидант и др. Качество паяльной пасты определяется размерами частиц и степенью однородности гранулометрического состава. Чем меньше размеры шариков припоя, тем точнее паста будет нанесена через сетчатый трафарет на контактные площадки печатных плат.

Требования к выбору класса припойной пасты, распределению частиц припойной пасты по размерам, количеству металлической составляющей в припойной пасте по массе, кинематической вязкости припойной пасты, марки и области применения приведены в ГОСТ Р 56427–2015.

К паяльным пастам предъявляются следующие требования:

- высокое качество паяных соединений, без разбрызгивания и образования сопутствующих шариков припоя;
- хорошие клеящие свойства для удержания компонентов до пайки;
- высокая стойкость к растеканию при предварительном нагреве;
- минимальное количество легко удаляемых остатков флюса после пайки;
- возможность нанесения методом трафаретной печати или дозированием;
- длительное хранение без изменения свойств.



Возможность получения паяного соединения и качество пайки во многом зависят от правильного выбора флюса. При выборе флюса для монтажной пайки основными факторами являются паяемый материал, тип припоя (температура плавления), необходимость удаления остатков флюса. Важно, чтобы химическая активность флюса проявлялась при температуре пайки, а при нормальной температуре отсутствовала. Флюсы должны обеспечивать своевременное и полное растворение оксидов основного металла, равномерное покрытие поверхности металла у места пайки и предохранение его от окисления в течение всего процесса пайки.

Общие требования к применяемым флюсам (ГОСТ Р 56427–2015)

Флюсы для пайки электромонтажных соединений электронных модулей РЭС должны быть классифицированы по следующим признакам:

- температурному интервалу активности (низкотемпературные – до 450°C и высокотемпературные – свыше 450°C);
- природе растворителя (водные и неводные);
- природе активатора, определяющего действия (для низкотемпературных флюсов: канифольные, кислотные, галогенидные, гидразиновые, фторборатные, анилиновые и стеариновые; для высокотемпературных флюсов: галогенидные, фторборатные и боридно-углекислые);
- механизму действия (защитные, химического действия, электрохимического действия и реактивные);
- агрегатному состоянию (твердые, жидкие и пастообразные);
- по классам активности (класс L – низкая активность флюса или отсутствие активности остатков флюса, класс M – средняя активность флюса/остатков флюса, класс H – высокая активность флюса/остатков флюса).

В зависимости от химической основы – нелетучей составляющей флюсы для пайки должны быть классифицированы в зависимости от основы:

- натуральной канифоли (RO);
- синтетической канифоли (RE);
- органических соединений, отличных от натуральной и синтетической канифоли (OR);
- неорганических кислот и/или солей (IN).

Соответствие между флюсами L, M и H и классами флюсов на основе канифоли (R, RMA, RA и RSA), а также другими флюсами, такими как водорастворимые и синтетически активированные, приведено в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Соответствие между типами флюсов

Тип флюса	Классы флюсов
L0	Все классы флюсов R, некоторые флюсы класса RMA, некоторые флюсы с малым содержанием твердых веществ "безотмывочные"
L1	Большинство флюсов класса RMA, некоторые флюсы класса RA
M0	Некоторые флюсы класса RA, некоторые флюсы с малым содержанием твердых веществ "безотмывочные"
M1	Большинство флюсов класса RA, некоторые флюсы класса RSA
H0	Большинство водорастворимых флюсов
H1	Некоторые флюсы класса RSA, большинство водорастворимых и синтетических активированных флюсов

В радиотехнической промышленности и при производстве и ремонте электронного оборудования производителям РЭС предлагают несколько типов паяльных флюсов:

- R – флюс на основе чистой канифоли, которая может быть как в твердом состоянии, так и в форме жидкостей на основе спирта или других растворителей. Это самая неагрессивная категория флюсов, рассчитанная на пайку свежих неокислённых или хорошо зачищенных поверхностей;
- RMA – группа флюсов на основе слабоактивированной канифоли. В роли активаторов выступают комбинации органических кислот или их соединений, что делает композицию более эффективной, по сравнению с группой R. Применяются при автоматической пайке со стандартизированными температурно-временными профилями;
- RA – группа флюсов на основе активированной канифоли, что делает пайку очень эффективной, но требует промывки, без которой флюс не застрахован от коррозионной активности;
- SRA – флюсы с применением сверхактивированной канифоли, разработаны для решения нестандартных задач в электронике, например, для пайки никеля, нержавеющей стали и др. Эта группа флюсов



сильно агрессивна и требует тщательной промывки во всех без исключения случаях.

Классы флюсов для пайки электромонтажных соединений электронных модулей РЭС должны дополнительно иметь индекс «0» или «1», который показывает соответственно отсутствие или наличие во флюсе галогенов.

В соответствии с ГОСТ Р МЭК 61191-1-2010 для пайки печатных узлов должны применяться флюсы классов L или M. Для конструкций, где остатки флюсов не удаляются (безотмывочные флюсы), рекомендуются флюсы класса L.

Для пайки электромонтажных соединений электронных модулей РЭС класса С должны быть использованы только флюсы класса L0. Отмывка изделий от остатков флюса после пайки **обязательна**.

Для пайки электромонтажных соединений электронных модулей РЭС классов А и В по традиционной и бессвинцовой технологиям допускается использовать флюсы любого класса. Рекомендуется отмывка изделий от остатков флюса после пайки.

Для пайки электромонтажных соединений электронных модулей РЭС класса В по комбинированной технологии рекомендовано применять флюсы классов M0 и N0 с последующей обязательной отмывкой изделий от остатков флюса после пайки.

Флюсы на основе неорганических кислот и флюсы класса Н можно использовать для лужения контактов, одножильных проводов и герметизированных компонентов. Флюсы на основе неорганических кислот **не могут применяться для пайки печатных узлов**. Флюсы типа Н можно употреблять для пайки контактов, одножильных проводов и герметизированных компонентов, если пайка является составной частью интегрированной системы оборудования для флюсования, пайки, очистки и контроля качества отмывки.

Если применяется **флюс типа Н, то очистка обязательна**. Если жидкий флюс используют совместно с другими флюсами, то он должен быть химически совместим с другими флюсами и материалами. При монтажной пайке легкоплавкими припоями марок ПОС этим требованиям в достаточной мере удовлетворяют смолосодержащие флюсы (канифольные и др.).

Обозначение марки низкотемпературного флюса состоит обычно из ряда букв, первая из которых Ф (флюс), а последующие обозначают наименование входящих компонентов (К – канифоль, П – полиэфирная смола, Сп – спирт, Эт – этанол и т.д.)

Канифоль – твердое хрупкое вещество от желтого до коричневого цвета, имеющее температуру плавления 80...120°C. Флюсующее действие канифоли проявляется в интервале 160...300°C за счет возникновения в расплаве слабой абиетиновой кислоты, которая растворяет следы оксидов, а при переходе в твердое состояние нейтрализуется терпином, входящим в ее состав. При температуре 310°C и более канифоль обугливается и затрудняет пайку. Удобен в работе жидкий канифольный флюс в виде 30...50%-ного раствора канифоли в спирте (флюс ФКСп) или в этилацетате (ФКЭт). Остатки канифольного флюса после пайки – пассивное твердое вещество-изолятор. Однако во влажной среде изоляционные свойства канифоли ухудшаются, поэтому после пайки тщательно отмывают места пайки от остатков флюса. Лучшими свойствами обладает флюс ФПЭт (раствор полиэфирной смолы ПН-9), не требующий в большинстве случаев очистки после пайки.

Обычные канифольные флюсы эффективны при пайке меди, ее сплавов (латунь, бронза), а также для материалов с покрытиями Sn, Zn, Cd, Ag, Au. При пайке проводов из никеля, сплавов большого сопротивления и ряда других канифоль мало эффективна, поэтому применяют активированные жидкие флюсы (например, ФКТ, ФКДТ, ЛТИ-120 и др.). Основные марки флюсов, их состав и назначение приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Марки флюсов, их состав и назначение

Марка флюса	Составляющие флюса, их состав, %	Температурный интервал флюсующей активности, °С	Паяемый металл	Область применения
1	2	3	4	6
Канифоль	Сосновая канифоль, 100	210...300	Медь, серебро, олово, цинк, золото	Пайка и лужение деталей и проводников в изделиях специального назначения
ФКСп ФКЭт	Сосновая канифоль, 10...60; этиловый спирт, 90...40	90...40 200...300		Пайка и лужение деталей и проводников. Консервация в условиях складского хранения



1	2	3	4	5
ФКТ	Сосновая кани- фоль, 10...40. Тетрабромид- дипситен, 0,05...0,1; этиловый спирт, 00 60	200...300	Медь, серебро, олово, кадмий, цинк	Пайка и лужение контактных со- единений и по- верхностей в изделиях специ- ального назначе- ния
ЛТИ_120	Сосновая кани- фоль, 20...25; солянокислый диэтиламин, 3...; триэтанолзмин, 1...2; этиловый спирт, 76...68	160...350	Сталь, медь, никель и его спла- вы, оло- во, се- ребро, кадмий, цинк	Пайка, лужение деталей, провод- ников в изделиях широкого потреб- ления
ФДГл	Солянокислый диэтиламин, 4...6; Глицерин, 96...94	185...350	Медь, олово, серебро, кадмий, цинк	То же, а также групповая пайка деталей и оплав- ление после гальванического лужения
ЖЗ-1-АП	Цилиндровое масло, 79...81; кремнийоргани- ческое связующее 16...17; олеиновая кисло- та 4,9...1,8;	200...250	Сталь, медь и их спла- вы, ни- кель и его спла- вы	Защита зеркала расплавленного припоя от окис- ления в механи- зированных уста- новках для пайки

Требования к отмывочным жидкостям (ГОСТ Р 56427–2015)

1. Выбор марки отмывочной жидкости проводится в соответствии с ее характеристиками под соответствующую область применения и используемое оборудование. Для изделий РЭС класса С должны применяться только отмывочные жидкости, указанные в действующей отечественной НД. Для изделий РЭС класса А и В рекомендуются отмывочные жидкости, указанные в действующей отечественной НД.

2. Процессы отмывки должны классифицироваться в зависимости от среды (табл. 4).

Классификация процессов отмывки

Процесс	Среда отмывки	Среда ополаскивания
Водный	Раствор отмывочной жидкости в воде (содержит не менее 50% воды)	Вода
Полуводный	Растворитель	Вода
В растворителе	Растворитель	Растворитель

Если требуется очистка, то остатки флюса должны удаляться как можно быстрее, предпочтительно в пределах 15 мин, но не позже 1 ч после пайки. Некоторые флюсы или технологические процессы могут требовать более срочных действий для облегчения надлежащей очистки. Механические средства, такие как встряхивание, разбрызгивание, очистка щетками и т.д., или обезжиривание паром и другие методы допускается использовать совместно с отмывочными средствами.

Водорастворимые флюсы отмывают в проточной горячей (60...80 °С) и холодной воде с помощью мягких щеток. Канифольные флюсы в процессе индивидуальной пайки промывают этиловым (изопропиловым) спиртом; при групповой пайке применяют ультразвуковую очистку или очистку щетками в спиртобензиновой смеси (1:1), трихлорэтаноле или хлористом метиле, а также с использованием фреона или смесей на его основе, которые, обладая низким поверхностным натяжением, проникают в мельчайшие отверстия. Этот растворитель не воспламеняется, не ядовит, не разрушает резину, лаки, краски и большинство полимеров, но экологически опасен. Качество отмывки контролируют люминесцентным или химическим методами. Учитывая трудоемкость промывки, флюс на монтажные элементы необходимо наносить в минимальном количестве, смачивая только паяемые поверхности и не допуская попадание флюса под изоляцию проводов или внутрь корпусов ЭРЭ.

В соответствии с ГОСТ61192-1–2010 «Печатные узлы. Требования к качеству. Часть 1. Общие технические требования» печатные узлы, которые прошли очистку, должны проверяться в соответствии с МЭК 61340-5-1, МЭК 61340-5-2 и должны соответствовать следующим требованиям к максимально допустимому уровню остатков канифольных флюсов:

- класс А – на печатном узле менее 200 мкг/см²;
- класс В – на печатном узле менее 100 мкг/см²;
- класс С – на печатном узле менее 40 мкг/см².



ТЕХНОЛОГИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Пайка выполняется индивидуально с помощью нагретого паяльника или различными групповыми методами (погружением в расплавленный припой с использованием специального оборудования, волной расплавленного припоя). Индивидуальная пайка эффективна в условиях единичного и мелкосерийного производства, для проводного монтажа, после выполнения групповой пайки на другой стороне печатной платы, при макетных, ремонтных и регулировочных работах.

Работа электромонтажника в настоящее время осложняется возросшей плотностью монтажа. В современной РЭА плотность только самих монтажных соединений составляет 10...15 соединений на 1 см². Применение фольгированных диэлектриков с улучшенными прочностными характеристиками позволило резко сократить зазоры между печатными проводниками (до 0,25 мм) и уменьшить контактные площадки (до 0,3 мм по ширине). В связи с ограниченной термостойкостью элементов печатного монтажа приходится снижать температуру пайки, поддерживая ее в узком интервале, а также сокращать время пайки. Большая плотность монтажа обуславливает ограничение размеров соединений и ужесточение требований к точности их выполнения и обеспечению стабильности свойств.

