

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Н.П. Калиниченко, М.О. Викторова

АТЛАС ДЕФЕКТОВ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

*Рекомендовано в качестве учебного пособия
Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета*

Издательство
Томского политехнического университета
2012

УДК 621.791.3(075.8)
ББК 30.61я73
К17

Калиниченко Н.П.

К17 Атлас дефектов паяных соединений: учебное пособие / Н.П. Калиниченко, М.О. Викторова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 83 с.

В пособии представлены фотографии дефектов паяных соединений; приведена информация о причинах образования дефектов, путях их предотвращения и способах устранения; рассмотрен перечень НТД, регламентирующий контроль качества паяных соединений.

Предназначено для студентов направления 200100 «Физические методы и приборы контроля качества и диагностики», а также может быть полезно для персонала, сертифицирующегося на I и II уровень квалификации по визуальному и измерительному методу контроля.

УДК 621.791.3(075.8)
ББК 30.61я73

Рецензенты

Кандидат технических наук
директор ООО «АРЦ НК»
М.М. Коротков

Кандидат технических наук
директор ООО «СКАН-КОНТРОЛЬ»
Ф.М. Завьялкин

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2012
© Калиниченко Н.П., Викторова О.М., 2012
© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----------|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 5 |
| 1. ПЕРЕЧЕНЬ НТД, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ | 6 |
| 1.1. ГОСТ 17325–79. Пайка. Термины и определения..... | 6 |
| 1.2. ГОСТ 19249–73. Соединения паяные. Основные типы и параметры | 6 |
| 1.3. ГОСТ 20485–75. Пайка. Методы определения затекания припоя в зазор | 6 |
| 1.4. ГОСТ 23904–79. Пайка. Метод определения смачивания материалов припоями | 7 |
| 1.5. ГОСТ 24715–81. Соединения паяные. Методы контроля качества..... | 7 |
| 1.6. ГОСТ 26126–84. Контроль неразрушающий. Соединения паяные. Ультразвуковые методы контроля качества..... | 7 |
| 1.7. ГОСТ 27947–88. Контроль неразрушающий. Рентгенотелевизионный метод. Общие требования | 8 |
| 1.8. ГОСТ 28830–90. Соединения паяные. Методы испытаний на растяжение и длительную прочность | 8 |
| 2. МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ БЛОКОВ | 9 |
| 2.1. Контроль электронных компонентов перед монтажом электронных блоков..... | 9 |
| 2.2. Контроль печатных плат перед монтажом электронных блоков | 9 |
| 2.3. Контроль качества нанесения паяльной пасты | 11 |
| 2.4. Визуальный контроль в процессе монтажа | 11 |
| 2.5. Рентген-контроль | 11 |
| 2.6. Автоматический оптический контроль | 14 |
| 2.7. Оптический и рентгеновский контроль печатных плат при помощи одной системы | 15 |
| 2.8. Контроль качества отмытки | 18 |
| 2.9. Функциональный контроль | 18 |
| 2.10. Методы неразрушающего контроля качества паяных изделий..... | 18 |

| | |
|---|-----------|
| 3. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПАЯНЫХ ЕДИНИЦ..... | 31 |
| 3.1. Дефекты паяных соединений | 40 |
| 3.2. Дефекты паяных соединений, выявляемые визуальным и измерительным методом контроля..... | 44 |
| 3.2.1. Дефекты трафаретной печати..... | 44 |
| 3.2.2. Дефекты пайки оплавлением: Шарики припоя | 47 |
| 3.2.3. Дефекты пайки оплавлением: отсутствие смачивания | 50 |
| 3.2.4. Дефекты пайки оплавлением: отсутствие паяного соединения | 52 |
| 3.2.5. Дефекты пайки оплавлением: перемычки и пустоты..... | 55 |
| 3.2.6. Дефекты пайки оплавлением: повреждение компонентов и паяных соединений..... | 59 |
| 3.2.7. Дефекты пайки оплавлением: дефекты компонентов в корпусах BGA | 63 |
| 3.2.8. Дефекты пайки оплавлением: пустоты в шариковых выводах BGA | 69 |
| 3.2.9. Дефекты паяных соединений | 70 |
| 3.2.10. Дефекты, чаще всего встречающиеся при осуществлении электрического монтажа компонентов..... | 74 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | 82 |

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для выявления дефектов используют различные виды неразрушающего контроля, и среди них важное место занимает визуальный и измерительный контроль (ВИК), который проводится, как правило, первым среди других методов контроля. Визуальный и измерительный контроль выполняется на стадиях входного контроля основного материала (полуфабрикатов, заготовок, деталей) и паяных соединений, изготовления (ремонта, монтажа) деталей, сборочных единиц и изделий, а также при техническом диагностировании состояния материала. При этом крупные дефекты могут быть выявлены без применения вспомогательных средств. Мелкие дефекты и подозрительные места, выявленные визуально, более детально исследуются другими методами НК.

Основополагающим документом по ВИК является «Инструкция по визуальному и измерительному контролю», которая была переиздана в 2003 году (РД 03-606).

Специалистам, проводящим неразрушающий контроль, приходится сталкиваться со многими аспектами проблем поиска дефектов. Эти работники часто не получают соответствующих знаний в институтах или других учебных заведениях. В итоге им приходится постигать основы визуального и измерительного контроля в процессе своей трудовой деятельности. Дефектам сварных соединений в печати посвящено значительное внимание, а методическим вопросам по теории и практике контроля паяных соединений явно недостаточно.

При сдаче практического экзамена по ВИК специалисты должны показать свои умения по выявлению различного рода дефектов в предлагаемых образцах. Такая же задача стоит и перед студентами кафедры ФМПК Томского политехнического университета при изучении этого метода.

Таким образом, целью данной работы является разработка и составление атласа дефектов паяных соединений, содержащего более полное их графическое представление, причины образования и методы предотвращения и устранения.

1. ПЕРЕЧЕНЬ НТД, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

1.1. ГОСТ 17325–79. Пайка. Термины и определения

Настоящий стандарт устанавливает применяемые в науке, технике и производстве термины и определения основных понятий в области пайки и лужения металлов и неметаллических материалов.

1.2. ГОСТ 19249–73. Соединения паяные. Основные типы и параметры

С целью унификации паяных сборочных единиц, установления норм и требований к паяным изделиям разработан стандарт ГОСТ 19249–73 «Соединения паяные. Основные типы и параметры». Стандарт определяет конструктивные параметры паяного соединения, его условные обозначения, содержит классификацию основных типов соединений. В приложении к стандарту даны величины сборочных зазоров. Стандарт является основанием для унификации конструкторской и технологической документации еще на стадии создания паяного изделия. С этой стадии начинается и контроль качества пайки. В производстве высокий уровень качества продукции должен обеспечиваться начиная от заготовки и кончая контролем готовых изделий. При этом переход к массовому производству продукции не должен вести к снижению качества. Еще на стадии разработки изделия ОТК должен принимать участие в создании изделия. Технологическая документация на пайку, согласованная с заказчиком, должна отражать критерии неразрушающих и разрушающих методов контроля.

1.3. ГОСТ 20485–75. Пайка. Методы определения затекания припоя в зазор

Стандарт устанавливает метод определения затекания припоя: горизонтального – по коэффициенту заполнения и коэффициенту пористости, вертикального – по высоте подъема.

