

Электрические прямоугольные соединители. Технология обработки проводов и способы их присоединения к электрическим контактам

В статье рассмотрены теоретические и практические аспекты технологии обработки проводов и основных способов их присоединения к хвостовикам контактов электрических соединителей. Определены допустимые виды дефектов, возникающих при обработке и присоединении проводов, в зависимости от класса электронных изделий, в которых они будут использоваться.

**Александр Сафонов
Леонид Сафонов**

edet@online.debryansk.ru

Введение

Современная высокотехнологичная техника общепромышленного и специального назначения становится все более насыщенной радиоэлектронной аппаратурой (РЭА), что в свою очередь требует дополнительного количества устройств соединения и коммутации различных цепей, в том числе и электрических соединителей, а также создания более сложных проводных систем.

Например, в авиалайнере Boeing 747 установлены десятки тысяч отдельных проводов общей длиной до 300 км, в то время как новый Airbus A380 несет в себе уже более 500 км проводов.

Наличие большого количества различных проводных систем предусматривает для их соединения использование электрических соединителей объемного монтажа с разными вариантами присоединения проводов к электрическим контактам. Объемный монтаж является традиционным способом монтажа радиоэлектронной аппаратуры.

Однако его классическое понимание как способа соединения различных активных и пассивных радиоэлектронных компонентов посредством монтажных проводов методом пайки сегодня значительно изменилось. Разработаны новые модели радиоэлектронных компонентов, которые позволяют присоединять их к проводам в РЭА более прогрессивными способами по сравнению с пайкой. Это такие способы присоединения, как контактная, ультразвуковая и лазерная сварка, накрутка, холодная обжимка, врезка и др.

Использование идеологии блочно-модульного построения РЭА, а также интенсивное развитие производства печатных плат и нового поколения радиоэлектронных компонентов с новыми методами монтажа практически полностью вытеснило в современной аппаратуре проводной монтаж внутри блоков. На долю проводных систем остались межблочные соединения и проводные цепи различного назначения в изделиях. Казалось бы, протяженность прово-

дных систем в изделиях с развитием современной компонентной базы должна резко снизиться. Однако, учитывая все возрастающую сложность изделий и их энергонасыщенность, применение проводных цепей наоборот увеличивается. Это видно хотя бы по приведенному примеру с авиалайнерами.

Поэтому совершенствованию конструкции проводов, способам их обработки и присоединения к радиоэлектронным компонентам необходимо уделять более серьезное внимание, так как все это в конечном счете сказывается на качестве изделий и их надежности.

Тот, кто сталкивался с обработкой проводов и присоединением их к контактам соединителей и выполнял даже самые простые операции, сразу смог оценить, насколько эти действия трудоемки. Даже самая простая зачистка проводов без определенной подготовки и специального инструмента становится серьезной проблемой, не говоря уже о более серьезных операциях.

На многих предприятиях электронной промышленности обработка проводов и кабелей до сих пор является как бы второстепенным производственным процессом, и зачастую ему не уделяется должного технологического и организационного внимания. Нередки случаи, когда степень механизации и автоматизации этих технологических процессов значительно отстает от других производственных операций, что в какой-то степени обусловлено сложившейся тенденцией. Если проанализировать историю развития уровня автоматизации электронной и электротехнической промышленности, то до определенного времени было отмечено заметное отставание «сопутствующих» производственных процессов.

По мере развития рыночной конкуренции постоянно возрастали и требования к качеству и надежности выпускаемой продукции. Соответственно, без качественных проводных соединений и устройств соединения — электрических соединителей — стало невозможно обеспечить заданные параме-

тры электротехнических изделий и радиоэлектронной аппаратуры. Всем известно, что в большинстве случаев брак проще и дешевле предотвратить, чем впоследствии устранить. И чем позже обнаруживается несоответствие продукции установленным критериям, тем выше уровень потерь.

Авторы считают, что предлагаемая информация позволит специалистам предприятий более профессионально решать технические вопросы, связанные с обработкой проводов и присоединением их к контактам электрических соединителей.

Обработка проводов и кабелей

Обработка проводов и кабелей при присоединении их к устройствам коммутации, электрическим соединителям или другим радиоэлектронным компонентам в общем случае включает в себя такие технологические операции, как:

- размерная резка;
- зачистка изоляции;
- скручивание проволок в жиле провода;
- лужение жил провода;
- формование жгутов проводов, бандажирование и защита их от механических повреждений;
- маркирование жгутов проводов или отдельных проводов.

Для конкретных способов объемного монтажа (пайка, врезка, накрутка, обжимка, сварка и т. д.) перечень таких операций может уменьшаться или, наоборот, дополняться специфическими технологическими переходами. Так, например, для объемного монтажа методом врезки такие операции, как зачистка изоляции, скручивание проволок в жиле, лужение жил провода, не проводятся, но зато возникает необходимость в проведении таких операций, как рихтовка ленточного провода, обеспечение более высоких требований в части перпендикулярности поперечной отрезки ленточного провода и др.

Все процессы, связанные с обработкой проводов, можно разделить на следующие основные группы (рис. 1).