Основные требования к ручной пайке (ГОСТ Р МЭК 61191-1-2010):

1. Нанесение флюса. Жидкий флюс должен наноситься на соединяемые поверхности до подачи тепла. Рекомендуется избегать избытка флюса. При применении трубчатых припоев с сердечником из флюса припой должен помещаться в место, которое позволяет флюсу растекаться и покрывать элементы соединения при расплавлении. При использовании внешнего жидкого флюса вместе с трубчатыми припоями флюсы должны быть совместимыми.

2. Нанесение припоя. Хорошо луженое жало паяльника должно прикладываться к соединению, а припой вводиться на стык жала и соединения для максимальной передачи тепла. После подачи и переноса тепла припой рекомендуется вводить в соединение, а не на жало паяльника. Припой должен наноситься только на одну сторону металлизированного сквозного отверстия. Температура жала паяльника не должна превышать установленную рабочую температуру для используемого припоя. Тепло допускается подавать на обе стороны металли-

зированной сквозного отверстия. Некоторые виды ручной пайки могут требовать предварительного нагрева для предотвращения повреждения компонентов.

3. Теплоотводы. При проведении ручной пайки рядом с корпусом теплочувствительного устройства рекомендуется использовать теплоотводы между жалом паяльника и корпусом компонента, что необходимо для ограничения теплового потока в компонент.

4. Капиллярное затекание припоя. Допускается ограниченное капиллярное затекание припоя во время пайки проводов. Оно не должно распространяться на часть провода, которая должна оставаться гибкой.

Ручная пайка оплавлением. 1. Нанесение припоя. Необходимо наносить достаточное количество припоя на компоненты или на плату, или на то и другое для обеспечения требований, предъявляемых к качеству конечного продукта. Методы нанесения припоя включают в себя дозирование, штырьковый перенос припойной пасты, применение проволочного или формованного припоя. Контактные площадки, на которые наносится припой, должны быть чистыми.

2. Методы оплавления. Изготовители должны установить технологический процесс оплавлением, который обеспечивает повторяемость в пределах, заданных для оборудования оплавления, используемого в пайке с ручным управлением (например, оплавление горячим воздухом или газом, инфракрасным излучением).

Технологический процесс должен, как минимум, включать в себя воспроизводимую температурно-временную характеристику, операцию сушки или дегазации. Для оплавления используют горячевоздушные или газовые паяльные пистолеты, паяльники или горячий стержень (термод) или операции с лазерным оборудованием.

3. Экранирование. При выполнении ручной пайки оплавлением рекомендуется обеспечивать соответствующее экранирование, при котором соседние компоненты (рядом с соединяемыми элементами) не повреждаются или паяные соединения соседних компонентов не расплавляются.

Рабочее место монтажника – это отдельный участок лаборатории (цеха), отведенный одному монтажнику, со всем необходимым оборудованием, приспособлениями и инструментом. Обычно это монтажный стол с требуемым оснащением, местным освещением (40...60 Вт) и вытяжной вентиляцией.

Организация рабочего места монтажника призвана обеспечить максимальную производительность труда, высокое качество продук-



ции, безопасность условий труда. На рабочем месте (столе) находятся блок питания, необходимый для выполнения текущей работы инструмент, детали, ЭРЭ, материалы, оснастка, документация. Их расположение должно быть наиболее рациональным при выполнении конкретной работы. При мелкосерийном производстве обычно оборудуют универсальное рабочее место монтажника радиоаппаратуры. Рабочую поверхность стола покрывают линолеумом или пластиком и устанавливают по бокам низкие бортики.

Особое внимание при пайке микросэлектронных компонентов уделяют защите от статического электричества с помощью хлопчатобумажной спецодежды, специальной обуви, антистатического покрытия рабочих столов, заземления аппаратуры и антистатических браслетов для монтажников.

Монтажный инструмент и съемные приспособления размещают в тумбочках стола. Комплект монтажного инструмента для универсальных работ обычно включает: паяльник с принадлежностями, плоскогубцы, круглогубцы, пинцеты, кусачки, монтажный нож, ножницы, наборы отверток и гаечных ключей под головки винтов и гаек с резьбой М2...М6, напильники, инструмент для укладки и правки монтажа, контрольно-измерительные инструменты (линейку, штангенциркуль, микрометр, лупу 4...6^х).

Технологический процесс пайки состоит из следующих операций:

- фиксации элементов с предварительно подготовленными к пайке поверхностями;
- нанесения дозированного количества флюса и припоя;
- нагрева деталей до заданной температуры и выдержки в течение определенного времени;
- охлаждения соединения без перемещения поверхностей;
- очистки соединений;
- контроля качества.

Особенности выполнения паяных соединений трубчатыми припоями. При работе с многоканальными трубчатыми припоями пайка осуществляется двумя руками. Для того чтобы при пайке получить наилучшие результаты, рекомендуется использовать следующий процесс (рис. 6):

1. Поднесите жало паяльника к рабочей поверхности. Оно должно контактировать одновременно с контактной площадкой платы и выводом компонента, для того чтобы прогреть обе паяемые поверхности. Избыток припоя на жале, нанесенного во время лужения, будет

помогать процессу теплопередачи путем увеличения площади контакта между контактной площадкой и выводом. Необходимо не более секунды, чтобы прогреть соответствующим образом обе поверхности.

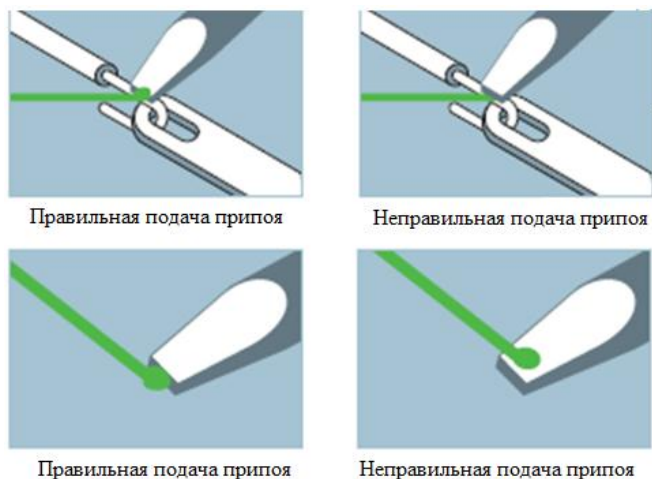


Рис. 6. Рекомендуемая последовательность работы с трубчатыми припоями

2. Поднесенный в это время к месту соединения, с противоположной от жала паяльника стороны, пруток трубчатого припоя позволит образовать галтель припоя. Для этого необходимо около 0,5 с. Если припой подавать непосредственно на жало паяльника, активные компоненты флюса будут преждевременно выгорать, и его эффективность резко уменьшается. Избыточное количество припоя на паяное соединение может привести к увеличению количества остатков флюса и ухудшению внешнего вида изделия. Рекомендуется выбирать диаметр прутка припоя равным половине диаметра жала паяльника.

Весь процесс пайки должен занимать от 0,5 до 2,0 с на одно паяное соединение в зависимости от массы, температуры и конфигурации жала паяльника, а также паяемости поверхностей.

Подготовка поверхности включает удаление загрязнений органического и минерального происхождения, оксидных пленок, а иногда и нанесение покрытий, улучшающих условия пайки, повышающих прочность и коррозионную стойкость паяных соединений.

Изделия обезжиривают в растворах щелочей или в органических растворителях (ацетоне, бензине, спирте, СС14, фреоне и смесях) пу-



тем протирки, погружения, распыления, обработки в паровой фазе или УЗ-ванне. Очищенные детали необходимо немедленно направлять на сборку и пайку, так как срок сохранения паяемости для Cu 3 ...5 суток, для Ag 10...15 суток.

Выводы компонентов, элементы присоединений и контакты для обеспечения производительной и качественной пайки предварительно покрывают тонким слоем припоя – облуживают горячим способом (например, погружением в горячий припой или с помощью паяльника). При использовании паяльника залуживание проводников удобнее выполнять так: зачищенным проводником коснуться канифоли и хорошо прогреть его паяльником (рис. 7). Канифоль, расплавляясь, покрывает поверхность проводника, и припой, имеющийся на паяльнике, растекается по нему. Поворачивая проводник и медленно передвигая по нему жало паяльника, легко добиться равномерного покрытия поверхности проводника тонким слоем припоя. Если при пайке использовать жидкий канифольный флюс, необходимо смачивать залуживаемую деталь этим флюсом с помощью палочки или кисточки, а затем прогреть деталь паяльником до тех пор, пока припой не растечется по его поверхности.

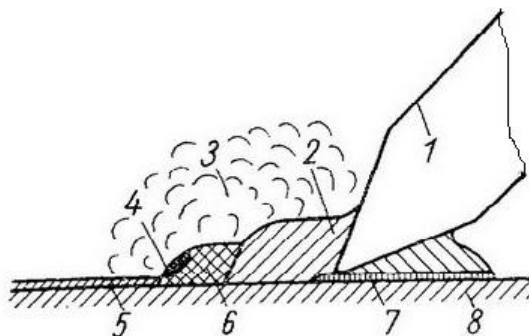


Рис. 7. Процесс горячего лужения с помощью паяльника:

- 1 – жало паяльника; 2 – жидкий припой; 3 – газообразный флюс;
- 4 – растворенный оксид; 5 – поверхностный слой оксида; 6 – флюс;
- 7 – зона сплавления припоя с основным металлом; 8 – вывод (основной металл)

Припой на облуженных участках проводов не должен скрывать жилу(ы) провода. Затекание припоя под изоляцию провода должно быть минимальным. При необходимости во время операции лужения на выводы теплочувствительных компонентов должны накладываться теплоотводы (подробнее см. п. 6.2 ГОСТ Р МЭК 61191-1–2010).

Для увеличения срока сохранности деталей, подготовленных к пайке, наносят специальные консервационные покрытия, состав которых согласуется с составом применяемого флюса. Такие покрытия разделяются на два вида:

- на основе канифоли (флюсы ФКСп, ФПЭт, ФКЭт),
- консервационные пленки щелочных металлов.

Покрытия наносят на влажные детали кистью, погружением или распылением. Образовавшаяся после испарения растворителя пленка защищает детали от влаги и окисления в течение 5...6 месяцев хранения.

Требования к оборудованию и инструментам пайки

Ножи, наждачное полотно, абразивная бумага, устройства пескоструйной обработки, оплетка, стальная вата и другие абразивные материалы не должны применяться на поверхностях, предназначенных для пайки.

Критерии выбора настольных и ручных устройств пайки (ГОСТ Р МЭК 61191-1-2010):

а) их способность быстро нагревать площадь соединения и поддерживать достаточный температурный диапазон пайки на соединении во время операции пайки;

б) температура устройства пайки в состоянии покоя должна регулироваться в пределах $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ от температуры паяльного наконечника в режиме простоя; допустимо также использовать инструменты с постоянным выходом (постоянной мощностью) в соответствии с пп. а, г, д и е;

в) расчетная температура или температура, установленная оператором для устройства пайки в состоянии покоя/простоя, должна быть в пределах $\pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ от реально измеренной температуры наконечника;

г) сопротивление между наконечниками устройств пайки и общей точкой заземления рабочей станции не должно превышать 5 МОм; измерение температуры нагретого элемента и наконечников должно выполняться при их номинальных рабочих температурах; оборудование пайки с ограничением тока, должно иметь сопротивление между наконечником и точкой заземления от 1 до 5 МОм включительно;

д) отклонения напряжения между наконечником и землей от действующего значения не должны превышать 2 мВ;

е) неустановившееся напряжение на наконечнике, созданное оборудованием пайки, не должно превышать 2 В;



ж) тип держателя инструмента пайки должен соответствовать ручке данного инструмента пайки или всему инструменту; к держателю не должны прикладываться чрезмерные физические усилия или тепловая нагрузка от нагревательных элементов; держатель должен защищать персонал от ожогов;

з) губки для очистки жала паяльников и поверхностей инструмента для пайки оплавлением должны быть изготовлены из материалов, не ухудшающих паяемость и не загрязняющих поверхность инструмента;

и) паяльные пистолеты со встроенным в ручку трансформатором применяться не должны;

к) в тиглях с припоем должна поддерживаться температура припоя с отклонением ± 5 °С от выбранной температуры; тигли с припоем должны быть заземлены; сопротивление между расплавленным припоем и общей точкой заземления рабочей станции не должно превышать 5 МОм.

Соответствующие требования должны также применяться к нестандартному настольному оборудованию, в котором используются методы пайки кондуктивным и конвекционным нагревом, пайки расщепленным электродом, укороченным стержнем, горячим газом, устройствами инфракрасного и лазерного излучения или теплопереносом.

Должно осуществляться постоянное техническое обслуживание используемых инструментов, чтобы при их работе не произошло повреждений. В процессе применения инструменты должны быть чистыми, без грязи, масел, флюса, жира и других посторонних веществ. Источник нагрева не должен приводить к повреждению печатной платы и компонентов.

При электромонтаже и пайке деталей в качестве основного инструмента применяют электрические паяльники (рис. 8) с напряжением питания не более 36 В. Корпус электропаяльника и наконечник должны быть заземлены.