1.4. ГОСТ 23904–79. Пайка. Метод определения смачивания материалов припоями

Настоящий стандарт распространяется на метод определения смачивания материалов припоями по краевому углу смачивания и площади растекания, начальной скорости смачивания и времени растекания (для припоев с $T_{пл} \leq 723$ К).

Стандарт применяют для оценки совместимости материалов при пайке, разработке технологического процесса пайки и оптимизации его параметров, а также при разработке новых припоев и флюсов.

1.5. ГОСТ 24715–81. Соединения паяные. Методы контроля качества

Настоящий стандарт распространяется на основные типы паяных соединений, выполненных по ГОСТ 19249–73 всеми способами пайки.

Стандарт устанавливает методы контроля качества паяных соединений с целью обнаружения поверхностных, внутренних и сквозных дефектов.

Выбор метода или комплекса методов контроля для обнаружения дефектов паяных соединений следует проводить в соответствии с требованиями, предъявляемыми к качеству паяных соединений стандартами, техническими условиями и чертежами, утвержденными в установленном порядке, и с учетом размеров фактически выявляемых дефектов и производительности методов контроля.

Допускается использование других методов контроля качества паяных соединений при условии обеспечения чувствительности, гарантирующей выявление дефектов, недопустимых по требованиям технической документации на данное изделие, утвержденной в установленном порядке.

1.6. ГОСТ 26126–84. Контроль неразрушающий. Соединения паяные. Ультразвуковые методы контроля качества

Стандарт устанавливает ультразвуковые методы контроля качества паяных соединений.

1.7. ГОСТ 27947–88. Контроль неразрушающий. Рентгенотелевизионный метод. Общие требования

Настоящий стандарт распространяется на рентгенотелевизионный метод неразрушающего контроля материалов и изделий (далее – объект контроля).

Рентгенотелевизионный метод применяют для выявления трещин, усадочных раковин, пор, металлических и неметаллических включений, непроваров сварных соединений, непропаев паяных соединений, рыхлот и других неоднородностей объекта, а также для выявления геометрии расположения внутренних деталей объекта, наличия внутри объекта инородных тел, нарушения целостности объекта, недоступных для внешнего осмотра наружных дефектов типа подрезов, превышений проплавов, прожогов, утяжин.

При рентгенотелевизионном методе контроля не выявляют: поры и включения диаметром поперечного сечения менее удвоенной абсолютной чувствительности контроля; непровары и трещины, плоскость раскрытия которых не совпадает с направлением пучка излучения или с направлением строк телевизионного растра; дефекты, изображения которых совпадают с изображением посторонних деталей, острых углов и резких перепадов толщин объекта контроля.

Рентгенотелевизионный метод контроля применяют в динамическом и статическом режимах.

1.8. ГОСТ 28830–90. Соединения паяные. Методы испытаний на растяжение и длительную прочность

Настоящий стандарт распространяется на паяные соединения металлов и сплавов и устанавливает методы статических испытаний на растяжение и длительную прочность при нормальных, высоких и низких температурах от минус 269 до 1200 °С.

2. МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ БЛОКОВ

Контроль качества производится на различных этапах монтажа электронных блоков, начиная с контроля качества комплектующих и до контроля функционирования устройства. По результатам тестирования на каждом этапе принимается решение о пригодности комплектующих к монтажу и работоспособности изделия в целом.

На сегодняшний день в большинстве случаев наиболее востребованными являются:

- контроль электронных компонентов перед монтажом электронных блоков;
- контроль печатных плат перед монтажом электронных блоков;
- контроль качества нанесения паяльной пасты;
- визуальный контроль в процессе монтажа;
- рентген-контроль;
- автоматический оптический контроль;
- контроль качества отмывки;
- функциональный контроль.

2.1. Контроль электронных компонентов перед монтажом электронных блоков

Перед монтажом электронных компонентов на печатные платы оценивается качество устанавливаемых компонентов:

- по внешнему виду: отсутствие повреждений выводов и корпуса электронного компонента и т. д.;
- контроль соответствия электрических параметров компонентов заданным в спецификации: номинал и допуск для компонентов, название фирмы-производителя.

2.2. Контроль печатных плат перед монтажом электронных блоков

Печатные платы должны соответствовать требованиям конструкторской документации и стандартам ГОСТ 10317–79 «Платы печатные. Основные размеры» и ГОСТ 23752–79 «Платы печатные. Общие технические условия» или техническим условиям, утвержденным в установленном порядке.

Размеры каждой стороны ПП должны быть кратными:

- 2,5 – при длине до 100 мм;
- 5,0 – при длине до 350 мм;
- 10,0 – при длине более 350 мм.

Максимальный размер любой из сторон должен быть не более 470 мм. Соотношение линейных размеров сторон ПП должно быть не более 3:1. Отклонение от перпендикулярности ПП не должно быть более 0,2 мм на 100 мм длины (изложено в ГОСТ 10317–79).

Основание ПП должно быть однородным без посторонних включений, расслоений, трещин, загрязнений.

На основании ПП допускаются:

- одиночные вкрапления металла, следы от удаления невытравленных участков фольги, не уменьшающие минимально допустимые расстояния между элементами проводящего рисунка;
- одиночные царапины, точечные просветления в местах пересечения нитей, проявление текстуры стеклоткани, участки белесости с оголенной текстурой стеклоткани, изменение цвета, не ухудшающие электрические и конструктивные параметры ПП.

Элементы проводящего рисунка на ПП должны иметь ровные края, не иметь разрывов, темных пятен, вздутий, отслоений.

Допускаются:

- отсутствие покрытия на торцах элементов проводящего рисунка;
- царапины, не нарушающие целостности покрытия;
- отдельные утолщения и наплывы, не превышающие 0,2 мм;
- следы от конструктивных элементов установок оплавления и контроля, не нарушающие целостности покрытия.

Печатные проводники должны быть четкими, без разрывов.

Отдельные протравы (не более пяти на 1 дм² площади ПП) не должны превышать по длине ширину печатного проводника, при этом оставшаяся ширина печатного проводника (суммарная) должна быть не менее минимально допустимой по КД.

Допускаются участки с частичным отсутствием защитного покрытия общей площадью не более 0,2 мм² на одном печатном проводнике, но не более чем на пяти (изложено в ГОСТ 23752–79).

2.3. Контроль качества нанесения паяльной пасты

Контроль качества нанесения паяльной пасты можно произвести как визуально, так и с применением систем автоматического контроля. При этом контролируются следующие параметры:

- совмещение отпечатка паяльной пасты с соответствующими площадками чип-компонента (SMD);
- количество паяльной пасты на плате;
- отсутствие «мостиков» из паяльной пасты между площадками SMD компонентов.

2.4. Визуальный контроль в процессе монтажа

В процессе монтажа электронных компонентов на печатные платы производится визуальный контроль качества сборки. При этом качество пайки оценивается в соответствии со стандартом IPC-610. Происходит контроль таких параметров как:

- качество паяного соединения;
- наличие компонента;
- отсутствие смещения компонента относительно площадок на печатной плате;
- соответствие положения, типа и номинала установленного компонента конструкторской документации и т. д.;
- визуальный контроль в процессе монтажа электронных компонентов на печатные платы позволяет обнаружить отклонения от заданных параметров, например возникновение смещения компонента, и оперативно произвести корректировку.