Ручная обработка проводов предусматривает применение ручного инструмента для резки, зачистки, лужения и маркировки проводов. Ручной инструмент представляет интерес при решении простых «штучных» задач, при этом нет жестких ограничений по качеству обработки проводов или их маркировке. Эти решения в основном используются для монтажных работ или обработки партий изделий небольшого объема. Преимущество таких решений — в простоте выполнения работ. Современный ручной инструмент позволяет работать с широчайшим спектром сечений и видов проводов и может выполнять специализированные, не поддающиеся автоматизации работы. Недостатками ручной обработки проводов является необходимость наличия высококвалифицированных специалистов и достаточно высокая «травматичность» метода для обрабатываемого провода. Кроме того, этот метод не позволяет выполнять большой

Таблица 1. Допустимое повреждение проволок в жиле провода после зачистки изоляции, в зависимости от класса электронного изделия, в котором они будут использоваться

Количество проволок в жиле	Максимально допустимое количество процарапанных, надрезанных или обрезанных проволок в жиле для классов 1 и 2	Максимально допустимое количество процарапанных, надрезанных или обрезанных проволок в жиле для класса 3 для проводов, которые не будут обслужены перед установкой	Максимально допустимое количество процарапанных, надрезанных или обрезанных проволок в жиле для класса 3 для проводов, которые будут обслужены перед установкой
Менее 7	0	0	0
7–15	1	0	1
16–25	3	0	2
26–40	4	3	3
41–60	5	4	4
61–120	6	5	5
121 и более	6	5	5

объем обработки или работать продолжительное время с заданным качеством.

Наиболее прогрессивным способом обработки проводов с точки зрения производительности труда и обеспечения требуемого качества является автоматическая обработка, которая предусматривает применение современных полуавтоматов и автоматов как для отдельных видов обработки, так и для комплексной обработки проводов.

Рассмотрим более подробно основные технологические операции, выполняемые при обработке проводов.

Размерная резка

Процесс отрезки провода должен выполняться таким образом, чтобы отрезанные провода имели установленный размер, а все жилы были одной и той же длины. Концы провода должны быть отрезаны перпендикулярно продольной оси провода, особенно это критично для плоских проводов при использовании монтажа методом врезки.

Резку проводов можно производить вручную или на специальном оборудовании, обеспечивающем размерную резку с выполнением требований, оговоренных выше. В современном производстве, при достаточно больших объемах применяется многофункциональное оборудование для обработки проводов, позволяющее производить их размерную резку, снятие изоляции (зачистку проводов), скрутку жил, лужение, а для плоских проводов — и их рихтовку.

Признанными лидерами изготовления оборудования для автоматической обработки проводов являются такие компании, как: KOMAX AG (Швейцария), Spectrum Technologies (Великобритания), Cosmic MCM (Япония), Zoller+Frohlich (Германия) и др.

Зачистка изоляции

Удаление изоляции с определенных участков проводов может производиться при помощи химической, термической, механической или других видов обработки. Каждый из перечисленных видов обработки имеет свои достоинства и недостатки и может стабильно гарантировать определенный уровень качества выполнения этой операции. В связи с этим прежде чем остановиться на конкретном виде обработки, необходимо определиться, в электронных изделиях какого класса будут использоваться соответствующие провода и кабели.

Повреждение жил проводов при зачистке изоляции приводит к ухудшению их рабочих характеристик. Количество поврежденных жил (процарапанных, с зарубками или обрезанных) в одном проводе не должно превышать определенных значений, установленных для конкретного класса электронных изделий (табл. 1).

Электронные изделия принято подразделять на три класса:

- Класс 1 — электронные изделия общего назначения. Этот класс включает продукцию, применяемую там, где главным требованием является функциональность выполненной электронной сборки.
- Класс 2 — электронные изделия специализированного сервиса. Включает продукцию, применяемую там, где требуется непрерывная работа и длительный срок службы изделия, и для которой желательным, но не критично не прерывающее работу обслуживание.
- Класс 3 — электронные изделия высокой эффективности. Включает продукцию, применяемую там, где непрерывное функционирование и срабатывание по запросу является весьма существенным, где не допускается сбоев, а условия эксплуатации являются чрезвычайно тяжелыми.

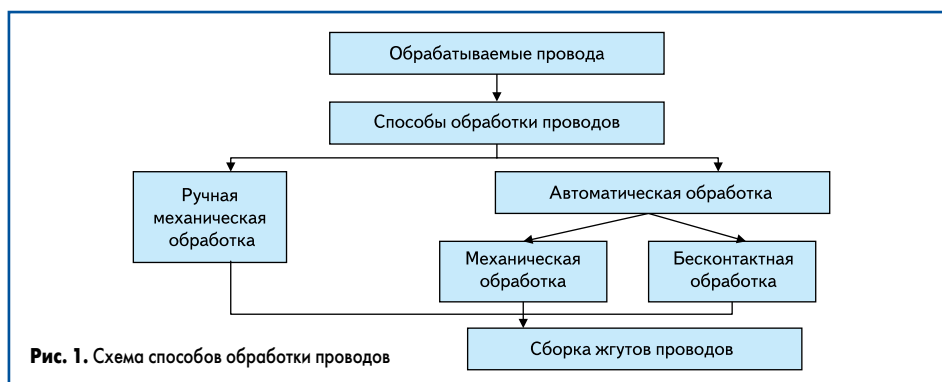


Рис. 1. Схема способов обработки проводов

В процессе зачистки изоляции необходимо максимально исключить повреждение проводов в жиле и их деформацию:

- Провода не должны иметь царапин, зарубок и задигов, превышающих допустимые пределы, не быть сплюснутыми и перерезанными.
- Жилы провода не должны быть раскручены, изогнуты и деформированы каким-либо другим образом.
- Жилы провода могут иметь разделение — «птичья клетка», но оно не должно превышать диаметра одной жилы и выходить за пределы внешнего диаметра изоляции провода.