Во время работы электропаяльник должен находиться на рабочем месте с правой стороны от электромонтажника. Токопроводящий шнур электропаяльника должен быть гибким, так как от его эластичности зависят удобство работы с электропаяльником и скорость выполнения операций пайки.

Рабочий конец паяльника должен быть всегда горячим и хорошо залужен, т.е. покрыт тонким слоем припоя. Залуживают паяльник так:

его разогревают, зачищают жало напильником или наждачной бумагой, опускают в канифоль и прикасаются им к кусочку припоя.

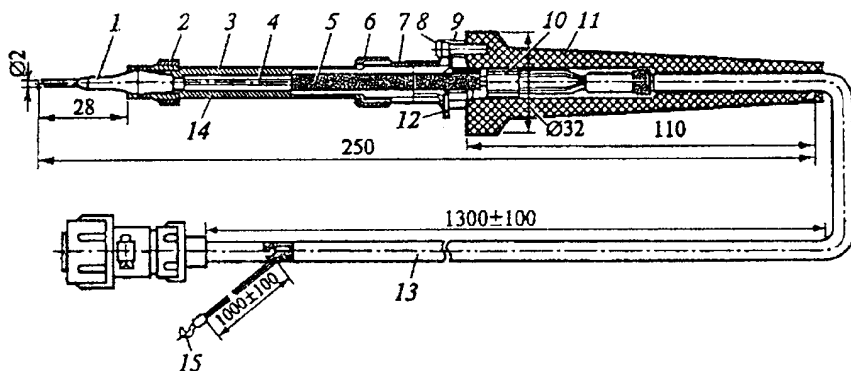


Рис. 8. Конструкция электропаяльника с заземлением: 1 – наконечник; 2, 6 – гайки; 3 – трубка; 4 – термopара; 5 – керамическая трубка; 7 – основание; 8 – винт; 9 – втулка; 10 – термостойкие изоляционные трубки; 11 – ручка; 12 – держатель (пластина); 13 – жгут из проводов питания, термopары и заземления; 14 – нагревательный элемент; 15 – провод для заземления.

После этого жало быстро трут о дерево, чтобы вся его рабочая поверхность покрылась тонким слоем припоя. Паяльник можно считать хорошо залуженным тогда, когда жало равномерно покрыто слоем припоя и с его кончика при нагреве свисает капелька припоя.

Паяльные наконечники различают по геометрическим параметрам (длине, диаметру, форме загиба наконечника, форме заточки его рабочего конца). Для изготовления наконечников обычно применяют медь марки М1 (реже М2, М3), никель, вольфрам.

В процессе пайки, вследствие химического взаимодействия с расплавленным припоем и флюсом, термоударов, окисления, рабочая часть наконечника из меди довольно быстро изнашивается. Долговечность составляет 700...1000 паяк, после чего наконечник перезатачивают. Нанесение на жало химического никеля увеличивает срок службы до 1500 паяк, а гальванического толщиной ~ 100 мкм – до 2000 паяк. В качестве перспективных материалов для паяльных жал рекомендуются медные сплавы, например, МХН1-4.

Геометрия рабочей части наконечника электропаяльника должна обеспечивать захват необходимой дозы жидкого припоя для качественной пайки. Основные типы паяльных наконечников и форма заточки рабочей части приведены на рис. 9, 10.



Рабочий конец любого паяльника со временем «выгорает», на нем образуются углубления – раковины. Придать ему правильную форму можно напильником, зажав жало в тиски.

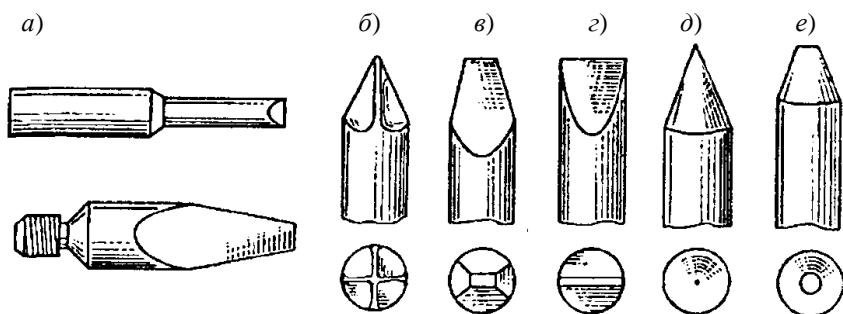


Рис. 9. Типы паяльных наконечников (а) и формы заточки их рабочей части: б – пирамидка; в – четырехгранный клин; г – клин; д – конус; е – срезанный конус

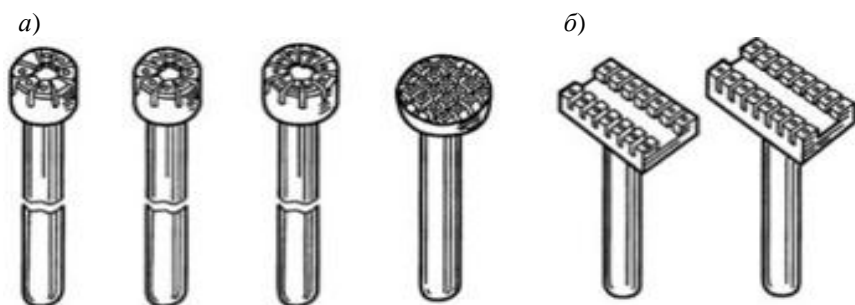


Рис. 10. Насадки к электропаяльникам для выпайки микросхем в круглых (а) и прямоугольных корпусах (б)

Основные критерии при выборе электропаяльника:

- максимальная рабочая температура;
- теплоемкость наконечника и время его повторного разогрева;
- масса и теплоемкость паяемых (соединяемых пайкой) деталей.

Интенсивность теплового потока и необходимую температуру пайки обеспечивают: мощность и термический КПД паяльника; степень стабильности температуры рабочего жала паяльника, обусловленная динамикой теплового баланса, теплопоглощением, теплоотводом, теплозапасом в паяльном жале.

Самые простые образцы не имеют четкого температурного режима, и при недостаточном нагреве места пайки, когда припой не расплавляется до состояния текучести и не может заполнить все предназначенные ему зазоры, наблюдается довольно частый эффект, называемый «холодная пайка». Место спая оказывается матовым, шероховатым и соединение – непрочным.

Перегрев жала ускоряет износ паяльника, припой при этом перегревается, жало покрывается окалиной, флюс выгорает, сцепление припоя с жалом ухудшается. Часто жало паяльника перегревается из-за чрезмерного выпаривания припоя, в результате перегреваются элементы и микросхемы, отслаиваются дорожки печатных плат. Произвести качественную работу паяльником с низкой или слишком высокой температурой, естественно, невозможно.

Теплоемкость наконечника – показатель количества теплоты, запасенной в нем для выполнения пайки. Это количество теплоты должно быть передано от наконечника паяльника к месту соединения деталей за определенное время, которое обычно не превышает 3...5 с.

Рабочая температура и теплоемкость тесно связаны с мощностью и конструкцией паяльника. Максимальную рабочую температуру выбирают с учетом установившегося теплового режима, когда количество теплоты, выделяемой нагревательной обмоткой, равно количеству теплоты, теряемой в окружающую среду. Рекомендуемая максимальная температура наконечника должна быть на 50...70 °С выше температуры плавления припоя. В процессе пайки температура жала снижается за счет теплоотдачи.

Паяльник обычно выбирают по требуемым значениям мощности, напряжения питания, диаметра жала, температуры, роду работы. При монтаже применяют преимущественно низковольтные паяльники. Монтажные электропаяльники стандартизованы по электрическим и конструктивным параметрам и выпускаются промышленностью в различных исполнениях.

1. По мощности P : малой (4;6;12;18;25 Вт), средней (30;35;40;50; 60;75;90;100 Вт) и большой (более 100 Вт).

2. По напряжению питания U : сетевые (127;220 В) и низковольтные (6;12;24;36;42 В).

3. По назначению: общего применения и специальные (ультразвуковые, для демонтажа и др.).



4. По внешнему конструктивному выполнению: торцовые, пистолетного типа (рис. 11).

5. По температуре нагревающего элемента (жала): нерегулируемые и регулируемые.



Рис. 11. Конструкции паяльников

Мощность и диаметр стержня жала паяльника зависят от массы паяемых элементов, интенсивности рабочего процесса пайки и других ее параметров. Мощность паяльников с учетом КПД (25...55%) выбирают в соответствии со средним теплопоглощением ИС (1,5...3 кал), ПП (9...10 кал), жгутов (15 кал). Данные для выбора диаметра медного наконечника в зависимости от мощности электропаяльника приведены в табл. 5.

Т а б л и ц а 5

Размер диаметра медного наконечника в зависимости от мощности электропаяльника

Площадь поперечного сечения наконечника, мм ²	Диаметр наконечника, мм	Мощность электропаяльника, Вт
5...20	3...4	7,0... 12,5
20... 50	4...6	12,0...28,0
60...90	8... 10	50,0... 78,0
150...250	12...14	110... 196
Более 250	Более 20	314 и более

Примерные значения мощности паяльников: проводной монтаж 50...100 Вт; печатный монтаж 30...60 Вт; микросхем 4...25 Вт ($U = 6...12$ В).

При пайке печатных узлов с полупроводниковыми элементами используют электропаяльники с автоматической регулировкой температуры. В этом случае датчиком температуры служит термопара, спай которой находится в паяльном жале на расстоянии 30...40 мм от рабочего конца паяльника. Показания термопары по номограммам пересчитывают с учетом рабочей температуры. Точность регулировки нагрева должна составлять $\pm 2^\circ\text{C}$ на спае термопары, причем на рабочем торце наконечника температура может понижаться до 20...30 $^\circ\text{C}$ за счет инерционности теплового поля.

Стабилизация температуры при пайке обеспечивается с помощью следующих средств:

- массивного паяльного жала и близкого расположения нагревателя;
- импульсного нагрева, который эффективно восполняет потери тепла в процессе пайки;
- электронных регуляторов, работающих от специальных датчиков (термопар);
- материалов, изменяющих свое электрическое сопротивление или магнитные свойства, в качестве нагревателей.

При технологической необходимости строго выдерживать температуру пайки используют специальные паяльные станции с регулируемой и стабилизированной температурой жала паяльника или воздушной струи и набором специальных насадок. Технические характеристики современных паяльных станций обеспечивают поддержание температуры жала на заданном уровне с точностью $\pm 2\%$ (рис. 12).



Рис. 12. Паяльные станции с регулируемой и стабилизированной температурой жала паяльника



Новые индукционные паяльные станции «Магистр» отличаются высокой скоростью нагрева, стабильностью и точностью поддержания температуры, возможностью быстрой смены паяльной насадки (рис. 13).

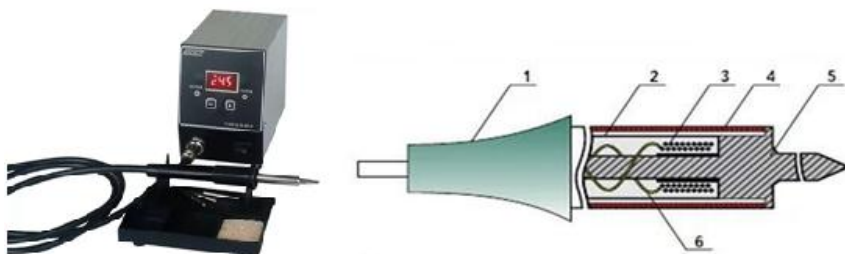


Рис. 13. Конструкция индукционного паяльника: 1 – ручка; 2 – ферромагнитное покрытие; 3 – индуктор; 4 – экранирующий элемент; 5 – наконечник; 6 – провод

Основные характеристики паяльной станции с индукционным нагревом:

- напряжение питания – 220В (36 В) 50 Гц;
- вторичное напряжение – 36 В;
- мощность паяльника – 90 Вт;
- диапазон температур – 100...450 °С;
- погрешность поддержания температуры – ± 2 °С;
- регулировка – цифровой ПИД-регулятор;
- принцип нагрева – индукционный;
- сменные износостойкие насадки – МИ (диаметр 0,8; 1,5; 2,5;

3,5 мм).

«Классические» паяльные станции используют контактный нагрев жала. Переменный низкочастотный ток проходит в них через нагревательный элемент, имеющий высокое активное сопротивление, к которому вплотную примыкает жало паяльника. Метод нагрева имеет свои недостатки, такие как вероятность наличия зазора в зоне контакта, большая потребляемая мощность прибора и локальный перегрев контактной зоны жала. Последнее существенно снижает время службы наконечника паяльника.