2.5. Рентген-контроль

Повышающиеся требования заказчиков к потребительским свойствам и качеству изделий обуславливают применение новейших компонентов высокой плотности интеграции, включая BGA- и μ BGA-компоненты ведущих мировых производителей. В результате повышается необходимость качественного контроля все более сложных изделий и перехода на бессвинцовую технологию, что обуславливает использование оборудования, способного решать самые сложные задачи контроля собираемых электронных модулей. Например, система рентгеновского контроля Y.COUGAR SMT фирмы YXLON на рис. 1, которая позволяет совершенствовать технологические процессы и качественно контролировать монтаж всех видов современных компонентов.



Рис. 1. Система рентгеновского контроля Y.COUGAR SMT

Система имеет открытую мультифокусную трубку, которая позволяет реализовывать три режима инспекции:

- нанофокусный режим для субмикронного разрешения (разрешающая способность менее 500 нм);
- микрофокусный режим для стандартных задач микрофокусной инспекции;
- режим высокой энергии для неразрушающего контроля материалов с высокой плотностью.

Использование данной трубки в совокупности с плоским цифровым детектором высокой контрастности позволяет получать отличное качество изображения инспектируемого образца в режиме реального времени.

Поворотный стол и возможность наклона детектора до 70° в обе стороны, изображенных на рис. 2, дает возможность проводить всестороннюю проверку и анализ изделия.



Рис. 2. Поворотный стол и плоский цифровой детектор

Программное обеспечение установки включает различные модули, в том числе для автоматического контроля BGA- и QFP-компонентов с возможностью записи видеофайлов. Это, во-первых, позволяет оперативно оценивать качество текущего монтажа, во-вторых, быстрее и качественнее отлаживать технологические процессы и выпуск опытных образцов новых изделий и, в-третьих, при выполнении сторонних заказов на рентгеновское исследование позволяет представлять заказчикам полный отчет о результатах проведенной инспекции (рис. 3).

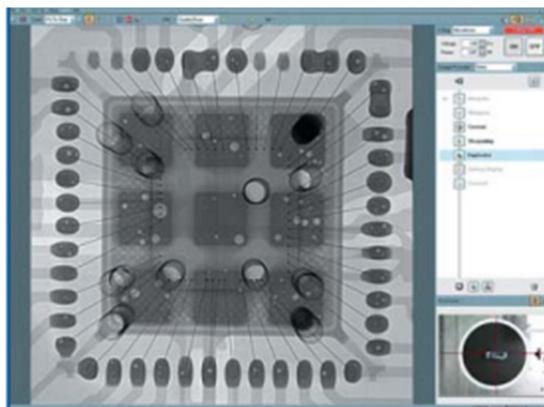


Рис. 3. Полученное изображение инспектируемого объекта

У.COUGAR SMT имеет возможность дооснащения 3D-модулем компьютерной томографии, что в дальнейшем позволит проводить расширенную инспекцию и более эффективную визуализацию исследуемых объектов, причем делать это быстро (рис. 4).

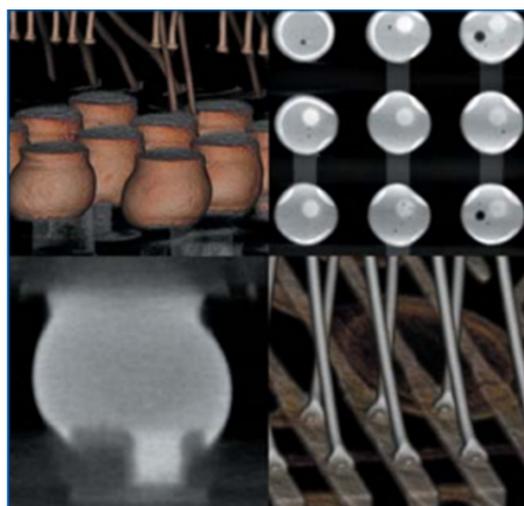


Рис. 4. Трехмерная визуализация паяных соединений

Применение рентгеновского контроля позволяет обнаружить различные дефекты на ранней стадии, что снижает затраты на проведение ремонта, и совершенствовать технологические процессы для выпуска электронной продукции самого высокого качества на уровне ведущих мировых производителей.

2.6. Автоматический оптический контроль

Система автоматического оптического контроля Vectoral Imaging использует синтетические модели, которые не связаны с окружающей средой, и поэтому не зависят от изменений цвета, фона или освещенности, что дает системе ряд преимуществ перед другими системами данного вида контроля. Технология Vectoral Imaging позволяет не только определять присутствие, отсутствие и полярность установленных компонентов, но и измерять отклонения по координатам X , Y и по координате вращения θ , так как обеспечивает анализ вращения.

Производится оптический контроль контактных площадок на предмет точного нанесения паяльной пасты. С помощью режимов подсветки производится анализ смещения нанесенной паяльной пасты, выявляется недостаточное или избыточное количество пасты, представленных на рис. 5.

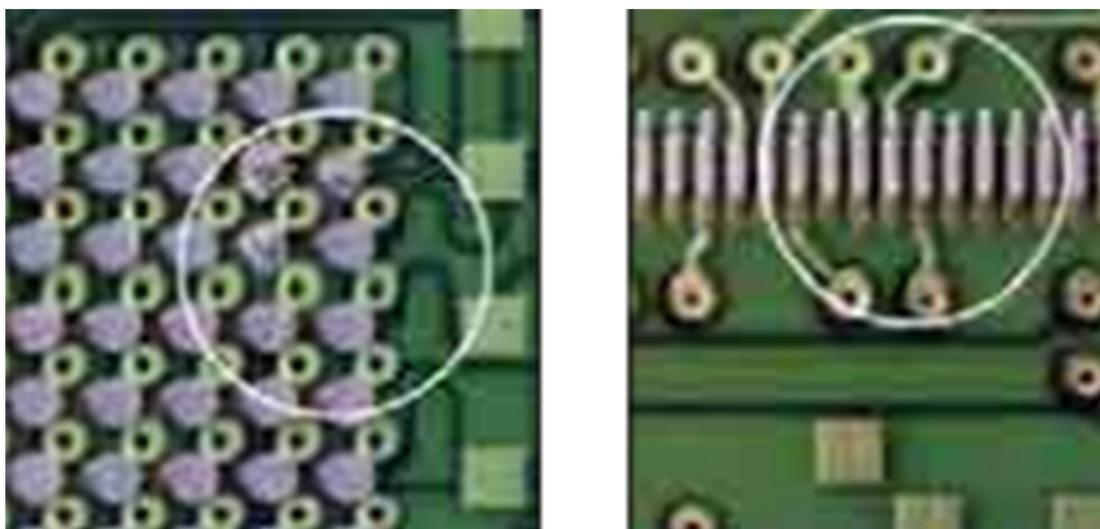


Рис. 5. Недостаточное или избыточное количество пасты

2.7. Оптический и рентгеновский контроль печатных плат при помощи одной системы

На современном этапе развития электроники становится очень трудно сделать выбор между двумя методами контроля печатных плат: автоматическим оптическим и автоматическим рентгеновским. Выгодным решением данного выбора является использование комбинированных систем. Главной отличительной особенностью таких систем является сочетание двух методов контроля печатных плат, интегрированных в одну машину.