Требования к изоляции после зачистки проводов

Изоляция на проводе должна быть обрезана аккуратно, без признаков сдавливания, вытягивания, растрескивания, изменения цвета, обугливания или обгорания. Допускаются легкие однородные следы на изоляции от захвата механическим устройством для ее снятия.

Химические растворы, пасты и кремы, используемые для снятия изоляции с твердых проводов, не должны вызывать деструкцию материала провода и должны быть полностью удалены с обрабатываемого провода.

Допускается легкое изменение цвета изоляции при термическом способе ее удаления, при условии отсутствия на ней следов обугливания, растрескивания и расслоений.

Под дефектами изоляции следует понимать:

- любые разрезы, трещины или обрывы изоляции;
- уменьшение более чем на 20% толщины изоляции (вследствие растяжения, пережатия или механического среза и т.д.);
- неровности или клочки изоляции при обрезке (прорывы, хвосты и обрывки) — более 50% от внешнего диаметра изоляции;
- обугливание изоляции.

Зачищенный участок провода должен быть чистым и не иметь никаких посторонних включений. В случае использования химического способа удаления изоляции (обычно этот способ применяется только для одножильных твердых проводов) химический реагент удаления изоляции должен быть нейтрализован.

Скручивание проволок в жиле провода

В процессе снятия изоляции в результате воздействия инструмента жилы провода претерпевают определенные деформации, что приводит к изменению их геометрических форм и размеров. Эти изменения проявляются в виде раскручивания проволок в жиле провода, их изгиба и других видов деформаций. Величина этих изменений в дальнейшем определяет возможность качественного монтажа провода на хвостовики контактов электрических соединителей.

В случае превышения допустимых значений отклонений по форме зачищенных участков проводов необходимо проводить их правку, в частности скручивание «распушенных» проволок в жиле. Операция «скручивания» про-

волока в жиле провода проводится в основном для проводов, предназначенных для лужения с последующей их пайкой либо механическим закреплением в контактных колодках или других электротехнических устройствах.

При закреплении проводов на контактах электрических соединителей методом «обжимки» не допускается скручивание жил, так как возможно перерезание проводов обжимными лапками. В этом случае обязательным условием является параллельное расположение проволок в жиле провода, то есть вдоль его оси.

Операция скручивания проволок в жиле провода может производиться после зачистки изоляции или одновременно со снятием изоляции вручную или на специальном оборудовании.

Если после зачистки провода необходима операция по скрутке жилы для дальнейшей пайки, то для решения этой задачи можно использовать машину Cosmic 927 R. Эта машина оснащена вращающейся ножовой головкой, которая обеспечивает прорезание изоляции по всей окружности, снижая тем самым сопротивление отрыва при ее стягивании. При включении функции скрутки во время стягивания изоляции головка продолжает вращаться вместе со снимаемым кембриком изоляции, который и подкручивает жилу, не повреждая ее. Усилие скрутки можно изменять путем регулирования усилия прижима специальных пластин, установленных на головке.

Лужение жил проводов

Для монтажа блоков РЭА и организации проводных систем изделий в основном применяются провода и кабели с медными жилами. Согласно действующей НТД концы проводов перед присоединением к радиоэлектронным компонентам и устройствам коммутации должны быть подвергнуты лужению.

Действующий стандарт ОСТ 4 ГО.054.089 «Узлы и блоки радиоэлектронной аппаратуры. Пайка монтажных соединений» устанавливает типовые технологические процессы лужения и консервации монтажных элементов проводов, а также определяет технические требования к качеству проведения этих работ.

Луженая поверхность концов многожильных проводов и кабелей должна быть скелетной без избытка припоя с видимым контуром отдельных жил.

Луженые поверхности, не соответствующие по качеству требованиям НТД, допускается повторно лудить вручную электропаяльником или механизированно по типовым технологическим процессам.

При лужении проводов вручную электропаяльником или погружением в ванну с припоем длительность процесса не должна превышать 5 секунд. В обоих случаях перед лужением зачищенные концы проводов необходимо флюсовать погружением в ванну с флюсом.

Поверхность припоя на облуженных участках должна быть непрерывной, без трещин, пор, грубой зернистости, посторонних и крупных игольчатых включений, наплавов высотой более 0,3 мм и острых выступов припоя в виде сосулков и перемычек.

Лужение проводов перед пайкой должно производиться предпочтительно теми же припоями, что и последующая пайка. Величину требуемой температуры лужения следует устанавливать для каждой марки припоя из следующего соотношения:

$$t_d = t_{н.к} + (40 \div 80), \quad (1)$$

где t_d — температура лужения, °С; $t_{н.к}$ — температура начала кристаллизации припоя, °С.

На рабочих стержнях монтажных электропаяльников температуру лужения, полученную по формуле (1), допускается увеличивать на 20...40 °С, если в технических условиях (ТУ) на провод нет ограничений по теплостойкости изоляции в заданных пределах.

На луженых концах монтажных проводов, предназначенных для длительного хранения, должно быть нанесено консервирующее покрытие, предохраняющее их от окисления. Консервирующее покрытие луженых участков проводов должно быть непрерывным без непокрытых участков, отслоений, вспучиваний, пор, трещин и посторонних включений. После длительного хранения луженых проводов перед их использованием необходимо перепроверить их на паяемость, в соответствии с требованием НТД.

В случае ухудшения паяемости проводов они должны подвергаться повторному лужению.