Практически все эти недостатки устраняются с появлением индукционных паяльных станций, в которых реализован метод высокочастотного нагрева рабочего жала паяльника. В настоящее время потребность в высокочастотной индукционной технологии определяется тем, что многие технологические операции монтажа в области радио-

электроники невозможно выполнить другим способом, кроме как нарушить конструкцию изделия. Применение индукторов с малыми габаритами и возможностью придания любой геометрии позволяет нагревать соединения практически любых форм. ВЧ-нагрев для пайки в производстве электронных модулей имеет хорошие перспективы ввиду возможности гибкой автоматизации. В основе индукционного метода лежит нагрев наконечника индукционного паяльника с ферромагнитным покрытием переменным магнитным полем. Ферромагнитное покрытие наносят на основание, имеющее большую теплопроводность (например, медь). Ферромагнетиками являются железо, кобальт, никель и редкоземельные металлы: гадолиний, тербий, диспрозий и прочие, а также сплавы NiB, Fe 3 Al, Ni 3 Mn, FePd 3 и др. Когда ферромагнитный материал помещается в переменное магнитное поле, создаваемое индукционной обмоткой (рис. 14,*а*), это вызывает перемагничивание материала и его нагрев вихревыми токами в скин-слое (рис. 14,*б*). При достижении температуры Кюри (рис. 14,*в*) разогрев жала ВЧ-токами резко падает вследствие теплового разрушения доменной структуры материала, поэтому точка Кюри является максимальной возможной температурой жала индукционного паяльника. Для чистого ферромагнетика значение температуры Кюри чаще всего находится за пределами рабочих температур пайки, что не позволяет использовать этот эффект. Если же в сплав добавить некоторые редкоземельные элементы, то можно существенно понизить температуру Кюри, например, для элемента гадолиния она равна всего 16 °С. Задавая величину легирующих элементов в сплаве жала, можно установить практически любую требуемую температуру Кюри.

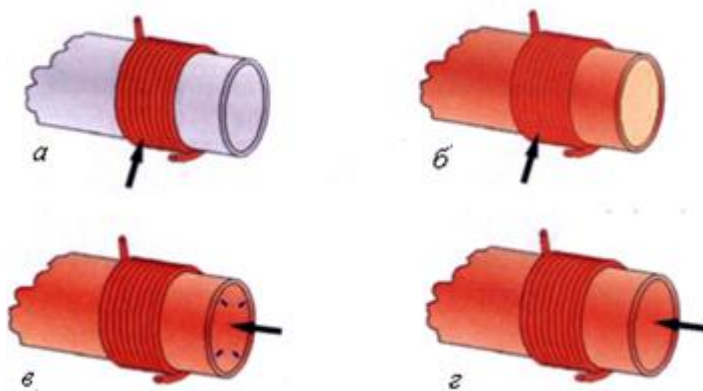


Рис. 14. Принцип работы индукционного паяльника: *a* – по медной катушке проходит ВЧ-ток; *b* – ферромагнитный слой быстро разогревается; *в* – ферромагнитный слой достигает точки Кюри и передает тепло в сердечник; *г* – процесс бесконечно повторяется, регулируя температуру наконечника

В таких сплавах с увеличением температуры магнитная восприимчивость материала уменьшается, и в точке Кюри ферромагнетик теряет свои магнитные свойства, нагрев прекращается, и температура стабилизируется. Термосенсоры и схемы обратной связи здесь не нужны, и выбор температуры для пайки сводится просто к выбору жала с требуемой температурой Кюри в зависимости от условий пайки. В момент касания теплоотводящего элемента температура наконечника падает, магнитные свойства материала мгновенно восстанавливаются, и наконечник вновь начинает взаимодействовать с магнитным полем, стремясь удержать температуру в заданной точке Кюри. Чем более теплоемкий контакт приходится паять, тем больше отклонится температура и тем больше энергии будет поглощено из поля. Таким образом, система регулирует требуемую мощность для нагрева каждого контакта в зависимости от его теплоемкости.

Основные достоинства индукционных паяльников:

1) возможность настройки заданной температуры наконечника (за счет подбора материала с нужной температурой Кюри);

2) небольшое потребление мощности (происходит нагрев не всего объема наконечника, а только поверхностного скин-слоя);

3) равномерный нагрев наконечника, отсутствие температурной инерции (из-за отсутствия нагревательного электрода поверхностный слой наконечника сам является нагревателем);

4) простота замены наконечника при нарушении его целостности (за счет отсутствия высоких требований к контакту с индуктивной обмоткой).

По мере надобности рабочее место монтажника оснащают различными приспособлениями для проведения монтажно-сборочных работ (для нарезки и разделки проводов, горячего лужения проводников, формовки выводов ЭРЭ и т.п.).

Ввиду токсичности свинца и высокой температуры пайки, при монтажных работах необходимо соблюдать правила техники безопасности.

ПАЙКА ПРОВОДОВ И ВЫВОДОВ КОМПОНЕНТОВ К КОНТАКТАМ

При проводном монтаже в качестве соединительных проводников используют кабельные изделия – кабели, провода и шнуры (особо гибкие провода).

По месту размещения соединительных проводников различают два вида монтажа: внутрприборный и межблочный.

Внутрприборный монтаж выполняется одиночными проводами, жгутами (группой скрепленных проводов) и смешанным способом.

Межблочный монтаж значительно разнесенных устройств осуществляют с помощью кабелей.

Проводом называется одна или несколько свитых между собой металлических проволок-жил, снаружи заключенных обычно в общую изолирующую оболочку. Применяются также неизолированные провода, содержащие только токопроводящую часть.

По основному назначению провода делятся на монтажные и обмоточные; общего применения и специальные.

По конструкции токопроводящей части различают провода одножильные (жесткие) и многожильные (гибкие) (рис. 15). В первом случае токопроводящая часть выполнена в виде одной проволоки (жила) разного диаметра, во втором – в виде большого числа тонких проволок-чек, свитых между собой для повышения гибкости.



Рис. 15. Разновидности монтажных проводов

Материал токопроводящей части проводов общего применения – электротехническая медь, имеющая высокую электропроводность ($\rho = 0,0175 \cdot 10^{-6}$ Ом·м), достаточные механическую прочность ($\sigma_{\text{в}} = 250 \dots 380$ МПа) и пластичность. Для защиты от коррозии и облегчения пайки у большинства марок монтажных проводов жилы имеют луженую поверхность.



Для изоляции используются эмалевые покрытия, волокнистые материалы, пластмассы, резина. Широко применяется комбинированная изоляция из названных материалов. Для монтажных проводов характерна относительно большая толщина изоляции, что обеспечивает ей высокую механическую и электрическую прочность.

Сечения монтажных проводов стандартизованы, ряды значений S зависят от марки провода и располагаются в общем интервале от 0,05 до 4 мм² и более, в интервале малых сечений принят следующий ряд значений S : 0,05; 0,07; 0,10(0,12); 0,15; 0,2; 0,35; 0,6; 0,75; 1,0 мм².

Рабочая температура нагрева изоляции для большинства марок проводов общего применения незначительная и составляет 70...110°C (лишь для отдельных марок проводов 150...250°C). Поэтому защита изоляции от термического разрушения (оплавления, обгорания) при лужении или пайке жил является необходимым условием при подготовке проводов к монтажу и пайке монтажных соединений.

Промышленность выпускает большое количество марок монтажных проводов. Применение той или иной марки монтажного провода определяется электрическими параметрами работы схемы, конструкцией и условиями эксплуатации изделия ЭА. Поэтому произвольная замена марок проводов при монтаже не допускается.

Сечение токопроводящей части монтажных проводов выбирают из условия допустимой плотности тока 8...10 А/мм².

Для аппаратуры, работающей в нормальных условиях, применяются провода с изоляцией из полихлорвинила и в комбинации с волокнистой органической изоляцией, комбинированной эмалевой и волокнистой изоляцией и др, при повышенных влажности и температуре – из фторопласта, стекловолокна, их комбинации с пропитанной лаком волокнистой изоляцией, резины.

Для защиты от электрических наводок служат монтажные провода в экранирующей оплетке (сплетенной из медных, обычно луженых проволочек), которая одновременно является защитной оболочкой от механических повреждений.

В основу маркировки монтажных проводов положены их конструктивные признаки (назначение, исполнение токопроводящей части, материал изоляции).

Марка монтажного провода состоит из ряда букв и цифр, обозначающих сечение токопроводящей части (S , мм²).

Примеры некоторых распространенных марок монтажных проводов и их расшифровки (сечения не указаны, в скобках приведены значения букв маркировки):

ММ – медный (М) мягкий (М) неизолированный;

ММЛ – то же, луженый (Л);

ПМВ – провод однопроволочный (П) монтажный (М) в полихлорвиниловой (В) изоляции;

МП – монтажный (М) однопроволочный в полиэтиленовой (П) изоляции;

МГВ – монтажный (М) гибкий (Г) в полихлорвиниловой (В) оболочке;

ПМОВ – однопроволочный (П) монтажный (М) с обмоткой из хлопчатобумажной пряжи в один слой (О) и в полихлорвиниловой изоляции (В);

ПМГВ – провод (П) монтажный (М) гибкий (Г) с хлопчатобумажной обмоткой и в полихлорвиниловой изоляции (В);

МГШД – монтажный (М) гибкий (Г) в шелковой (Ш) двуслойной (Д) обмотке;

МЭШДЛ – монтажный (М) однопроволочный эмалированный (Э) в шелковой (Ш) двуслойной (Д) обмотке, лакированный (Л);

МГВСЛ – монтажный (М) гибкий (Г) в полихлорвиниловой (В) изоляции и оплетке из стекловолокна (С), лакированный (Л).

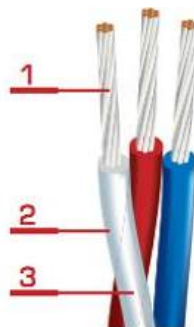
Для удобства монтажных работ изоляционные покрытия проводов имеют различную окраску. При записи в документации указывают марку провода, сечение и соответствующий стандарт:

провод МЭШДЛ 0,15 мм² ГОСТ 10349–75;

МГТФ – монтажный (М) гибкий (Г) теплостойкий (Т) в фторопластовой (Ф) изоляции (рис. 16).







Рис. 16. Конструкция провода МГТФ:
 1 – токопроводящая жила из медных
 проволок (для провода МГФ), из медных
 луженых оловом проволок (для МГЛФ);
 2 – изоляция из фторопласта-4 МБ;
 3 – изолированные жилы многожильных
 проводов скручены и имеют различный
 цвет





Для большинства изолированных проводов общего применения рабочее напряжение зависит от марки провода и находится в пределах от 60 до 700 В. Области применения некоторых марок проводов приведены в табл. 6.

Т а б л и ц а 6

Области применения монтажных проводов

Марка провода	Характеристика	Эскиз	Рабочие температуры, °С	Область применения
МШП	Однопроволочный, изолированный обмоткой из шелка и полиэтиленом		-60 ... +70	Фиксированный монтаж внутри и между приборов
МГШПЭ	Многопроволочный, изолированный обмоткой из шелка, полиэтиленом и экранированный			
МГП	Многопроволочный, изолированный полиэтиленом		-60 ... +120	Аналогично МШП
МГШ	Многопроволочный, изолированный оплеткой из искусственного шелка		-60 ... +105	Фиксированный монтаж схем слабо-

МГЦСЛ	Многопроволочный, изолированный целлюлозной пленкой, обмоткой из стекловолокна, лакированный			точной радиоаппаратуры
МГТЛ	Многопроволочный, изолированный обмоткой и оплеткой из лавсанового волокна, лакированный		-60 ... +150	Фиксированный монтаж и нефиксированный монтаж электродустройств

При монтаже ЭА применяют не только обычные монтажные, но и одножильные медные обмоточные провода. Обмоточные провода имеют минимальное число (1...2) изоляционных слоев малой толщины, что обусловлено конструктивными требованиями (рис. 17). Основная изоляция – эмалевые покрытия, а дополнительная – обмотка из волокнистых материалов.

Марка обмоточного провода состоит из ряда букв и цифр, написанных через дефис, указывающих диаметр $d_{\text{п}}$ жилы по металлу в миллиметрах. Диаметры проводов стандартизированы, интервал значений 0,02...2,44 мм (для малых диаметров 0,01 мм).

Распространенные марки обмоточных проводов: эмалированные – ПЭЛ, ПЭВ, ПЭВТ и другие. (П – провод одножильный; Э – эмалированный; Л – эмаль на масляной основе; В – в винифлексовой изоляции; Т – термостойкий). Примеры записи проводов в документации: Провод ПЭЛ-0,15.

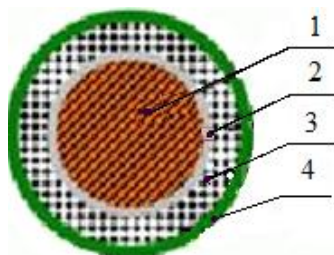


Рис. 17. Структура обмоточных проводов: 1 – жила провода (материал – медь, медные сплавы); 2 – эмаль; 3 – изоляция из термостойкого волокна; 4 – защитное покрытие (кремнийорганический лак)

Используемые при монтажной пайке легкоплавкие припои ПОС имеют относительно низкую механическую прочность ($\sigma_{\text{в}} = 30...50$ МПа). Поэтому для обеспечения высокой механической



прочности монтажных соединений жилы провода механически скрепляют с основным проводником или контактом. Монтажные соединения жил проводов применяются при монтаже проводов и выводов радиоэлементов к контактными площадкам печатных плат, выполнении отводов от обмоток катушек индуктивности, присоединении проводов и выводов ЭРЭ к контактам и т.п. Существуют различные типы монтажных соединений проводов. Выбор зависит от назначения и эксплуатационных требований к изделию ЭА.