Комбинированные системы позволяют распознавать как все визуальные, так и все невидимые дефекты, скрытые под корпусами компонентов. Такое сочетание позволяет осуществлять одновременный контроль SMD и выводных компонентов, а также инспектировать качество нанесения паяльной пасты, установки компонентов, паяных соединений закрытых областей на печатных платах, например под компонентами BGA, выводы которых не видны.

Одной из самых популярных на рынке комбинированных систем оптического и рентгеновского контроля является X7055 компании VISCOM (изображена на рис. 6).



Рис. 6. X7055 – сочетание оптического и рентгеновского контроля в одном устройстве

Данная система отличается высокой скоростью работы и возможностью осуществлять инспекцию очень больших печатных плат размером до 610 на 510 мм.

При помощи системы X7055 возможно распознать следующие дефекты:

1) SMD-компоненты:

- перемычки между компонентами или между выводами компонентов;
- непропаянные контакты;
- поднятые выводы компонентов представлены на рис. 7;
- дефекты скрытых паяных соединений;
- непропаянные или недостаточно пропаянные чип-компоненты;
- пропущенные компоненты представлены на рис. 8;
- сдвинутые компоненты;
- перевернутые компоненты;
- нарушение полярности компонентов (представлено на рис. 8).

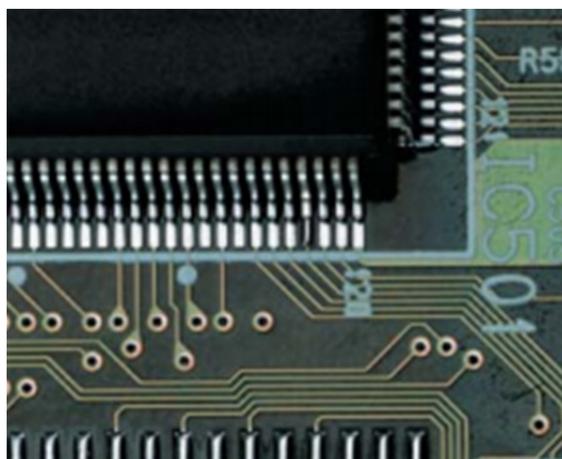


Рис. 7. Поднятые выводы

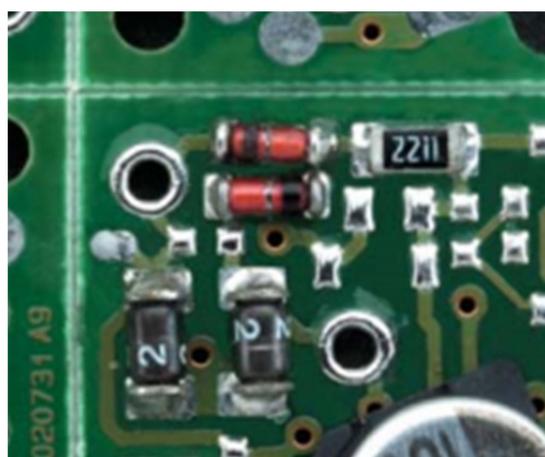


Рис. 8. Пропущенные компоненты, нарушение полярности компонентов

2) BGA-компоненты:

- отсутствие паяного соединения;
- отклонения от заданного диаметра (представлено на рис. 9);
- качество паяного соединения;
- перемычки и смещения (представлено на рис. 10).

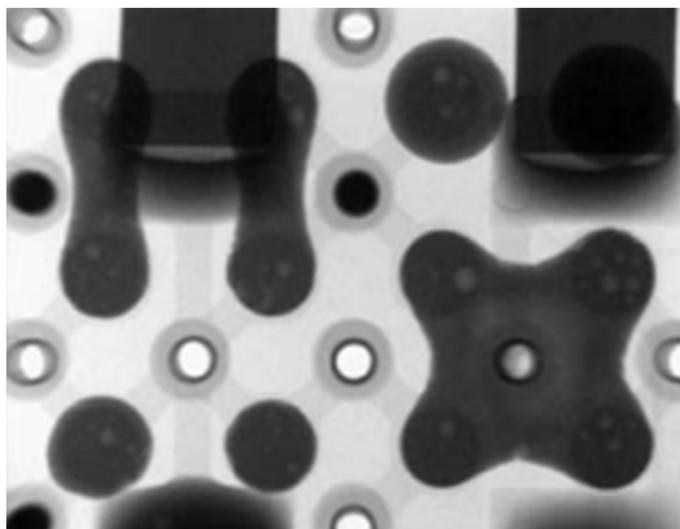


Рис. 9. Отклонение паяного соединения BGA-компонента от точного диаметра

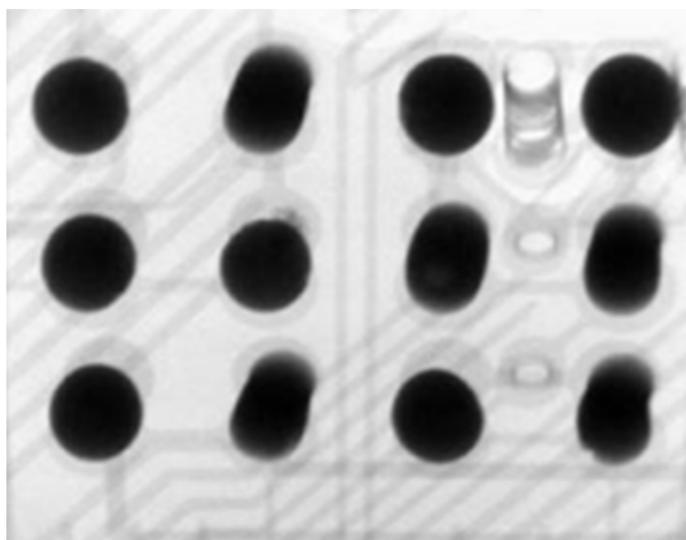


Рис. 10. Перемычки между паяными соединениями BGA-компонента

3) Выводные компоненты:

- непропаянные выводы;
- незакрепленные выводы.

2.8. Контроль качества отмывки

Удаление любых загрязнений с печатной платы является необходимым условием. Для отмывки печатных плат используется очищенная на системе подготовки и деионизированная вода или специальные отмывочные жидкости. Это всегда позволяет достичь высокого качества отмывки. Не рекомендуется использовать ультразвуковую отмывку, так как она отрицательно влияет на надежность ряда компонентов.

Контроль производится после отмывки электронных блоков с целью определения наличия на их поверхности остатков флюса. Выявляемые загрязнения способны нарушить работоспособность устройств при эксплуатации в сложных климатических условиях.

2.9. Функциональный контроль

Функциональный контроль применяется на завершающем этапе производственного процесса и служит для приемки или отбраковки готовых печатных узлов перед их отправкой заказчику. При функциональном контроле проверяются рабочие характеристики изделия, т. е. данный контроль представляет собой средство гарантии качества работы электронного узла. Перед проведением функционального контроля следует знать испытываемое изделие: тип продукции, конфигурацию, технические условия контроля, запланированные точки контроля, предполагаемый объем выпуска, ожидаемый спектр неисправностей.