Формование жгутов проводов и защита их от механических повреждений

Проводные электрические цепи в изделиях конструктивно выполняются в виде отдельных проводов или проводных жгутов.

Проводной жгут представляет собой определенный набор проводов и кабелей различных длин и сечений, сформованных в соответствии с функциональным назначением и защищенных от механических повреждений оболочками с нанесением в требуемых местах бандажом. В зависимости от конструкции проводной жгут может иметь необходимое количество ответвлений, на которых устанавливаются электрические соединители, коммутирующие устройства или отдельные радиоэлектронные компоненты.

Формование проводных жгутов производится на специальных стендах в соответствии с заданной электромонтажной схемой с применением необходимых проводов и радиоэлектронных компонентов.

Одним из самых трудоемких этапов формирования жгутов проводов является бандажирование и защита от механических повреждений по всей длине жгута или отдельных его участников. Обычно в качестве материала для этого используются изоляционные ленты на тканевой или полихлорвиниловой основе. При малых объемах работ эти операции производят вручную или с использованием ручных лентообмотчиков типа Hand Taper и устройств бандажирования Onda Spot немецкой фирмы Ondal. При помощи этих устройств легко и быстро удается

обвязать жгут проводов и наложить бандаж в заданных местах.

Для обмотки плоского кабеля или шлейфа приемлемым решением является машина Flat Bundler. В данном случае бандажная лента может применяться в качестве дополнительной механической или электрической защиты, а также для закрепления изгибов, создания ответвлений или обвязки плоских параллельных кабелей.

Контроль качества изготовления жгутов проводов и присоединения к ним устройств коммутации, электрических соединителей и других электронных компонентов производится как в процессе изготовления, так и на этапе конечной приемки, методами неразрушающего и разрушающего контроля. Основными из них являются:

- Внешний осмотр — осмотр и измерения с применением в необходимых случаях специальных методов для выявления в жгутовых сборках отклонений, дефектов и повреждений.
- Протого жгутовых сборок на наличие короткого замыкания. Этот метод является низковольтным испытанием, применяемым для обнаружения непредусмотренных соединений.
- Тестирование сопротивления изоляции — это испытание высоким напряжением. Используется для проверки сопротивлений, оказываемых изоляционными материалами. Несоответствие фиксируется тогда, когда значение измеряемого сопротивления меньше заданного или когда испытательное оборудование выявляет электрический разряд. При выполнении испытаний жгутов на сопротивление изоляции длительность тестирования может быть сокращена до достижения установленного режима тока. При использовании испытательного напряжения по постоянному току для тестирования электропрочности изоляции может одновременно измеряться и сопротивление изоляции. Если оба испытания — на электропрочность и сопротивление изоляции жгутов — выполняются независимо, то тестирование сопротивления изоляции должно проводиться после проверки на электропрочность.
- Проверка жгута на правильность сборки. При тестировании правильности сборки проверяется наличие электрических сигналов между конкретными точками на соответствие сборочному чертежу или описанию схемы. Эти тесты выполняются с применением специальных стендов для проверки жгутов на правильность сборки. Как правило, это прозвоночные стенды с вычислителем, который программируется на определенный алгоритм выполнения теста. Тест на правильность сборки обычно является итоговым тестом, по его результатам производится оценка жгута проводов на соответствие НТД.

Маркировка проводов

Начиная с 1940-х годов до сегодняшнего дня основным направлением модернизации проводов является снижение их веса. При этом остаются общие требования к увеличению

срока службы проводов при росте интенсивности их эксплуатации. В 1940–1950-х годах в РЭА использовались провода с большим диаметром токоведущей жилы и изоляции. Но с усовершенствованием медного сплава и изоляционных материалов к 1990-м годам удалось получить провода, которые составляли примерно 30% от веса аналогов старых проводов. Это очень важно для авионики и проводных систем летательных аппаратов.

В современной РЭА, и особенно в РЭА и проводных системах аэрокосмической отрасли, где каждый присоединяемый провод должен быть промаркирован, необходимо обеспечить нанесение качественной маркировки в необходимом объеме. Учитывая тенденцию к постоянному уменьшению диаметров, а соответственно, и площадей под маркировку, задача нанесения качественной маркировки становится все более сложной.

Традиционные методы маркировки проводов и кабелей — маркировка на трубках (на провод в необходимых местах устанавливаются отрезки пластмассовых трубок с нанесенной маркировкой), струйный метод, термотиснение (вжигание цветной фольги в изоляцию провода) и даже более совершенный метод маркировки ИК-лазером. Но все они не обеспечивают требуемого качества по четкости, стойкости к истиранию, электропрочности изоляции после маркировки и других параметров.

Альтернативной технологией маркировки проводов в настоящее время является решение, найденное исследовательской группой доктора П. Дикинсона в 1987–1989 гг. Это ультрафиолетовая (УФ) лазерная маркировка проводов и кабелей.

УФ лазерная маркировка устойчива к истиранию, действию очищающих растворителей, УФ-свету и высоким температурам. При этом новая технология — экологически чистый процесс, не нарушающий целостности изоляции провода. УФ лазерная маркировка применима к одиночным проводам, мультикабелям, витой паре, оптическим кабелям и многим другим видам кабелей. Эта технология основывается на взаимодействии УФ-лазера с диоксидом титана (TiO_2), который является добавкой во многих видах изоляции проводов. УФ-лазер меняет структуру диоксида титана, изменяя его цвет с белого на темно-синий. При этом в месте маркировки изоляция не утоньшается, не выжигается, не изменяются ее диэлектрические и прочностные характеристики: изменяется только ее цвет на глубину до 20 мкм.