Типовой технологический процесс получения паяного монтажного соединения проводов состоит из следующих последовательных этапов:

- 1) правки проводов;
- 2) зачистки концов проводов на определенной длине от покрытий (изоляции) или оксидов;
- 3) залуживания зачищенных концов;
- 4) зачистки и залуживания бандажного провода (при необходимости);
- 5) механического скрепления залуженных участков проводов принятым способом;
- б) пайки соединения;
- 7) промывки от остатков флюса и контроля качества монтажного соединения.

Общие требования при выполнении соединений проводов:

- тщательная очистка и облуживание концов проводов;
- надежное механическое скрепление жил перед пайкой;
- пайка соединений – профильная, т.е. количество припоя в соединении должно быть оптимальным (на поверхности припоя должны просматриваться контуры проводников).

Технология монтажа одиночными проводами

Основные этапы монтажа одиночными проводами: заготовка проводов, подготовка монтажных контактов на платах и т.п., выполнение монтажа и контроль его качества.

Заготовка проводов включает: подготовку (нарезку) проводов; разделку проводов, предусматривающую в общем случае разделку экрана, изоляции и токопроводящей части; облуживание токопроводящей части.

Подготовка монтажных контактов включает контроль годности монтажных элементов, подготовку контактов к монтажу (зачистку и облуживание).

При монтаже выполняют раскладку проводов и механическое закрепление жил на контактах, пайку монтажных соединений, удаление остатков флюса, контроль качества монтажа.

При подготовке монтажного провода его сматывают с бобины, выравнивают и нарезают отрезки заданной длины. При небольшой программе выпуска изделий используют кусачки или ножницы и масштабную линейку. В серийном и массовом производстве применяют специальные приспособления и высокопроизводительные станки (полуавтоматы и автоматы), выполняющие нарезку проводов с высокой точностью ($\pm 0,5$ мм), а в отдельных случаях и простейшую разделку.

Разделка провода, экрана, изоляции и токопроводящей части – это придание им конструктивного исполнения, установленного требованиями электрического монтажа. Содержание, параметры и способы разделки провода (экрана, изоляции и жилы) зависят от его марки, программы производства, конструктивных особенностей монтажа.

Практика показала, что для получения большинства видов соединений при разделке проводов должен быть получен оголенный конец жилы длиной 7...10 мм.

Изоляция провода (материалы, конструктивное оформление) в значительной мере определяет способ ее разделки. Используют два способа разделки изоляции монтажных проводов: механический и термомеханический.

С провода или выводов должно сниматься изоляционное покрытие достаточной длины. Химические зачищающие средства должны применяться только для одножильных проводов и должны нейтрализоваться или удаляться до проведения пайки. При снятии изоляции следует проявлять осторожность во избежание нанесения надрезов, сужений или иных повреждений провода или остающейся изоляции. Для сборок класса А или В число надрезанных или нарушенных (разорванных) жил в одном проводе не должно превышать пределов, заданных в табл. 7 (ГОСТ Р МЭК 61191-4-2010. Печатные узлы. Часть 4. Монтаж контактов). Для проводов, используемых при напряжении 6 кВ и выше, или для сборок класса С не допускается применение поврежденных жил. Возможно обесцвечивание изоляции при тепловой зачистке.

Т а б л и ц а 7

Предельное число надрезанных и нарушенных жил



Число жил	Максимально допустимое число надрезанных или нарушенных жил для классов	
	А и В	С
Менее 7	0	0
От 7 до 15 включ.	1	0
От 16 до 18 включ.	2	0
От 19 до 25 включ.	3	0
От 26 до 36 включ.	4	0
От 37 до 40 включ.	5	0
Более 40	6	0

Механическим способом удаляют с проводов изоляцию из пластмасс (полихлорвинил, полиэтилен, фторопласт и т.п.), резины, волокнистых и пленочных материалов. При этом способе изоляция прорезается на определенном расстоянии от конца по окружности провода на нужную глубину и удаляется.

При ручной разделке для этой цели служат производительные специальные инструменты и приспособления, содержащие ножевые элементы с особым профилем режущей части, обеспечивающим прорезание только изоляционного покрытия без повреждения проволоки.

При серийном производстве используют специальные станки (полуавтоматы и автоматы), где изоляция снимается особыми вращающимися ножами, зачастую эта операция совмещается с нарезкой проводов

Применять для прорезания изоляции на проводе монтажные ножи не допускается, так как при этом не гарантируется отсутствие надразов токопроводящей жилы. Механическим способом удалять эмалевую изоляцию рекомендуется с относительно толстых проводов специальными приспособлениями с ножевым устройством, которое при работе не создает поперечных надразов жилы провода. Вручную допускается удалять эмалевые покрытия с помощью мелкозернистой шлифовальной бумаги: №8 для диаметров 0,3...0,7 мм; №12 – 0,7...1,0. При массовом производстве находит применение способ крацевания – удаления покрытия вращающимися цилиндрическими металлическими щетками.

Термомеханический способ служит для снятия изоляции из пластмасс, органических волокнистых материалов. При этом способе изоляция по окружности провода сначала перерезается (прожигается) нагретой током проволоочной петлей, а затем сдергивается с жилы. При электрообжиге не нарушается целостность жилы, поэтому это основной способ при разделке изоляции большинства марок проводов.

При ручной обработке простым и эффективным инструментом для этой цели являются электроножи (электрообжигалки) различных конструкций. Способ не годится для удаления неорганической волокнистой изоляции (стекловолокно).

Если на проводе имеется наружная волокнистая изоляция, расположенная поверх основной сплошной изоляции (пластмассы), то необходима ступенчатая разделка изоляции с механическим закреплением внешнего волокнистого слоя (рис. 18, а, в). Для этого сначала с помощью электроножа с конца провода удаляют всю изоляцию, оголив жилу 1 длиной 7...10 мм.

Затем электроножом обрезают по окружности и удаляют только наружную волокнистую изоляцию 3 на расстояния 3...10 мм от торца основной изоляции 2. Закрепляют наружную волокнистую изоляцию одним из следующих способов:

- с помощью слоя клея 4 (ХВК-2а или другого), наносимого на конец волокнистой и основную изоляцию (рис. 18, а);
- с помощью изоляционной трубочки 5, подбираемой плотно по диаметру провода и надеваемой на него до разделки, а затем устанавливаемой на конец изоляции на клею (рис. 18, б);
- бандажированием конца волокнистой изоляции нитками 6 с последующим покрытием бандажа клеем (рис. 18, в).



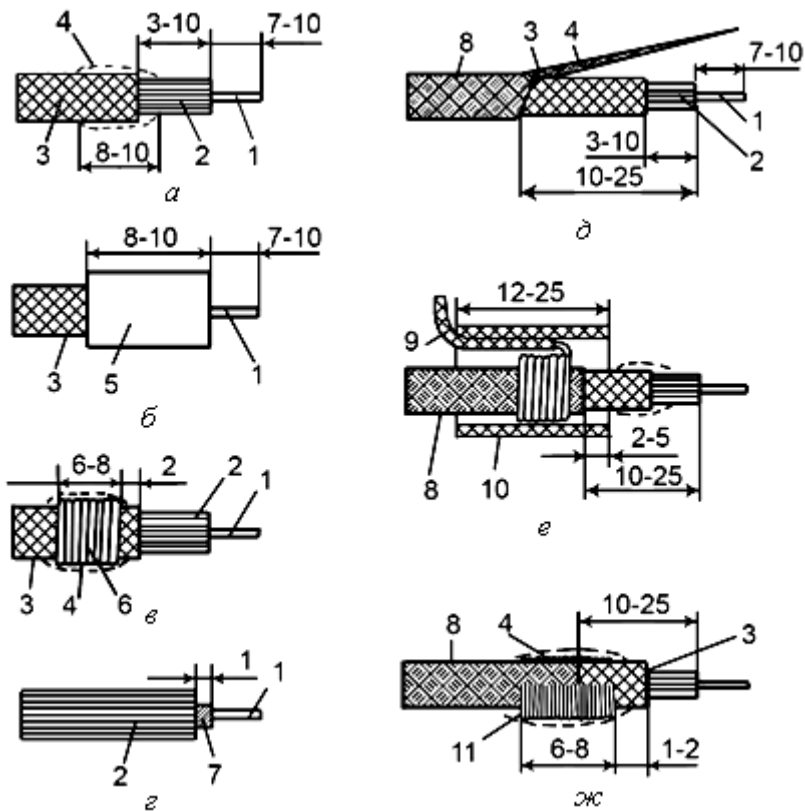


Рис. 18. Способы закрепления наружной волокнистой изоляции проводов при разделке

Если провод имеет внутреннюю изоляцию из стекловолокна 7 (рис. 18, з), а наружную из пластмассы, то внешнюю изоляцию удаляют электрообжигом, а внутреннюю из стекловолокна расплетают, скручивают и откусывают на расстоянии 1 мм от торца внешней изоляции, обеспечивая сохранность проволочек жилы.

Провода с фторопластовой изоляцией прожигают только под вытяжной вентиляцией.

При разделке проводов длина местного потемнения и оплавления изоляции, вызванного электрообжигом, не должна превышать 1 мм.

После обработки изоляции проводится разделка жилы, которая включает следующие этапы:

- тщательную зачистку окислившихся проводников от оксидов (при необходимости);
- скрутку многопроволочной жилы (угол скрутки $15...30^\circ$); при сечении менее $0,14 \text{ мм}^2$ – пальцами, а при большем сечении – плоскогубцами или с помощью приспособления.

Обслуживают после флюсования примерно $0,8$ длины жилы с помощью паяльника или погружением в ванночку с расплавленным припоем, предохраняя изоляцию от оплавления (обгорания). Попадание флюса под изоляцию проводов не допускается.

Разделка экранированных проводов включает последовательную разделку экрана, изоляции и жилы. Вид разделки экранной оплетки зависит от того, заземляется или нет данный конец экрана. Во всех случаях разделки экранированных проводов общего назначения торец экрана после разделки должен находиться от торца основной изоляции у жилы на расстоянии $10...25 \text{ мм}$. Для сохранности основной изоляции и работоспособности провода под экраном в месте выхода провода должен, как правило, располагаться слой волокнистой или другой обычно термостойкой изоляции.

При необходимости заземления конца экрана его разделку выполняют несколькими способами. Распространенные варианты разделки показаны на рис. 18, *д, е* (для проводов марок МГШВЛЭ, БПВЛЭ и т.п.).

Наиболее просто осуществляется разделка, если заземление выполняется концом самой плетенки (рис. 18, *д*). Способ удобен при свободном размещении провода в экране. При разделке провод вытаскивают через боковое отверстие в экране, полученное разведением прядей плетенки на необходимом (примерно $20...40 \text{ мм}$) расстоянии от его конца, образовавшийся конец свободной плетенки вытягивают, а изоляцию провода разделяют ступенчатым способом. Расстояние от экрана до разделанной жилы должно быть не менее 10 мм . Конец плетенки разделяют для последующего монтажа. При необходимости к концу плетенки изнутри подпаивают удлинительный гибкий провод.

При втором способе отвод от экрана выполняется отдельным проводом 9, которым бандажируют конец плетенки 8 (рис. 18, *е*). Для этого концевую часть плетенки удаляют, разрезав ее вдоль и затем поперек по окружности на определенном (с учетом параметров разделки изоляции) расстоянии от конца провода. На конец плетенки плотно наматывают на длине $2...6 \text{ мм}$ ряд витков луженым проводом ММЛ диаметром $0,4...0,5 \text{ мм}$ и пропаявают бандаж особо легкоплавким или легко-



плавким припоем. Затем на бандажное соединение плотно надевают изоляционную трубочку 10.

Если конец экрана не подлежит заземлению, то при разделке его закрепляют различными способами (наложением бандажа из ниток, надеванием изоляционных трубочек и др.).

По первому способу (рис. 18, ж) с провода удаляют часть плетенки определенной длины (с учетом параметров разделки изоляции и жилы). Затем на экран накладывают бандаж 11 из ниток №20 на длине 6...8 мм таким образом, чтобы он перекрывал конец плетенки 8 и участок волокнистой изоляции 3, которая должна выходить из-под бандажа на длину 1...2 мм. Бандаж покрывают клеем 4 (ХВК-2а, БФ и т.п.).

Если в экранированном проводе отсутствует подэкранная волокнистая оплетка, то после удаления экрана под его конец необходимо подмотать два-три слоя ленты из лакоткани или вставить трубочку из термостойкого изоляционного материала.

Применяют и другие варианты разделки экранированных проводов.

Во всех случаях при разделке экранирующей оплетки не допускаются:

- повреждения (прожоги, разрезы и т.п.) изоляции провода;
- проколы изоляции отдельными проволочками экрана, а также их обрыв в зоне разделки.

После обработки экрана разделяют изоляцию и жилы.

Монтажные контакты и лепестки предназначены для частичного механического крепления проводов перед пайкой. Перед монтажом проверяют целостность контактов. Если контакты нелуженые или окислившиеся, то их необходимо предварительно зачистить и залудить. Крепление получают накруткой проводов вокруг столбика, вдавливанием в паз или образованием петли через отверстие. Выводы и провода должны оборачиваться вокруг контакта с использованием турельных или прямых элементов минимум на 180° . При плоских контактах и лепестках жилу сечением менее $0,35 \text{ мм}^2$ оборачивают вокруг лепестка на полный оборот, а при сечении более $0,35 \text{ мм}^2$ — на $3/4$ оборота. При наличии отверстия в лепестке жилу пропускают в него и загибают вокруг лепестка. Жилы на контакте, стойках или лепестках должны закрепляться на расстоянии не менее 1 мм от его конца. После закрепления концы жил необходимо плотно обжать на контактах плоскогубцами или пинцетом.