2.10. Методы неразрушающего контроля качества паяных изделий

Для оценки качества паяных изделий применяется контроль без разрушения и с разрушением. Применение разрушающих методов контроля паяного изделия оговаривается техническими условиями на изделие.

Технический осмотр изделия невооруженным глазом или с применением лупы в сочетании с измерениями позволяет проверить качество поверхности, заполнение зазоров припоем, полноту галтелей, наличие трещин и других наружных дефектов. В соответствии с требованиями технических условий паяные изделия подвергают другим методам неразрушающего контроля.

Радиографический контроль применяют для определения внутренних дефектов в ответственных паяных изделиях, трещин в шве или паяемом металле, локального отсутствия припоя, пор и инородных включений. Для радиографического метода контроля характерен разрыв во

времени между просвечиванием объекта и анализом изображения по рентгеновской пленке, что является недостатком метода.

Радиоскопический метод позволяет наблюдать изображение контролируемого участка одновременно с просвечиванием.

Радиометрический метод позволяет производить автоматическую обработку результатов контроля.

Ксерорадиографический метод – метод получения изображения на фотополупроводниковых слоях из аморфного селена. Способ получения изображений на поверхности, электрические свойства которой изменяются под действием рентгеновского и гамма-излучения, называется ксерорадиографией, или электрорадиографией. Технология просвечивания паяных соединений этим методом аналогична технологии радиографического контроля. Метод служит для повышения производительности контроля и в целях экономии серебра. Ксерорадиографический метод контроля имеет преимущество в отношении производительности и стоимости, однако ксерорадиографические пластины не могут изгибаться, поэтому этим методом возможен контроль швов только на плоской поверхности изделий.

Радиационный контроль нашел применение в производстве печатного монтажа. Плата подключается к источнику питания и работает в предусмотренном для нее режиме. Регистрация дефектов осуществляется по изменению теплового поля, образующегося при прохождении электрического тока по соединениям. Метод обладает высокой чувствительностью, примерно 1 °С. Еще более высокие результаты получают при сканировании поверхности по отдельным линиям. В этом случае установка позволяет получать информацию о тепловом поле в виде записи на бумагу последовательных амплитудных профилей по линиям сканирования или наблюдать тепловые профили на экране электронно-лучевой трубки. Качество соединений оценивают сравнением с эталоном. Для контроля качества печатного монтажа применяются электрические методы, с помощью которых наряду с выявлением дефектов определяются сопротивления перехода.

К акустическому методу относится контроль ультразвуком, основанный на способности ультразвуковых колебаний отражаться от поверхности внутренних неоднородностей материала. Этим методом выявляют трещины, поры, раковины, шлаковые включения, незаполнение шва припоем.

Дефекты паяных соединений в двух- и трехслойных конструкциях выявляются акустико-топографическим методом. Он эффективен для контроля дефектов, залегающих на глубине от 3 до 5 мм не более. Преимущество метода – высокая производительность, наглядность результатов, возможность контроля большого ассортимента слоистых материалов.

Ультразвуковой контроль используется применительно к решетчатым металлоконструкциям типа опор линий электропередачи (ЛЭП), пролетным, строительным балкам. Конструкции этого типа воспринимают статическую или повторно-статическую нагрузку. Ультразвуковой контроль нахлесточных соединений подобных. Для оценки в тонкостенных кристаллах полупроводников, например кремния, величины остаточных внутренних напряжений применяется ультразвуковой спектральный метод и соответствующая аппаратура.

Магнитный контроль изделий из ферромагнитных материалов основан на резком изменении параметров магнитного поля в дефектных местах (трещины, непропаи, раковины, поры).

Магнитопорошковый метод связан с образованием в местах дефектов при намагничивании потоков рассеяния. Частицы порошка, наносимые на изделие после намагничивания, оседают в местах дефектов. Магнитопорошковым методом выявляются дефекты с раскрытием от 1 до 2,5 мкм, глубиной 25 мкм, длиной до 2,5 мм.

Магнитный порошок наносится сухим и мокрым способами. В качестве магнитного порошка используют окалину железа (магнетит), измельченную до состояния пудры. При мокром методе порошок наносится в виде суспензии (вода, масло, керосин). Перед нанесением суспензии контролируемое изделие должно быть обезжирено. После контроля паяные изделия размагничиваются в переменном магнитном поле.

Магнитографический метод обеспечивает запись на магнитную ленту магнитных полей рассеяния. Лента накладывается на контролируемую поверхность изделия. Информация о результатах контроля считывается с помощью магнитографического дефектоскопа: возникающий на экране электрический сигнал пропорционален величине остаточного магнитного потока полей рассеяния дефектов, записанных на ленте.

Намагничивание контролируемого изделия производится также возбуждением вихревых токов с помощью переменного электромагнитного поля. Контроль осуществляется измерением воздействия поля вихревых токов на возбуждающий преобразователь. Разработано несколько методов электромагнитного контроля: фазовый, амплитудно-фазовый, амплитудно-частотный, многочастотный и их сочетания. Наибольшее применение нашли амплитудно-фазовый и амплитудно-частотный методы.

Капиллярные методы контроля основаны на проникновении в дефекты контролируемого изделия специальных индикаторных пенетрантов, имеющих цветовой тон или люминесцирующих при воздействии ультрафиолетового излучения. Этот метод применяется для обнаружения трещин, непропаев, пор и других дефектов. Последовательность операций контроля капиллярным методом: нанесение пенетранта и удаление его

(протиркой салфетками, промывкой водой, специальными составами и др.) после выдержки, необходимой для затенения дефектов; покрытие места контроля мелкодисперсным порошком или специальными красками, которые проявляют оставшийся в дефектных местах пенетрант. Образующийся след на месте дефекта можно наблюдать невооруженным глазом.

Различают четыре основных метода капиллярной дефектоскопии: люминесцентный, люминесцентно-цветной, люминесцентно-гидравлический и смачивание керосином.

Люминесцентный метод контроля отличается повышенной контрастностью пенетранта в результате введения в него люминесцирующих в ультрафиолетовом свете веществ.

Большое распространение получил диффузионный метод проявления пенетранта (метод красок), при котором сразу после удаления его с поверхности изделия наносят белую проявляющую краску.

Люминесцентно-цветной метод основан на использовании люминофоров – красителей, светящихся в оранжево-красной области спектра при воздействии ультрафиолетового излучения и избирательно отражающих дневной свет в красной области спектра. Люминесцентно-цветной контроль паяных соединений осуществляют с помощью комплекта АЭРО-12А, состоящего из флуоресцирующего красителя родамина-С, растворителя – гидролизного или технического этилового спирта и эмульгатора ОП-7. Очистка ведется последовательно водой, очистителем на основе эмульгатора ОП-7 и этиловым спиртом, окончательная очистка – промывка водой. Проявителем служит лак на основе белой нитроэмали «Экстра», коллодия и ацетона. Люминесцентно – цветной метод позволяет выявлять дефекты паяных соединений как из ферромагнитных, так и неферромагнитных металлов.