Исключение составляет провода с ЭТФЭ (этилентетрафторэтилен) изоляцией. Однако и эти провода могут быть промаркированы по УФ лазерной технологии. В данном случае меняется только физика процесса: лазер как бы вспенивает верхний слой изоляции и одновременно меняет ее цвет. Высокое качество маркировки достигается за счет регулирования мощности УФ-излучения, при этом максимальная его мощность не превышает 1 Дж/см².

На базе этой технологии созданы различные модели установки для маркирования проводов УФ-лазером.

Программное обеспечение для управления оборудованием УФ лазерной маркировки создано на базе Windows и предоставляет возможность импорта-экспорта рабочих файлов из сети, используя простой для работы стандартный формат Excel.

Основные способы присоединения проводов к хвостовикам контактов электрических соединителей

Существуют различные способы присоединения проводов к хвостовикам электрических контактов: пайка, контактная, ультразвуковая и лазерная сварка, накрутка, холодная обжимка, врезка и др.

В зависимости от предъявляемых технико-экономических требований может применяться тот или иной способ присоединения проводов, так как каждый из них имеет свои особенности и обеспечивает определенный уровень надежности.

Присоединение проводов пайкой

В настоящее время пайка остается одной из определяющих технологий в производстве РЭА. Электронные устройства становятся все более интегрированными. Их габариты уменьшаются, соответственно, постоянно уменьшаются размеры контактных пар и расстояний между ними. Кроме того, во всем мире реализуется директива RoHS и продолжают поиски оптимальных составов бессвинцовых припоев. Все эти новые требования предусматривают дальнейшее совершенствование технологий пайки.

Основные методы пайки — это пайка волной припоя, оплавление припоя в конвекционных печах, ручная пайка и др.

Большинство компонентов может быть установлено и запаяно в конвекционных паяльных печах, но некоторые компоненты с нестандартной или сложной формой приходится паять вручную. К ним в большинстве своем относятся и электрические соединители, которые не выдерживают длительного нахождения при высокой температуре в конвекционных печах.

Для увеличения производительности при подпайке проводов целесообразно применять роботы. Технология работы паяльных роботов-автоматов — это, по сути, расширенная методика ручной пайки.

Когда паяльнику становится слишком «тесно» и присоединяемые выводы и провода имеют очень малые сечения, необходимо применять лазерную пайку. Преимущество лазерного метода пайки перед традиционными — это бесконтактный нагрев и отсутствие паяльных жал, которые требуют частой замены. Сегодня минимальная точка пайки при лазерном нагреве составляет 0,1 мм, что позволяет без проблем подпаивать провода малого сечения к хвостовикам контактов соединителей с малым шагом.

Так как при лазерной пайке время разогрева припоя мало, то минимально и термическое воздействие на контакты, а соответственно, и на изоляторы электрических соединителей.

Этот метод пайки не требует очистки и смены жала паяльника, что обеспечивает высокое качество выполняемой работы. Реализуется и невозможный прежде бесконтактный контроль температуры поверхности при пайке.

Необходимо отметить, что, кроме указанных выше, существуют и другие способы нагрева припоя, такие как нагрев световым пучком, импульсный нагрев и нагрев горячим воздухом (газом).

Присоединение проводов ультразвуковой сваркой

Присоединение проводов к радиоэлектронным компонентам методом ультразвуковой сварки является одним из прогрессивных способов монтажа. Он позволяет исключить применение припоев, интенсивного нагрева и использовать радиоэлектронные компоненты после длительного хранения без применения дополнительных операций по очистке присоединяемых поверхностей.

Присоединение различных видов проводов к хвостовикам контактов, выполняемое ультразвуковой микросваркой, протекает в твердой фазе без образования литого ядра. Для такого вида сварки характерна трехступенчатая кинетика процесса:

- образование физического контакта между соединяемыми поверхностями контакта и присоединяемого провода;
- активация соприкасающихся поверхностей;
- объемное развитие взаимодействия между контактом и присоединяемым проводом.

При формировании сварного соединения прижатые друг к другу поверхности начинают контактировать в точках касания. В начальный момент фактическая площадь касания значительно меньше номинальной площади контакта. Дальнейшая знакопеременная деформация, инициированная УЗ-колебаниями сварочного инструмента, приводит к увеличению числа пятен касания и превращению их в узлы схватывания. Сила сцепления двух металлических поверхностей, прижатых друг к другу с определенным удельным давлением, зависит от величины деформации и пропорциональна суммарной площади пятен касания. На реальных контактирующих поверхностях размеры пятен зависят от волнистости (макрорельефа) и шероховатости (микрорельефа) поверхностей. По мере увеличения сжимающих усилий происходит увеличение упругой деформации выступов микрорельефа, и все большее их количество входит в соприкосновение. Дальнейшее увеличение нагрузки приводит к пластической деформации контактирующих выступов и к упругой деформации более низких выступов. Сближение абсолютно чистых металлических поверхностей приводит к образованию атомарных металлических связей в плоскости контакта и релаксации напряжений в окружающем микрообъеме сварной зоны.

Образующийся сварной шов имеет мелкодисперсную структуру, так как механическая деформация, вызываемая УЗ-энергией, приводит к измельчению и перемешиванию поверхностных зерен. Наличие оксидов на контактирующих поверхностях не препятствует

возникновению металлических связей, так как под воздействием ультразвуковых колебаний происходит диспергирование оксидных пленок, слоев адсорбированной влаги и других поверхностных загрязнений. Более твердая оксидная пленка растрескивается под воздействием направленных УЗ-колебаний. Осколки пленки, слои адсорбированной влаги и другие загрязнения вытесняются из зон схватывания, преобразуя их в участки металлического контакта.