Примеры крепления показаны на рис. 19. Технические требования к соединениям между выводами компонентов или проводами и

контактами приведены в ГОСТ Р МЭК 61191-4–2010, а рабочая информация в ГОСТ Р МЭК 61192-4–2010.

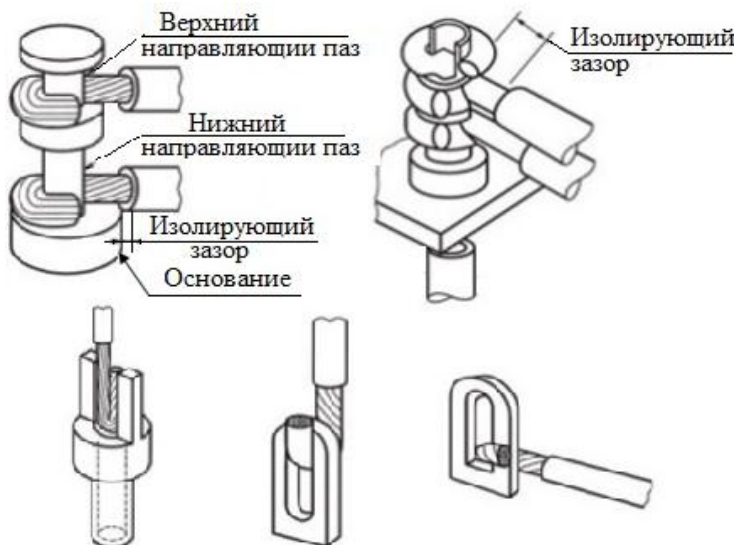


Рис. 19. Виды закрепления провода

При монтаже в разрезной контакт допустим оборот не менее чем на 90° , концы провода и вывода могут выходить за основание контакта при условии, что обеспечивается минимальный электрический зазор (рис. 20, *з*). Провода должны размещаться в восходящем порядке с самым толстым проводом в нижней части контакта, за исключением провода силовой цепи, если это возможно. Провод или вывод компонента должен заделываться в паз и оборачиваться вокруг одного из столбиков контакта (рис. 20, *а*), обеспечивая надежный контакт провода, по меньшей мере, с одним углом столбика. Провод или вывод должен быть в прочном контакте с основанием или с ранее установленным проводом (рис. 20, *в, д, е*).

Число закреплений должно ограничиваться тремя на столбик контакта (рис. 20, *е*) и должно удерживаться в надлежащем состоянии так, чтобы:

- не было перехлестов намоток друг на друга;
- расстояние между проводами и расстояние между проводами и платой или панелью контактов, как минимум, согласовывалось с толщиной изоляции провода;



- витки выполнялись с противоположно направленными поворотами (рис. 20,б).

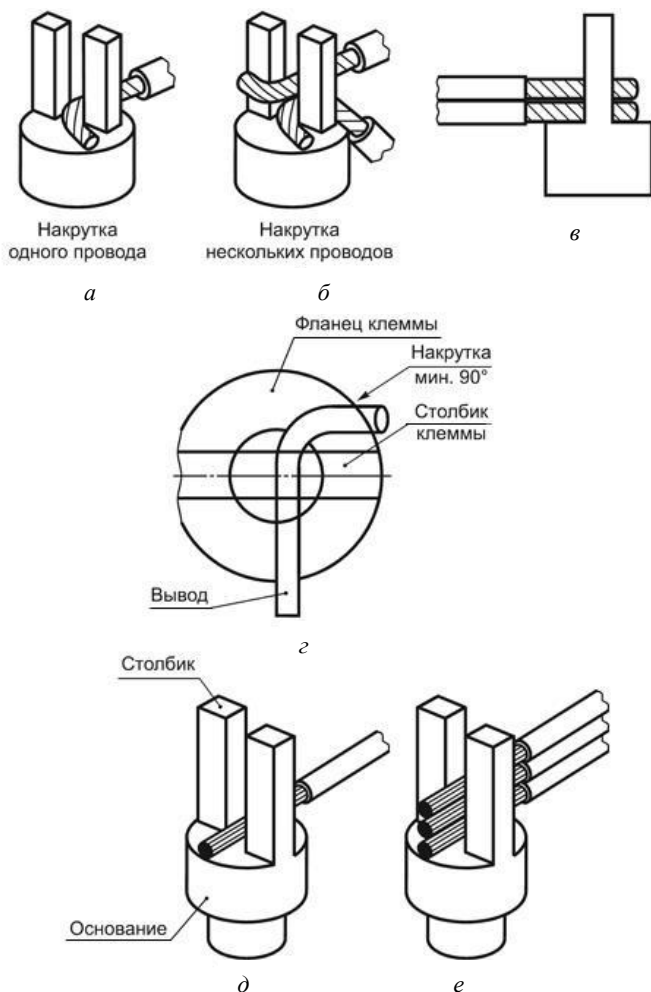


Рис. 20. Монтаж в разрезной контакт

Для присоединения провода к одному перфорированному или просверленному контакту провода должны проходить через проушину и наматываться вокруг контакта (рис. 21,а). Если соединения последовательные, то провод должен прикрепляться к конечным кон-

тактам (первому и последнему) тем же способом, которым провода прикреплялись к одиночным контактам. Проволочная перемычка должна соприкасаться, по меньшей мере, с двумя краями каждого промежуточного контакта.

Провода, прикрепленные к перфорированным контактам, должны соприкасаться, по меньшей мере, с двумя (смежными или несмежными) поверхностями контакта (рис. 21, б, в). Концы вывода или провода могут заходить за контакт максимум на один диаметр вывода (рис. 21, з, д).

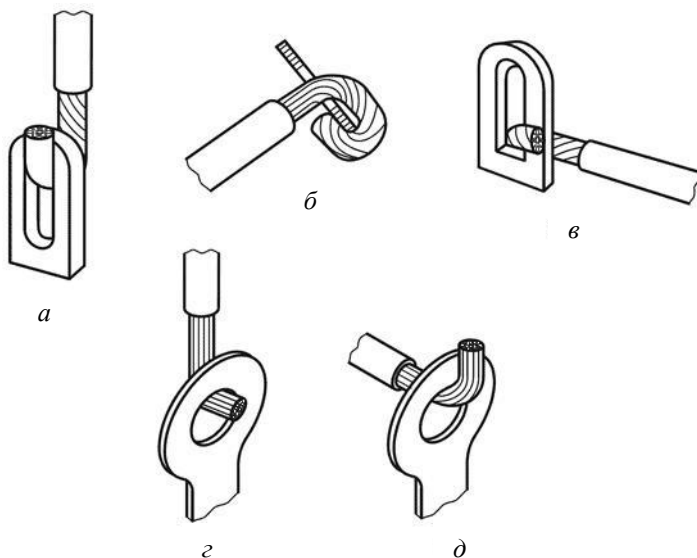


Рис. 21. Намотка провода на перфорированный контакт

Освобождение между концом изоляции провода и паяным соединением «с» (рис. 22):

- минимальное – изоляция может соприкасаться с пайкой, но не должна покрываться припоем; контур проводов не должен быть закрыт изоляцией;
- максимальное – должно быть меньше двух диаметров провода с учетом изоляции, но не менее 1,5 мм; свободный от изоляции провод не должен создавать короткое замыкание с проводником другой цепи.



Трубчатые контакты и трубчатые контакты с дуплом провода должны впаиваться в полые трубчатые контакты с хвостовыми дулами способом, который обеспечивает полное заполнение дула припоем и предотвращает сохранение в полости контакта остатков флюса. В один трубчатый контакт не должно устанавливаться более трех проводов. Не допускаются нарушение скрутки и сдвигание жилы. Провод или провода должны вводиться на полную глубину хвостового дула контакта, а галтель припоя должна формироваться вдоль соприкасающихся поверхностей. Припой должен смачивать всю внутреннюю полость и заполнять по меньшей мере 75% "горловины" полости. Припой должен быть видим в коллекторном отверстии и может слегка возвышаться над ним. Припой может переполнять полость. Выход припоя на обратной стороне полости должен быть незначительным.

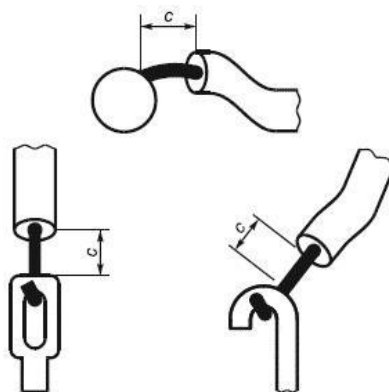


Рис. 22. Размеры освобождения от изоляции

Смонтированные одиночные монтажные провода должны свободно размещаться между контактами, монтаж проводов с натяжением не допускается. Для защиты изоляции проводов от оплавления при монтажных работах применяют теплоотвод, для этого зажимают, например, пинцетом с медными губками жилу у торца изоляции при лужении и пайке. Попадание флюса под изоляцию проводов при пайке не допускается.

При контроле сначала проверяют правильность монтажа. После удаления остатков флюса растворителем проводят визуальный контроль качества паяных соединений. Поверхность припоя должна быть блестящей и иметь вогнутую галтель у провода с контактом, а сам припой – сплошным (раковины и пустоты не допускаются). Виды состояний паяного соединения провода с контактом приведены в табл. 8.

Виды состояний паяного соединения провода с контактом

Соединение провода с контактом	Виды состояний и характеристика соединений
	<p>Допустимое состояние для печатных узлов классов А, В, С.</p> <p>Видимый контур вывода, гладкая поверхность припоя на проводе и контакте</p>
	<p>Допустимое состояние для печатных узлов классов А, В, С.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Правильно расположенная изоляция на правильно уложенных и несломанных жилах провода. 2. Число сломанных жил не более значений, указанных в табл. 7
	<p>Недопустимое состояние для печатных узлов классов А, В, С.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Припой не имеет непрерывной поверхности, присутствуют признаки плохого смачивания. 2. Число сломанных жил провода более значений, указанных в табл. 7
	<p>Допустимое состояние для печатных узлов классов А, В, С.</p> <p>Освобождение от изоляции находится в пределах допуска. Не рекомендуется, чтобы зазор между изоляцией провода и припоем соединения был более двух диаметров изолированного провода</p>



Соединение провода с контактом	Виды состояний и характеристика соединений
	<p>Допустимое состояние для печатных узлов классов А, В. Недопустимое состояние для печатных узлов класса С. Повреждение изоляции, небольшое видимое расплавление изоляции</p>
	<p>Допустимое состояние для печатных узлов класса А. Недопустимое состояние для печатных узлов классов В, С. 1. Зазор между изоляцией провода и контактом равен нулю. 2. Отсутствие зазора между изоляцией провода и контактом допустимо, если изоляция не вплавляется внутрь паяного соединения и имеются признаки паяного соединения на протяжении всей накрутки на 90°</p>
	<p>Допустимое состояние для печатных узлов класса А. Недопустимое состояние для печатных узлов классов В, С. 1. Обнажение части провода может привести к его замыканию на другую цепь проводящего рисунка. 2. Обнажение неизолированного провода допускается (класс А), если при перемещении провода замыкание на соседнюю цепь невозможно</p>
	<p>Недопустимое состояние для печатных узлов классов А, В, С. Изоляция сильно обуглена, расплавленный побочный продукт внедряется в соединение</p>

ЭЛЕКТРОМОНТАЖНАЯ ПАЙКА. СБОРКА МАТРИЦЫ

Цель работы – получить навыки по выполнению паяных соединений проводников и пользованию монтажным инструментом.

Подготовить проводники и собрать из них с помощью пайки монтажную матрицу с заданными геометрическими размерами (рис. 1.1), значения которых определяются вариантом задания, указанного преподавателем.

Для выполнения работы выдают:

- 1) техническую документацию;
- 2) комплект заготовок изолированных проводов;
- 3) комплект монтажного инструмента.

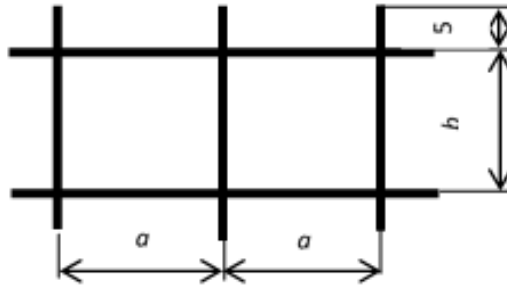


Рис. 1.1. Монтажная матрица

Технические требования

1. Геометрические размеры элементов матрицы должны соответствовать заданным значениям. Допустимое отклонение ± 1 мм при сохранении формы.

2. Матрица должна быть плоской, а проводники матрицы – ровными и не иметь местных изгибов.

3. Количество припоя в местах пайки проводников должно быть оптимальным и обеспечивать их надежное соединение. Припой должен симметрично располагаться между проводниками в месте соединения и иметь вогнутую галтель. Наплывы и наросты припоя в соединении не допускаются.