Для выявления дефектов, не обнаруживаемых люминесцентным, цветным и люминесцентно-цветным методами, используют газосорбционный радиоизотопный метод контроля. В качестве вещества, заполняющего поверхностные дефекты, в этом случае применяют не жидкие пенетранты, а газообразный бета-радиоактивный газ. Излучение газа, сорбированного поверхностными дефектами, можно зарегистрировать на рентгеновской пленке или люминесцирующими преобразователями излучения. Контроль дефектов этим методом включает обезгаживание изделия в вакуумной камере, наполнение камеры бета-излучающим газом, удаление изделия из камеры, получение изображения на рентгеновской пленке или выявление дефектов с помощью люминесцирующих преобразователей.

Люминесцентный гидравлический метод контроля основан на использовании капиллярных свойств жидкостей, светящихся под действием ультрафиолетового излучения. При контроле используются люминесцентные жидкости: шубекол, ЛЖ-1, ЛЖ-2, ЛЖ-4, ЛЖ-5 и др.

Смачивание керосином. Одну сторону изделия обмазывают мелом, а противоположную сторону обильно смачивают керосином. В местах негерметичности на поверхности меловой обмазки появляются бурые пятна.

При керосино-пневматическом методе со стороны смачивания керосином дополнительно подается избыточное давление воздуха в пределах от 0,3 до 0,4 МПа.

Керосино-вакуумный метод основан на создании со стороны меловой обмазки разрежения с помощью переносных вакуумных камер. Приложение вибрации к контролируемому изделию повышает проникание керосина через неплотности. Этот метод отличается повышенной разрешающей способностью и производительностью.

Контроль течеисканием – контроль герметичности паяных изделий – осуществляют давлением жидкости или газа. Течь в дефектных местах обнаруживается течеисканием.

Чувствительность метода определяется наименьшим количеством пробного вещества (жидкости или газа), надежно регистрируемого при контроле. При масс-спектрометрическом методе контроля в качестве пробных веществ применяют гелий; при галогенном методе контроля – фреон и другие газы. При выборе метода контроля течеисканием необходимо исходить из того, что чувствительность метода должна в 2 или 3 раза превышать заданную степень герметичности. За чувствительность метода контроля течеисканием принимается устойчиво регистрируемая наименьшая утечка контрольного вещества. Контрольным веществом называется смесь пробного вещества с наполнителем (например, гелиево-азотная смесь при масс-спектрометрическом методе контроля).

Газоаналитический метод течеискания основан на изменении электрического сопротивления нагретой проволоки в присутствии пробного газа в сравнении с такой же проволокой, нагретой в среде воздуха. На этом принципе разработаны катарометрические течеискатели, действие которых основано на изменении теплопроводности среды при проникновении пробного вещества через течь. Отечественной промышленностью выпускаются переносные катарометрические течеискатели ТП7101 и ТП7101М.

Пузырьковый метод контроля основан на регистрации появления пузырьков пробного вещества в дефектных местах контролируемого изделия. Различают пневматический, пневмогидравлический и вакуумный пузырьковые методы. При пневматическом способе сторона контролируемого изделия, противоположная подаче давления воздуха, обмазывается пенообразующим веществом. В качестве простейшего пенообразующего вещества служит раствор мыла в воде. Режимы контроля пузырьковым методом определяются техническими условиями на контро-

лируемое изделие. Пузырьковый метод контроля может производиться путем подачи газа в контролируемое изделие с последующим погружением его в жидкость. Дефектные места определяются по появлению пузырьков газа. Вакуумный пузырьковый метод применяют для контроля изделий при одностороннем к ним подходе. В этом случае на поверхность дефектного места наносят пенообразующее вещество, после чего на него устанавливается переносная вакуумная камера со смотровым окошком, допускающим осмотр места контроля.

При создании необходимого разрежения имеющиеся неплотности обнаруживаются по появлению пузырьков.

Химический метод основан на химическом воздействии аммиака на фенолфталеин или азотнокислую ртуть, изменяющих свою окраску под действием аммиака. В качестве контрольного газа при этом методе применяют 1%-ю смесь аммиака с воздухом или 3%-ю смесь аммиака с азотом. Индикаторную ленту приготавливают непосредственно перед контролем, пропитывая фенолфталеином или азотнокислой ртутью фильтровальную бумагу или белую ткань. Избыточное давление газа в процессе контроля берется от 0,1 до 0,15 МПа. При контроле химическим методом необходимо соблюдать правила техники безопасности и производственной санитарии, предусмотренные при работе с вредными химическими веществами.

Манометрический метод основан на регистрации изменения испытательного давления контрольного или пробного вещества, которым заполняется контролируемое изделие. Испытательное давление и время выдержки определяются техническими условиями на изделие.

Галогенный метод контроля основан на изменении эмиссии ионов нагретой металлической поверхностью при попадании на нее пробного вещества, содержащего галогены. Метод отличается высокой чувствительностью и применяется для контроля герметичности ответственных паяных изделий.

Масс-спектрометрический метод контроля основан на принципе разделения по массам ионов газов, проходящих через неплотности контролируемого изделия с помощью масс-спектрометров. Этот метод отличается высокой чувствительностью и применяется для контроля герметичности ответственных изделий. В качестве пробного газа используют водород, гелий, аргон и другие газы (наибольшее применение нашел гелий). В качестве контрольных газов применяют чистый гелий, смеси его с воздухом или азотом при концентрации гелия от 10 до 90 %. Для контроля герметичности нашли распространение гелиевые течеискатели со встроенным в них масс-спектрометром. При контроле герметичности течеискателем необходимо обеспечить такое заполнение изделия контрольным газом, при котором обеспечивается равномерная кон-

центрация гелия во всем объеме изделия. Избыточное давление контрольного газа устанавливается в соответствии с техническими условиями. Проверку герметичности проводят путем перемещения щупа гелиевого течеискателя по контролируемой поверхности.

Радиационный метод контроля герметичности основан на фиксации излучения, испускаемого радиоактивными жидкостями или газами, которыми заполняется контролируемое изделие. Применяются на практике и стандартизированы радиационные методы контроля герметичности тепловыделяющих элементов ядерных реакторов.

Методы контроля качества паяных соединений устанавливает ГОСТ 24715–81 с целью обнаружения поверхностных, внутренних и сквозных дефектов, классификация которых представлена в табл. 1.

Таблица 1

Дефекты паяных соединений

| Поверхностные дефекты | Внутренние дефекты | Сквозные дефекты |
|--|--|---|
| Поверхностное окисление, поверхностная пора, подрез и выходящие на поверхность: непропай, неспай, общая и локальная эрозии | Непропай, неспай, трещина, внутренняя пора, усадочная раковина, шлаковое включение, флюсовое включение, металлическое включение, неметаллическое включение, общая и локальная эрозии, паяльные остаточные напряжения, дефекты структуры паяного соединения (отклонения структуры от заданной техническими условиями) | Непропай, неспай, общая и локальная эрозии, сочетание наружных и внутренних дефектов, приводящее к течу |

Примечание. Неспай, паяльные остаточные напряжения, общая и локальная эрозии, дефекты структуры паяного соединения выявляют методами разрушающего контроля.