Чем больше доля упругой составляющей в общей упругопластической деформации, тем меньше сила сцепления соединяемых материалов, и наоборот.

Для формирования надежного сварного соединения необходимо точно дозировать УЗ-энергию за счет продолжительности и мощности сварного импульса. На качество УЗ-сварки значительное влияние оказывает жесткость закрепления свариваемых элементов в момент сварки. Флуктуация жесткости закрепления приводит к нестабильности воздействия УЗ-энергии в зоне сварки, что в конечном счете снижает качество сварки. (Под флуктуацией в данном случае понимается самопроизвольное изменение жесткости соединения свариваемых деталей.)

Присоединение проводов методом накрутки

Присоединение проводов к хвостовикам контактов методом накрутки было применено в США в начале 1950-х годов. Суть этого метода заключается в навивке неизолированного участка одножильного провода с определенным усилием на хвостовик контакта, имеющего острые кромки. Электрическое соединение в данном случае возникает в зонах контакта присоединяемого провода с острыми кромками вывода. Натяжение в проводе при накрутке позволяет разрушить пленку оксидов на контактирующих металлах, способствует врезанию провода в острые кромки вывода контакта и образованию газонепроницаемого соединения. Возможно также соединение накруткой при применении провода с тонкой изоляцией без ее снятия. В данном случае изоляция прорезается острыми кромками вывода и обеспечивается надежный электрический контакт. Накрутка проводов на хвостовики контактов производится специальными приспособлениями вручную или на специальных станках.

На один хвостовик допускается производить от одной до трех накруток, но при этом необходимо учитывать, что каждая из последующих накруток ослабляет предыдущую на 10–15%.

Основными достоинствами данного метода присоединения проводов являются:

- исключение нагрева контакта и присоединяемого провода;
- отсутствие необходимости применения припоев и флюса;
- повышенная надежность соединений по сравнению с паяными при механических и климатических воздействиях;
- низкие временные затраты монтажа;
- благоприятные условия для автоматизации процесса.

В качестве провода для накрутки обычно используется одножильный луженый медный провод с относительным удлинением не менее 20%. Для контактов, предназначенных под накрутку, применяют латунь, бериллиевую или фосфористую бронзу с золотым или серебряным покрытием.

Согласно проведенным исследованиям для обеспечения надежного контакта при присоединении проводов методом накрутки необходимо иметь не менее 16–20 контактных точек в зависимости от диаметра провода, следовательно, на вывод должно быть навито не менее 4–6 витков. Соединение, состоящее из 4–6 витков луженого медного провода, навитого на вывод контакта из фосфористой бронзы с золотым или серебряным покрытием, имеет номинальное сопротивление 0,001–0,003 Ом. После проведения всего цикла электрических, механических и климатических испытаний оно увеличивается не более чем на 0,001 Ом. Переходное сопротивление контакта в накрутке составляет 0,0004–0,0008 Ом. Срок службы соединения накруткой при нормальных климатических воздействиях составляет не менее 15–20 лет, что примерно соответствует гарантийному сроку наработки основной группы электрических соединителей.

Накрутка широко используется для реализации переменной части монтажа, когда нужно создать модификации блоков за счет дополнительных электрических соединений. Соединения накруткой хорошо сочетаются с технологией запрессовки контактных штырей в отверстия контактных плат. Тогда монтаж электрической схемы может производиться вообще без пайки и сварки.

При присоединении проводов накруткой применяют в основном три вида соединений (рис. 2):

- обычное (немодифицированное);
- модифицированное;
- бандажное.

Немодифицированное соединение получают путем навивки на вывод неизолированного участка одножильного провода. Модифицированное соединение отличается от немодифицированного наличием 1–2 витков изолированного провода. Изоляция снижает вероятность поломки первого витка провода при механических нагрузках за счет уменьшения напряжений в точках контакта. Однако

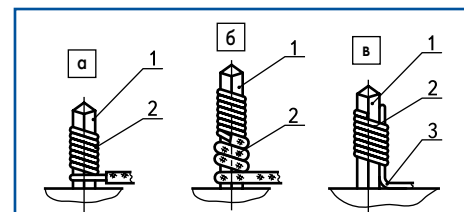


Рис. 2. Виды присоединения монтажных проводов к выводам контактов методом накрутки:
а) немодифицированное;
б) модифицированное;
в) бандажное:
1 — вывод хвостовика электрического контакта;
2 — проводник;
3 — бандажируемый элемент

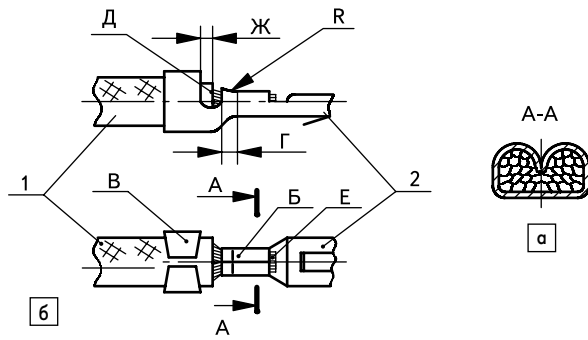


Рис. 3. Общий вид контакта, обжатого на проводе, и сечение контакта (б) вместе с жилой (а):

1 — монтажный провод; 2 — контакт; Б — обжимные «лапки» жилы провода; В — обжимные «лапки» изоляции провода; Г — радиусный переход «лапок» жилы провода; Д — край изоляции провода; Е — край жилы провода; Ж — расстояние между концом зачистки провода и обжимными «лапками» изоляции

габариты такого соединения увеличиваются, и когда шаг между выводами у соединителей становится менее 2,5 мм, применение модифицированного соединения затрудняется.