4. Поверхность облуженных проводников и припоя в местах пайки должна быть гладкой и блестящей.

5. На готовом изделии наличие остатков флюса не допускается.



Выполнение работы

Работа по изготовлению матрицы состоит из трех последовательных этапов: I этап – ознакомление с документацией и подготовка проводников (зачистка изоляции, правка, лужение); II этап – сборка матрицы с помощью пайки и последующая обрезка в размеры согласно варианту задания; III – удаление остатков флюса и контроль качества сборки.

На I этапе после ознакомления с документацией полученные заготовки проводов необходимо выправить (рихтовать), прокатав их поочередно под нагрузкой между двумя деревянными гладкими дощечками. Изоляцию с каждого провода, удерживаемого за конец плоскогубцами и уложенного на технологическую плиту, удаляют односторонними движениями монтажного ножа, поворачивая провод вокруг оси. Остатки эмали счищают наждачной бумагой. Поперечные надрезы провода ножом при зачистке не допускаются. При необходимости проводят повторную правку.

Провода лудят хорошо прогретым паяльником на технологической плите. Для предотвращения ожогов пальцев конец обслуживаемого провода следует держать плоскогубцами или пинцетом. На жале должно быть достаточно припоя, а провод офлюсован, для чего на край плиты кладут немного канифоли, плавят паяльником и в расплаве проводят лужение. Для быстрого и качественного облуживания жало должно соприкасаться с проводом плоской частью, провод хорошо прогреваться. При лужении провод рекомендуется поворачивать вокруг оси для равномерного покрытия припоем.

Из-за быстрого обгорания флюса облуживание каждого провода проводится в несколько приемов. При хорошем облуживании слой припоя на проводе имеет блестящую и гладкую поверхность без наплывов и неровностей. Наличие зернистой поверхности или наслоений припоя, наросты, капли указывают на недостаточный прогрев провода при облуживании, поэтому требуется повторное лужение.

На II этапе для ускорения сборки необходимо начертить на бумаге в масштабе 1:1 эскиз матрицы и использовать его как шаблон. Сборку матрицы проводят последовательно. Сначала собирают и соединяют пайкой четыре крайних провода, определяющих ее габариты. Для этого на соответствующую линию шаблона кладут, например, левый вертикальный провод, а на него верхний горизонтальный и фиксируют их положение. Длина внешних участков проводов должна быть не менее 5 мм. Затем на кончик жала паяльника берут немного

припой и флюс и быстро прикладывают острие жала между проводниками, в место их пересечения, выдерживают до образования паяного шва, затем убирают паяльник, не нарушая фиксации проводов до затвердевания припоя. Далее устанавливают и припаивают остальные внешние провода, образующие остов матрицы, затем внутренние провода, выдерживая размеры ячеек и их форму. Избыточный припой в виде капель или наплывов не допускается и должен удаляться паяльником.

Изготовленную матрицу проверяют на соответствие техническим требованиям. Обнаруженные дефекты устраняют. Далее кусачками обрезают наружные концы проводов, обеспечивая размеры матрицы.

На III этапе с матрицы удаляют остатки флюса протиркой тампоном из хлопчатобумажной ткани, смоченным спиртобензиновой смесью, и проверяют качество изготовленного изделия.

Зачет по работе

Для получения зачета по работе необходимо предъявить преподавателю изготовленное изделие, отчет по работе и ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Что такое сборка и электрический монтаж?
2. Что такое электромонтажное соединение и электрическое контактное соединение?
3. Способы выполнения монтажных соединений.
4. Какой процесс называется пайкой?
5. Функции флюса при пайке.
6. Типы припоев и флюсов.
7. Основные марки припоев и флюсов общего применения, используемые при монтаже РЭА.
8. Основные требования к монтажным припоям и флюсам.
9. Понятие о смачиваемости и растекаемости припоя.
10. Классификация монтажных паяльников.
11. Типовая технология получения паяного соединения проводников, требования к подготовке и пайке.
12. Организация рабочего места монтажника, используемые инструменты.
13. Техника безопасности при монтажных работах.



Форма отчета

Отчет

по лабораторной работе №1

студента _____ гр. _____

Наименование работы _____

Цель _____

1. Чертеж матрицы

2. Порядок выполнения работы

№ п/п	Наименование операции	Инструмент	Материал

Принял _____

(подпись преподавателя)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРОВОДОВ

Цель работы – выработать навыки по выполнению типовых монтажных соединений проводов и работы с монтажным инструментом.

Задание

Выполнить типовые соединения проводов (внахлест, колечком, скруткой, навивкой, бандажированием) и собрать с помощью пайки условное изделие согласно рис. 2.1.

Примечание. Для ясности рисунка припой на соединениях не показан. Зачернены изолированные участки проводов.

Изготавливаемое изделие состоит из пяти монтажных соединений и двух соединительных проводов. С левой стороны соединение проводов выполняется колечком, с правой – точечной пайкой.

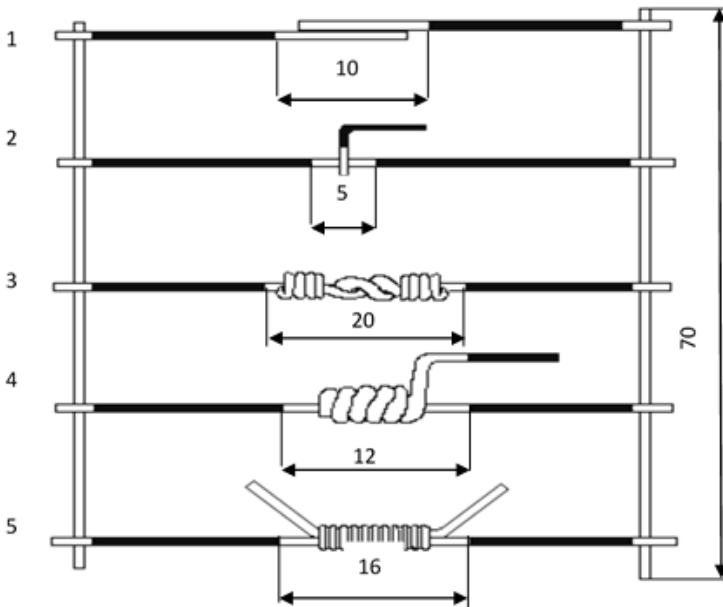


Рис. 2.1. Типы монтажных соединений жил проводов: 1 – соединение внахлест двух проводников; 2 – колечком (отвод от основного провода); 3 – скрутки двух проводов; 4 – навивкой (отвод от основного провода); 5 – бандажированием



Для выполнения работы выдают:

- 1) техническую документацию;
- 2) комплект заготовок изолированных проводов диаметров 0,7...0,9 мм, скрепленных проволокой для бандажирования;
- 3) комплект монтажного инструмента и приспособления.

Технические требования

1. Граница зачистки изоляции должна быть ровной по периметру провода, радиальные надрезы проводников не допускаются.

2. Конфигурация и размеры монтажных соединений должны соответствовать данным рис. 2.1, допуск на размеры ± 1 мм.

3. Типовые монтажные изделия должны располагаться симметрично относительно соединительных проводов.

4. Отводы в соединениях должны располагаться в плоскости проводов.

5. Соединения колечком на левом соединительном проводе должны быть перпендикулярны его оси.

6. Пайка всех соединений – сплошная и профильная (без пустот и раковин), вне соединения должны находиться залуженные части провода длиной 1...2 мм.

Выполнение работы

Работа состоит из четырех этапов: I этап – ознакомление с документацией и правка проводов; II – изготовление образцов типовых монтажных соединений проводов; III – подготовка соединительных проводов, обработка концов проводов выполненных соединений и общая сборка изделия; IV – промывка изделия от остатков флюса, обрезка соединительных проводов в размер и контроль качества изготовленного изделия.

При соединении монтажных соединений внахлест 1 (см. рис. 2.1) у двух проводов длиной 60...70 мм необходимо удалить с одного конца изоляцию на длине 12 мм и залудить. Затем положить провода на технологическую плиту, соединить залуженные участки на длине 10 мм, нанести флюс и сжать с края пинцетом. Далее пропаять соединение, отвести паяльник и после затвердения припоя отнять пинцет.

При соединении колечком 2 (см. рис. 2.1) на длинном (120 мм) проводе зачистить в центре участок длиной 4 мм и залудить. Далее отрезать от заготовки провод длиной 40 мм, зачистить конец на длине

10 мм и залудить его. Затем зажать конец залуженного участка провода *1* концами губок *2* круглогубцев, а второй конец провода – плоскогубцами и, растягивая провод, повернуть круглогубцы до образования кольцевидного участка из залуженной части провода (рис. 2.2, положение I).

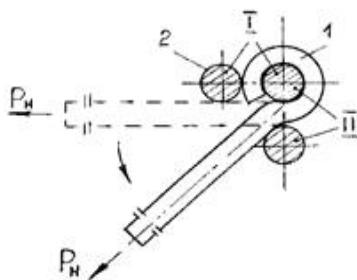


Рис. 2.2. Формовки колечка с применением круглогубцев

Далее перехватить круглогубцы (рис. 2.2, положение II) и отогнуть прямой участок провода так, чтобы кольцевидная часть располагалась симметрично относительно оси провода. Диаметр отверстий должен составлять $1,1 \dots 1,2$ диаметра провода. Затем провод изгибают Г-образно на расстоянии $5 \dots 7$ мм от центра кольцевидной части, обеспечив перпендикулярность отогнутого конца плоскости.

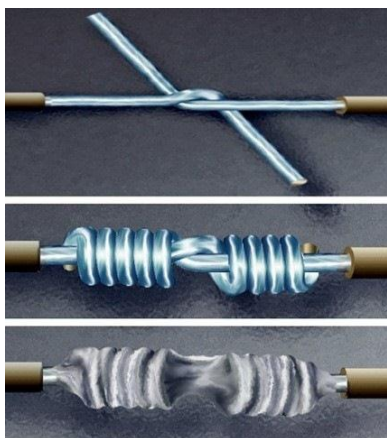


Рис. 2.3. Соединение проводов скруткой

Полученную заготовку надевают на основной провод, располагают посередине залуженного участка, обжимают плоскогубцами, флюсуют и пропаивают, обеспечив перпендикулярность плоскости соединения оси основного провода.

При выполнении соединений скруткой *3* (см. рис. 2.1, 2.3) у двух проводов длиной $90 \dots 100$ мм с одного конца удалить изоляцию на длине $35 \dots 40$ мм и залудить. Затем



наложить провода залуженными участками друг на друга под прямым углом на расстоянии 12 мм от изоляции и сделать пальцами одну скрутку.

Далее, зажав середину скрутки концами губок плоскогубцев, завить короткий конец провода виток к витку на залуженную часть длинного провода (5...6 витков). Оставшийся конец навитого провода откусить, а последний виток обжать. Затем повторить навивку для второй части скрутки. Полученное соединение выправить (оси проводов должны совпадать), нанести флюс и пропаять, обеспечив профильную пайку.

При соединении навивкой 4 (см. рис. 2.1) на середине заготовки

основного провода 1 (рис. 2.4) удалить изоляцию и залудить участок длиной 10 мм, далее откусить провод 2 – отвод длиной 60...70 мм, зачистить кругом и залудить на длине 40 мм, выправить и загнуть Г-образно на расстоянии 2...3 мм от изоляции. Затем установить и зажать в тисках с небольшим усилием основной 1 и Г-образный 2 провода, расположив их изолированные участки параллельно на расстоянии 5...7 мм (рис. 2.4). Далее с помощью плоскогубцев, зажав ими облуженный конец отвода, плотно навить его на залуженную часть основного провода (5...8 витков).

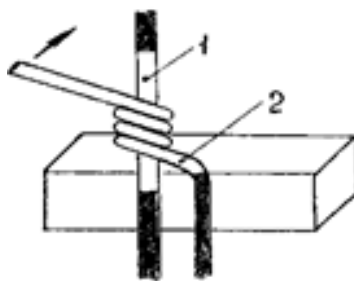


Рис. 2.4. Соединение проводов навивкой

Лишний конец провода откусить, а последний виток обжать. Полученное соединение выправить, нанести флюс и пропаять.

При соединении бандажированием двустороннего отвода 5 (см. рис. 2.1) на середине длинного (120...130 мм) основного провода зачистить кругом и залудить участок длиной 16 мм. Затем зачистить короткий провод на длине 30 мм, выправить, залудить и откусить. Согнуть его П-образно, обеспечив горизонтальный участок длиной 13...15 мм. Далее приложить вплотную горизонтальной частью П-образный провод к залуженному участку основного провода, расположить его симметрично и припаять внахлест.

Подготовить бандажный провод (выправить, зачистить и залудить, если он нелуженый или сильно окислившийся). Навить под натяжением виток к витку бандажный провод по всей длине спая П-образного отвода. Лишний провод откусить, крайние витки обжать.

Нанести флюс и выполнить профильную пайку бандажного соединения.

Проверить качество паяных соединений: поверхность припоя должна быть блестящей; пустоты, непропаянные места или наросты (иглы, капли) припоя не допускаются. Выявленные дефекты устранить повторной пайкой, а остатки флюса удалить промывкой растворителем.