Методы контроля конкретных паяных соединений должны быть указаны в технической документации на изготовление, приемку и эксплуатацию изделий. Технология контроля паяных соединений должна быть установлена технической документацией, разработанной в соответствии с ГОСТ 3.1102–74 и ГОСТ 3.1502–74.

Для проверки механических свойств образцы паяных соединений подвергают испытаниям на удар по ГОСТ 23046–78, на растяжение по ГОСТ 23047–78 и на изгиб по ГОСТ 24167–80.

Методы неразрушающего контроля для обнаружения поверхностных, внутренних и сквозных дефектов представлены в табл. 2–4.

Таблица 2

Методы неразрушающего контроля для обнаружения поверхностных дефектов в паяных соединениях

| Вид контроля | Метод контроля | Характеристика метода | | Область применения |
|---------------------------------------|--|---|---|--|
| | | Чувствительность (минимальные размеры выявляемых дефектов) | Особенности метода | |
| Оптический | Визуальный Визуально-оптический | По ГОСТ 23479–79 | Для обнаружения мелких дефектов величиной менее 0,1 мм используют оптические приборы с увеличением до 30×. Подготовка и проведение контроля по ГОСТ 23479–79 | Соединения, имеющие доступные для осмотра поверхности |
| Проникающими веществами – капиллярный | Цветной Люминесцентный Люминесцентно-цветной | По ГОСТ 18442–80 | Достоверность метода зависит от шероховатости контролируемой поверхности паяного соединения. Проведение контроля – по ГОСТ 18442–80 | Соединения, имеющие поверхности, доступные для нанесения пенетрантов и осмотра |
| Вихрековый | Трансформаторный Параметрический | Дефекты с раскрытием 0,0005–0,001 мм и глубиной $\geq 0,2$ мм | Параметр шероховатости поверхности контролируемых соединений – $Rz \leq 40$ мкм. Одновременно с поверхностными дефектами выявляют дефекты, расположенные на глубине до 2 мм от поверхности | Соединения, имеющие поверхности, доступные для преобразователей дефектоскопов |

Примечание. Размеры фактически выявляемых дефектов зависят от технических характеристик применяемых средств контроля, конструктивных особенностей изделий и технологии изготовления.

Таблица 3

Методы неразрушающего контроля для обнаружения внутренних дефектов в паяных соединениях

| Вид контроля | Метод контроля | Характеристика метода | | Область применения |
|--------------|--|---|--|---|
| | | Чувствительность (минимальные размеры выявляемых дефектов) | Особенности метода | |
| Радиационный | Радиографический | 2–5 % от суммарной просвечиваемой толщины материала | Чувствительность зависит от толщины и марок соединяемых материалов и припоев | По ГОСТ 20426–75 |
| | Радиоскопический | 3–8 % от суммарной просвечиваемой толщины материала | Необходима биологическая защита от ионизирующего излучения в соответствии с нормами радиационной безопасности и санитарными правилами | |
| Акустический | Отраженного излучения (эхометод) Прошедшего излучения Резонансный Свободных колебаний Акустико-эмиссионный | Дефекты площадью 1–15 мм ² при толщине материала 2,5–150 мм соответственно | Выявляют дефекты типа непропаев. Определяют условные размеры дефекта, эквивалентную площадь, конфигурацию и число дефектов. Метод не гарантирует выявление одиночных пор, шлаковых и инородных включений диаметром ≤ 1–2 мм. Вид дефекта не определяется. Не выявляются дефекты, расположенные по глубине в мертвой зоне дефектоскопа, и расположенные от отражающей поверхности на расстоянии меньшем, чем разрешающая способность дефектоскопа | Не ограничена, за исключением соединений, не имеющих доступа для ввода и приема ультразвуковых колебаний, и соединений, обладающих повышенным затуханием ультразвуковых колебаний или имеющих толщину меньше, чем мертвая зона дефектоскопа |

Окончание табл. 3

| | | | | |
|---------------|--------------------------------------|---|---|--|
| Тепловой | Теплометрический Термометрический | По ГОСТ 23483–79 | Выявляют дефекты типа непропаев. Необходимо создание теплового потока в направлении, перпендикулярном поверхности соединения. Подготовка и проведение контроля – по ГОСТ 23483–79 | Соединения, у которых толщина слоя, обращенного к приемнику излучения, не превышает 3 мм. Возможен контроль паяных соединений электрических схем и электрических цепей |
| Электрический | Электрический | Определяется чувствительностью измерительной аппаратуры | Оценку качества производят по величине электрического сопротивления или электропроводности контролируемого участка. Вид и характер дефекта не определяются | Соединения, имеющие доступ для измерительных наконечников |

Примечания:

1. При радиографическом и радиоскопическом контроле не обеспечивается выявление дефектов:

любых дефектов, если их протяженность в направлении излучения меньше удвоенной чувствительности контроля, определенной по эталонам чувствительности, или если изображения дефектов совпадают с другими изображениями, затрудняющими расшифровку (изображениями посторонних деталей, острых углов изделий, резких перепадов толщин паяемых элементов и т. п.); трещин с раскрытием менее 0,1 мм; трещин, плоскость раскрытия которых не совпадает с направлением излучения; непропаев в случае, если разница между коэффициентами ослабления излучения припоем и паяемым материалом и толщина паяного шва не обеспечивают достаточного радиационного контраста.

Радиографический и радиоскопический контроль следует применять при наличии двустороннего доступа к контролируемому паяному соединению, обеспечивающего возможность установки источника и детектора излучения в соответствии со схемами контроля.

2. Размеры фактически выявляемых дефектов зависят от технических характеристик применяемых средств контроля, конструктивных особенностей изделия и технологии изготовления.

Таблица 4

Методы неразрушающего контроля для обнаружения сквозных дефектов в паяных соединениях

| Вид контроля | Метод контроля | Характеристика метода | | Область применения |
|---------------------------------------|-----------------|--|---|--|
| | | Порог чувствительности течейскаателя, м ³ ·Па/с | Формула для оценки порога чувствительности при индикации потока газа | |
| Проникающими веществами – течеискание | Радиоактивный | – | – | Порог чувствительности испытаний зависит от технических характеристик применяемых средств контроля, конструктивных особенностей контролируемых изделий и технологии контроля. Требования к выбору методов испытаний, к подготовке и проведению испытаний – по ГОСТ 24054–80 |
| | Манометрический | – | Способы компрессионный и вакуумный: $V_n \Delta P_{\min} / t$ Способ камерный: $V_k \Delta P_{\min} / t$ | – |

Продолжение табл. 4

| Проникающими веществами – течеискание | | Газовые | |
|---------------------------------------|---|---------------------|---|
| Масс-спектрометрический | Способы вакуумной камеры, накопления при атмосферном давлении, опрессовки в камере, опрессовки замкнутых оболочек, обдува $5 \cdot 10^{-11} - 5 \cdot 10^{-13}$ | – | – |
| | Галогенный | 10^{-7} | – |
| | Ультразвуковой | $10^{-3} - 10^{-2}$ | – |
| | Катарометрический | 10^{-6} | – |
| | Химический | – | – |
| | Инфракрасный | 10^{-6} | – |
| Пузырьковый | – | – | – |
| | Способы компрессионный и нагреванием: $\frac{\pi d_{\min}^3}{\tau} \left(\frac{4\sigma}{d_{\min}} + \rho gh + P_a \right)$ Способ вакуумный: $\frac{\pi d_{\min}^3}{\sigma \tau} \left(\frac{4\sigma}{d_{\min}} + \rho gh + P_B \right)$ Способ обмыливанием: $\frac{\pi d_{\min}^3}{\sigma \tau} \left(\frac{4\sigma}{d_{\min}} + P_a \right)$ | – | – |