Бандажное соединение состоит из вывода электрического контакта, бандажируемого элемента и 4–6 витков бандажного провода. Это соединение рекомендуется для присоединения к выводам соединителя навесных элементов и при использовании для монтажа многожильных проводов, не пригодных к накрутке.

Присоединение проводов методом холодного обжима

За последние десятилетия наработан огромный класс соединителей, в котором для присоединения монтажных проводов к выводам контактов используется технология холодного обжима. Установлено, что этот метод присоединения проводов не уступает по качеству пайке, а в ряде случаев является и наиболее эффективным методом присоединения. Очевидны преимущества обжима перед пайкой, процесс которой для соединения одного контакта с проводом может занимать около минуты и требует дополнительных расходов на материалы для пайки. Также при использовании миниатюрных контактов и, соответственно, проводов малого сечения точная, аккуратная и качественная пайка становится практически ювелирной работой. Ее могут выполнять только специалисты с высокой квалификацией. При большой серийности этот метод не эффективен, крайне трудоемок, дорог и часто на выходе характеризуется большим процентом брака.

Технология холодного обжима (порой ее называют опрессовкой) позволяет контролировать качество каждого соединения, поэтому даже в аппаратуре специального назначения и в авиации опрессовка вытесняет пайку.

Принцип присоединения проводов к хвостовикам контактов методом опрессовки состоит в обжатии зачищенного участка провода обжимными «лапками» контакта и в дополнительном креплении изолированного участка провода второй парой обжимных «лапок» контакта (рис. 3). Дополнительное крепление провода на изолированном участке предохраняет присоединенный к контакту провод от резких перегибов и разрушений.

Опрессовка контактов, как правило, производится до их набора в изолятор электрического соединителя.

Для опрессовки контактов могут применяться как ручные приспособления, так и полуавтоматы и автоматы. Применение того или иного оборудования зависит от объемов производства и возможностей конкретного предприятия.

Оценка качества присоединения многожильного провода к хвостовику контакта, выполненного по технологии «холодного обжима», производится различными методами, но на практике в основном используют визуальный метод контроля с набором определенных испытаний и метод вычисления «компрессии».

Визуальный контроль сводится к сравнению полученного обжатого контакта с эталоном и проведению испытаний, таких как измерение падения напряжения соединения «контакт — жила», усилия отрыва контакта от провода, испытание на скручивание провода относительно хвостовика контакта и другие испытания, в зависимости от условий эксплуатации соединения в составе РЭА.

При подготовке к проверке контакта, обжатого на проводе, производится распил места соединения жилы провода с хвостовиком контакта перпендикулярно жиле и травление полученного среза (рис. 3).

Рассмотрим требования, которые необходимо выполнить при правильной опрессовке контакта (табл. 2).

Метод вычисления «компрессии» заключается в сравнении площади сечения провода до опрессовки и после, при этом мы получаем количественный коэффициент, который можно сравнить со значениями, обозначенными в требованиях документов, регламентирующих качество. С помощью специального оборудования вычисляется площадь распределения жил в контакте и сравнивается с площадью жилы до опрессовки по формуле:

$$S_1 N / S_2 \rightarrow 1, \quad (2)$$

где S_1 — площадь сечения проволоки жилы; S_2 — площадь сечения жилы в контакте после опрессовки; N — количество проволок в жиле.

Таблица 2. Требования к опрессовке контакта

	Расстояние (k) между лепестками жилы должно быть не менее половины толщины материала контакта (S)
	Опрессовка должна быть симметричной. Проволоки жилы должны быть равномерно распределены, их сечение после опрессовки должно иметь шестиугольную форму. Расстояние между концами обжимных «лапок» жилы (l) должно быть меньше, чем половина толщины материала контакта (S)
	Расстояние между обжимными «лапками» жилы (m) должно быть меньше, чем половина толщины материала (S)
Рис. 3	Минимальное расстояние ($Ж$) между концами зачистки провода и обжимными «лапками» изоляции должно быть меньше 1 мм. При соблюдении этого условия радиусный переход на «лапках» жилы будет находиться ближе к «лапкам» изоляции

В идеальном случае коэффициент должен быть равен единице. Если коэффициент больше единицы, то это свидетельствует о том, что жила «пережата» и, возможно, имеется разрушение контакта. Если коэффициент меньше единицы, то очевидно, что в соединении «провод — контакт» присутствуют пустоты и, следовательно, будет возникать повышенное переходное сопротивление, со всеми вытекающими последствиями.

Качество опрессовки зависит от многих факторов и в первую очередь от следующих:

- точность изготовления обжимных «лапок» монтажной части контакта;
- марка и качества материала контакта;
- соответствие размеров присоединяемого провода размерам монтажной части контакта;
- точность применяемого инструмента — матриц и пуансонов жилы и изоляции;
- соответствие технологической точности и возможности обеспечения необходимой регулировки величины хода рабочих элементов прессы и усилия прессования.