Изготовленные образцы соединений проводов показать преподавателю для утверждения.

III этап – сборка изделия. Подготовить соединительные провода. Два провода зачистить кругом на длине 60...85 мм, залудить и откусить излишки, обеспечив залуженные рабочие отрезки проводов длиной по 80 мм.

Далее обработать последовательно концевые части проводов ранее выполненных соединений. Для этого взять первое соединение (внахлест), отмерить линейкой от середины паяной части влево по проводу 56 мм и откусить излишек. Затем зачистить левый конец на длине 10 мм, выправить, залудить и оформить с помощью круглогубцев кольцевидную часть, плоскость которой должна быть перпендикулярна плоскости, проходящей через оси проводов в соединении внахлест. Далее отмерить от центра отверстия вправо по проводу 105 мм и откусить излишек, зачистить конец на длине 10 мм и залудить.

Подготовить к сборке 2,3,4 и 5-е соединения. Для соединений 2,4 и 5 плоскость кольцевидных участков должна быть перпендикулярна плоскости, проходящей через оси основного и отводимого проводов.

Для упрощения рабочего процесса сборки начертить на бумаге схему расположения проводов изделия (см. рис. 2.1) в масштабе 1:1, использовать ее в дальнейшем как сборочный шаблон, расположив его на технологической плате. Собрать предварительно изделие согласно рис. 2.1, продев в кольцевые части подготовленных образцов соединительный провод. Уложить сборку на шаблон, совместить провода с соответствующими линиями шаблона. Обжать кольцевидную часть провода первого соединения на расстоянии 15 мм от конца соединительного провода и пропаять. Затем поместить провод второго соединения параллельно на расстоянии 10 мм от первого, обжать и припаять его кольцевую часть. Далее аналогично поместить, зафиксировать и припаять провода остальных типовых соединений, расположив их соответственно на расстоянии 20, 30 и 40 мм от провода первого соединения.



После этого второй соединительный провод подложить под свободные концы монтажных соединений, поместив его по шаблону на расстоянии 100 мм от первого соединительного провода параллельно. Далее соединить его пайкой с проводом первого монтажного соединения, обеспечив длину внешних участков проводов 5 мм для нижнего, 5 мм для верхнего.

Затем разместить и припаять провода последовательно 2,3,4 и 5-го соединений, выдерживая соответственно их расстояние от первого провода 10,20,30 и 40 мм.

При сборке необходимо обеспечить: точность геометрических размеров изделия согласно рис. 2.1; параллельность соответственно соединительных проводов и монтажных соединений; профильную пайку соединений с оптимальным количеством припоя.

По окончании сборки монтажных соединений проверить изделие на соответствие техническим требованиям. Выявленные дефекты устранить перепайкой.

На IV этапе промыть изделие от остатков флюса, проверить качество изделия, откусить снизу лишние части соединительных проводов, обеспечив длину их выступающих частей и размер изделия согласно рис. 2.1.

Зачет по работе

Для получения зачета по работе необходимо предъявить преподавателю изготовленное изделие, отчет по работе и ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Основные виды кабельных изделий.
2. Типовые конструктивные части провода.
3. Виды изоляции проводов.
4. Группы проводов по назначению.
5. Типовые варианты монтажных соединений проводов.
6. Технология выполнения паяного монтажного соединения проводов.
7. Последовательность подготовки проводов для получения паяного соединения.
8. Требования к паяным соединениям.
9. Сущность профильной пайки.

Форма отчета

Отчет

по лабораторной работе №2

студента _____ гр. _____

Наименование работы _____

Цель _____

1. Эскизы соединений проводов
2. Порядок выполнения соединения

Принял _____

(подпись преподавателя)



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС МОНТАЖА ОДИНОЧНЫМИ ПРОВОДАМИ

Цель работы – выполнить монтаж одиночными проводами на контактах разных видов.

Задание

Провести подготовку и выполнить монтаж одиночными монтажными проводами разных марок между контактами различных видов, расположенными на типовой плате или, к контактам соединителей (рис. 3.1).

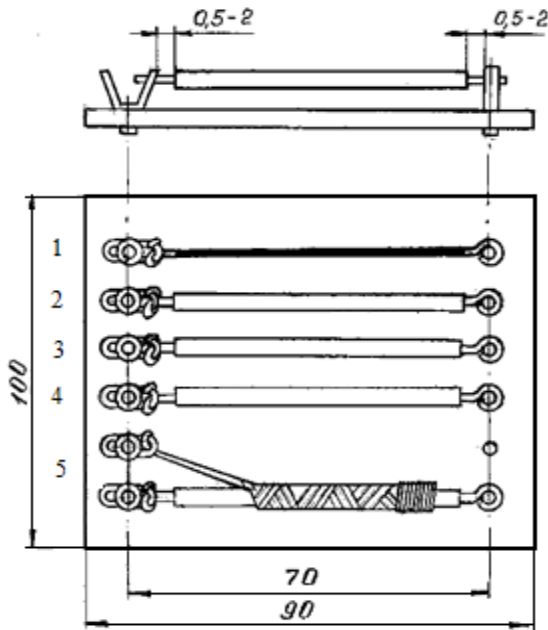


Рис. 3.1. Расположение монтажных проводов на типовой плате:
1 – провод марки ПЭВ; 2 – ПМВ; 3 – МГВ; 4 – МГШ (МЭЦДЛ); 5 – МГШВЛЭ

Для выполнения данной работы выдают:

- 1) техническую документацию;
- 2) набор заготовок монтажных проводов разных марок и сечений длиной 100...120 мм и типовую плату с контактами;

3) вспомогательные материалы (хлопчатобумажную нить №20 для бандажирования, клей и др.);

4) комплект монтажного инструмента.

Общий вид монтажа и порядок расположения проводов на плате должны соответствовать рис. 3.1. Плата – изоляционное основание из гетинакса с закрепленными на ней двумя рядами контактов: двухлестковыми – слева, стойками (пистоном) – справа.

Технические требования

1. Провода на плате должны быть размещены в заданной последовательности и свободно располагаться между контактами (рис. 3.1).

2. Разделка проводов должна соответствовать их конструкции (см. рис. 18) и параметрам монтажа.

3. Жилы проводов должны быть механически закреплены на предварительно облуженных контактах, соединения всесторонне пропаяны. Отгибать контакты при лужении и монтаже запрещается.

4. Расстояние между торцом изоляции проводов и монтажным соединением должно быть в пределах 0,5...2 мм.

Порядок выполнение работы

Работа состоит из четырех этапов.

I этап. Ознакомиться с технической документацией и образцом изделия, с платой и видами выполнения на контактах монтажных соединений. Проверить целостность контактов и прочность их крепления. В новых платах зачистить и залудить рабочие части контактов в месте соединений. В платах, прошедших демонтаж, удалить паяльником с контактов лишней припой, открыть отверстия в лепестках и в первой стойке (пистоне).

II этап. Нарезать провода необходимой длины с учетом их расположения на плате и параметров монтажного соединения. Для этого необходимо по трассе провода (см. плату и рис. 3.1) измерить линейкой расстояние между стойкой и соответствующим лепестком и к полученному значению прибавить 20...25 мм для разделки концов проводов. Определить марки проводов путем визуального анализа их устройства и сопоставления с конструкциями типовых марок проводов (на планшетах, витринах, плакатах). Записать в отчет в табличной форме перечень используемых проводов: позиция, марка, сечение (определить при разделке), цвет.



Разделатъ провода с учетом их марки, конструктивных особенностей (см. рис. 18), параметров монтажа на плате. Длина оголенной жилы должна быть 7...10 мм. Пластмассовую и органическую волокнистую изоляцию удалять с помощью электроножа. При наличии наружной волокнистой изоляции выполнить ступенчатую разделку и закрепить ее по одному из вариантов (см. рис. 18, *а-в*).

При разделке экранированного провода марки МГШВЛЭ и т.п. удалить с одного конца часть экрана длиной 20...25 мм и закрепить рабочей конец экрана бандажом из ниток с проклейкой (см. рис. 18, *ж*).

Для образования бандажа следует в месте закрепления экрана уложить вдоль провода узкую (2...3 мм) петлю длиной 15...20 мм из начальной части нитки. Затем провод с петлей плотно обмотать ниткой под натяжением на длине 8...10 мм так, чтобы бандаж закрывал конец экрана и небольшую часть (2...3 мм) внешней волокнистой изоляции. Затем конец нити пропустить в петлю и, потянув за начало нити, затянуть начало и конец обмотанной нити под бандаж, чтобы обеспечить его samozакрепление. Бандаж покрыть клеем.

Далее разделяют экран с другого конца провода по варианту заземления самой плетенкой (см. рис. 18, *д*). Для этого необходимо привести пинцетом пряди плетенки на расстоянии 20...25 мм от торца провода, сжав слегка экран в осевом направлении, согнуть в этом месте провод V-образно, и в полученное отверстие вытащить конец провода. Плетенку вытянуть и обжать у места выхода провода.

По указанию преподавателя допускается выполнять отвод от экрана отдельным проводом, применяя бандажирование с пропайкой (см. рис. 18, *е*) или другие способы, соблюдая во всех случаях требования к разделке экранированных проводов.

После обработки экрана произвести ступенчатую разделку изоляции, закрепив наружную волокнистую оплетку с помощью клея или бандажа из ниток по варианту, приведенному на рис. 18, *в*. Далее выполнить разделку и облуживание жил проводов.

Перед лужением многопроволочные жилы скрутить, окислившиеся предварительно раскрутить, зачистить и затем скрутить. При облуживании предохранять изоляцию от оплавления (зажимая жилу у изоляции пинцетом). Для экранированного провода определить по плате длину заземляющего конца плетенки, излишек откусить, а конец – скрутить и залудить.

III этап. Провода последовательно разместить на плате согласно принятому позиционному расположению, механически закрепить жилы на контактах и пропаять соединения.

При монтаже на стойках остальных проводов использовать кольцевидную формовку жил, фиксируя их обжимом на расстоянии 3 мм от плоскости платы. Для закрепления на лепестковых контактах жилы каждого из проводов пропустить в отверстие соответствующего лепестка, обогнуть вокруг него и обжать пинцетом или плоскогубцами. Конец плетенки экрана пропускают в отверстие лепестка и закрепляют загибкой крючком (см. 5 на рис. 3.1).

Пайка всех соединений профильная, сплошная по всей зоне закрепления жилы, с соблюдением установленных требований. Для обеспечения качественной пайки следует флюсовать и хорошо прогревать соединения в процессе пайки. Для защиты изоляции проводов от оплавления и обгорания применять теплоотвод, зажимая у изоляции жилу пинцетом.

IV этап. Удалить остатки флюса и проверить качество монтажа. Поверхность припоя в соединениях должна быть сплошной, блестящей и иметь видимую галтель в сопряжении жилы и контакта. Раковины и пустоты, а также наплывы и наросты (признаки „холодной“ пайки) не допускаются. Выявленные дефекты устранить повторной пайкой. Провода с нарушенной изоляцией (оплавление, прожоги, прорези), а также с большим расстоянием (более 2 мм) между торцом изоляции и соединением подлежат демонтажу и замене.

Зачет по работе

Для получения зачета по работе необходимо предъявить преподавателю изготовленное изделие, отчет по работе и ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Назначение и классификация монтажных проводов.
2. Устройство монтажного провода, используемые материалы.
3. Марки монтажных проводов общего применения.
4. Марки проводов в изготовленном изделии.
5. Что такое разделка провода, изоляции, жилы?
6. Содержание работы и требования при разделке монтажных проводов.
7. Способы снятия изоляции с монтажных проводов.
8. Особенности разделки экранированных проводов.
9. Способы облуживания жил проводов и защиты изоляции от обгорания при пайке.
10. Проверка качества паяного монтажного соединения.



Форма отчета

Отчет по лабораторной работе №3

студента _____ гр. _____

Наименование работы _____

Цель _____

1. Эскиз соединений проводов

2. Таблица используемых проводов

№ п/п	Обозначение провода в конструкторской документации

3. Порядок выполнения соединений

Принял _____

(подпись преподавателя)

СОДЕРЖАНИЕ

Термины определения и основные понятия	3
Физико-химические основы пайки	7
Припой и флюсы	11
Технология выполнения электромонтажных соединений	26
Пайка проводов и выводов компонентов к контактам	40
<i>Лабораторная работа № 1. Электромонтажная пайка. Сборка матрицы</i>	<i>59</i>
<i>Лабораторная работа №2. Технологический процесс электромонтажных соединений проводов</i>	<i>63</i>
<i>Лабораторная работа №3. Технологический процесс монтажа одиночными проводами</i>	<i>70</i>

*Егоров Владимир Александрович, Жаркой Михаил Филиппович,
Чеусов Сергей Сергеевич*

Основы монтажа электронной аппаратуры

Редактор *Г.В. Никитина*

Корректор *Л.А. Петрова*

Компьютерная верстка: *С.В. Каиуба*

Подписано в печать 21.06.2018. Формат 60x84/16. Бумага документная.

Печать трафаретная. Усл. печ. л. 4,325. Тираж 100 экз. Заказ № 112.

Балтийский государственный технический университет

Типография БГТУ

190005, С.-Петербург, 1-я Красноармейская ул., д.1