Присоединение проводов методом врезки

Соединители серии IDC (Insulation Displacement Contact) впервые стали применяться в электронике. Идея «прорезных» контактов нашла свое практическое воплощение, и соединители этой серии сейчас широко применяются в радиоэлектронике, особенно для присоединения многожильных проводов (ленточных кабелей).

Технология присоединения проводов методом врезки является наиболее прогрессивным способом присоединения проводов к выводам контактов по сравнению с другими существующими способами. Этот способ не требует зачистки проводов и позволяет без применения теплового воздействия, лазерного излучения или ультразвука присоединять одновременно необходимое количество проводов, в зависимости от контактности соединителя. Это экологически чистый и малозатратный способ.

Суть данной технологии состоит в прокалывании незачищенного многожильного провода хвостовиками контактов специальной конструкции (рис. 4).

Критерием оценки качества монтажа соединителей на ленточный кабель методом врез-

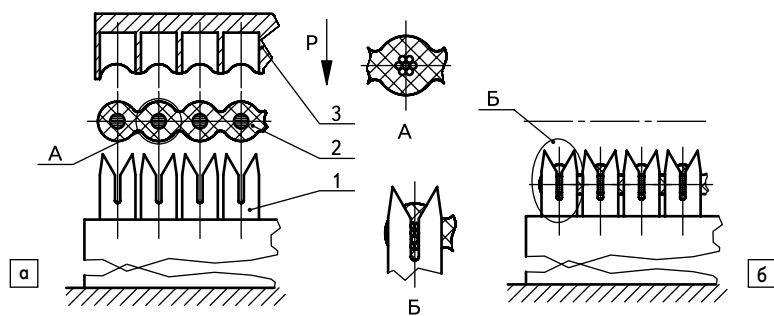


Рис. 4. Монтаж ленточного кабеля на хвостовики контактов методом врезки:

а) установка ленточного кабеля на хвостовики контактов до врезки:

1 — хвостовик контакта; 2 — ленточный кабель (плоский кабель);
3 — планка соединителя, с помощью которой досылается плоский кабель на хвостовики контактов;

б) запрессованный кабель на хвостовики контакта:

А — вид жилы кабеля до запрессовки; Б — вид запрессованной жилы кабеля на хвостовик контакта

ки служат определенные в ТУ значения переходного сопротивления «кабель — контакт» и отсутствие потери контакта при воздействии предельно допустимых механических и климатических воздействий.

Для повышения надежности соединения «ленточный кабель — электрический соединитель» (особенно это актуально для подвижных соединений) в конструкции электрических соединителей предусматривается дополнительное крепление ленточного кабеля. Конструктивно оно выполняется в виде крепежной планки, с помощью которой создается петля ленточного кабеля, снимающая механические нагрузки с места запрессовки кабеля в хвостовики контактов (рис. 5).

Заключение

Обеспечение высокого качества выпускаемой продукции, снижение трудоемкости, поиск современных решений механизации и автоматизации технологических процессов — важнейшие задачи любого производства.

Обработка проводов и последующее изготовление кабельных сборок и сложных жгутов, которые предусматривают в своем составе электрические соединители, относятся к типу производств, которым свойственно большое количество трудоемких технологических процессов. От их качественного выполнения в конечном счете зависит надежная работа РЭА и оснащенных ею изделий.

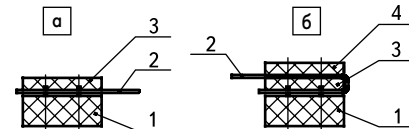


Рис. 5. Варианты крепления ленточного кабеля:

а) без дополнительного крепления;

б) с дополнительным креплением:

1 — изолятор с контактами; 2 — ленточный кабель;
3 — прижимная планка; 4 — дополнительная планка

Необходимо отметить, что внедрение новых технологий обработки проводов и присоединения их к выводам электрических контактов требует регулярного повышения уровня квалификации и знаний в этой области. Это подтверждает и опыт работы ФГУП «Карачевский завод «Электродеталь» с предприятиями, начинающими применять электрические соединители с современными способами присоединения проводов к контактам, такими как контактная сварка, накрутка, холодная обжимка, врезка и др.

У специалистов этих предприятий возникает много вопросов по технологии присоединения проводов, некоторые предприятия даже оформляют разрешения на присоединение проводов методом пайки вместо вышеуказанных способов.

Использование изложенной в статье информации и практических рекомендаций по технологии обработки и присоединению проводов поможет решить многие технологические проблемы, возникающие на производстве.

Литература

1. ОСТ 4. ГО. 054.089. Узлы и блоки электронной аппаратуры. Пайка монтажных соединений. Типовые технологические процессы.
2. Сафонов Л., Сафонов А. Электрические прямоугольные соединители. Рекомендации по практическому применению в РЭА электрических соединителей // Компоненты и технологии. 2007. № 5.
3. Сафонов Л., Сафонов А. Электрические прямоугольные соединители. Общие принципы организации и технологии испытаний электрических соединителей // Компоненты и технологии. 2008. № 7.
4. Сафонов Л., Сафонов А. Электрические прямоугольные соединители. Отмывка луженых и паяных контактов. Оценка качества паяемости // Компоненты и технологии. 2010. № 2.
5. Сафонов Л., Сафонов А. Электрические прямоугольные соединители. Современное состояние и перспективы развития отечественного производства прямоугольных электрических соединителей // Компоненты и технологии. 2009. № 4.
6. Сафонов Л., Сафонов А. Электрические прямоугольные соединители. Лазерная маркировка электрических соединителей // Компоненты и технологии. 2010. № 4.