Окончание табл. 4

| | | | | | | | | | |
|--|------------|-----------------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | |
| | Жидкостные | Гидростатический | – | – | – | – | – | – | – |
| | | Люминесцентный (цветной) | – | – | – | – | – | – | – |
| | | Электрический | – | – | – | – | – | – | – |

Обозначения, принятые в формулах: $V_{и}$ – объем изделия; t – продолжительность испытания; $V_{к}$ – объем камеры; d_{\min} – наименьший регистрируемый диаметр пузырька; σ – коэффициент поверхностного натяжения; ρ – плотность индикаторной жидкости; g – ускорение свободного падения; h – высота слоя индикаторной жидкости; $P_{а}$ – атмосферное давление; $P_{в}$ – давление в вакуумированном пространстве над слоем индикаторной жидкости; ΔP_{\min} – нижний предел измерения манометра; τ – время от момента образования пузырька до его отрыва.

3. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПАЯНЫХ ЕДИНИЦ

В табл. 5 приведены характеристики как широко распространенных, так и редко встречающихся дефектов конструкций паяных соединений.

Пайка происходит при температурах, существенно меньших температур плавления соединяемых материалов, что уменьшает их перегрев. При этом возможно соединение как металлических, так и неметаллических материалов. В зоне контакта должен образовываться промежуточный слой, состоящий из припоя и продуктов его взаимодействия с паяемыми материалами.

Для образования качественного паяного соединения необходимо:

- подготовить поверхности соединяемых деталей;
- активировать материалы и припой;
- удалить окисные пленки в зоне контакта;
- обеспечить взаимодействие на межфазной границе раздела;
- создать условия для кристаллизации жидкой металлической прослойки.

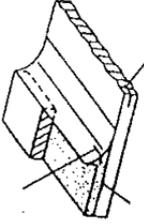
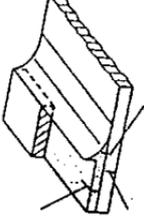
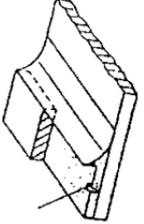
Подготовка поверхностей деталей к пайке включает механическую, химическую или электрохимическую очистки от окислов, загрязнений органического и минерального происхождения, а также нанесение покрытий, улучшающих условия пайки или повышающих прочность и коррозионную стойкость паяных соединений.

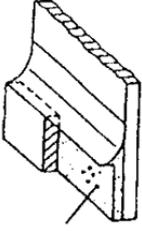
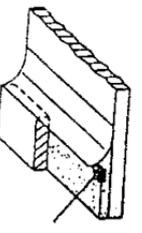
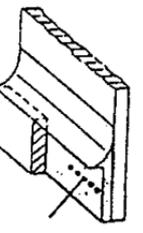
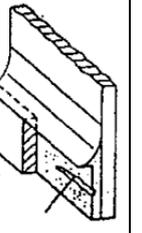
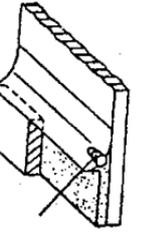
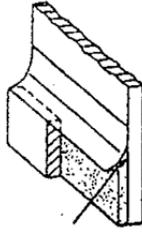
При монтаже электронной аппаратуры применяют как методы непосредственного соединения контактируемых материалов, осуществляемые под воздействием давления (накрутка, обжатие), тепла и давления (различные методы сварки), давления и физического воздействия (ультразвуковая сварка), так и методы с использованием промежуточного материала в виде припоя (пайка), токопроводящего клея (склеивание) под действием давления, тепла и физических методов активации.

Паяные электрические соединения нашли самое широкое применение при монтаже ЭА вследствие следующих достоинств: низкого и стабильного электрического сопротивления, широкой номенклатуры соединяемых металлов, легкости автоматизации, контроля и ремонта. Процессы пайки легкоплавкими припоями широко используются при монтаже печатных и проводных плат, герметизации корпусов полупроводниковых приборов и гибридных интегральных микросхем, сборки керамических конденсаторов, поверхностно-монтируемых элементов. Недостатки паяных соединений связаны с высокой стоимостью используемых цветных металлов, необходимостью удаления остатков флюса, низкой термостойкостью, снижением прочности в результате термического старения.

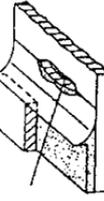
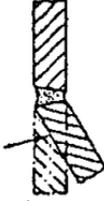
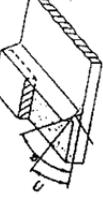
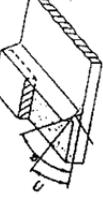
Таблица 5

Дефекты конструкций паяных соединений

| Термины, определения их морфологические признаки | Генетические признаки дефектов | Чертеж |
|---|---|---|
| <p>1. Продольная трещина представляет собой разрыв металла, идущий параллельно плоскости спая. Она может располагаться в шве, в основном металле (ОМ), в зоне спая (ЗС)</p> | <p>Горячие и холодные трещины (ГТ И ХТ) в ОМ возникают под действием собственных напряжений, обрабатывающихся при сборке, нагреве под пайку, кристаллизации металла шва и охлаждения паяного изделия. Трещины в ОМ могут образоваться под действием расплавленного припая. Образование трещин наиболее часто наблюдается в швах, спаянных припоями, имеющими широкий интервал кристаллизации, а также загрязненных примесями (см. п. 2)</p> |  |
| <p>2. Поперечная трещина – это разрыв металла, идущий перпендикулярно плоскости спая. Она может возникнуть в шве, в ОМ и в ЗС</p> | <p>Трещины в ЗС часто образуются при пайке разнородных материалов с резко различными физико-химическими свойствами. Часто этот дефект образуется при пайке пластин твердых сплавов с корпусом инструментов из конструкционных сталей. Трещины возникают также при пайке серебряными или медными припоями нержавеющей сталей в напряженном состоянии (см. п. 1)</p> |  |
| <p>3. Пора и газовая раковина – это шарообразная или вытянутая полость, заполненная газом</p> | <p>Этот дефект связывают с химическими реакциями, протекающими в металле, со скоплением окислов и нитридов, с газовыделениями и усадочными явлениями, происходящими при переходе металла из жидкого состояния в твердое</p> |  |

| Термины, определения их морфологические признаки | Генетические признаки дефектов | Чертеж |
|--|--|---|
| 4. Рассеянная пористость – это разбросанные по достаточно большой области многочисленные поры и/или раковины | Возникновение этого дефекта связано с химическим составом сплавов: она тем больше, чем шире двухфазная зона у затвердевающего сплава |  |
| 5. Сосредоточенная пористость – это локальное скопление пор и/или раковин | Сосредоточения образуются в результате выделения из металла при кристаллизации растворимых в нем газов |  |
| 6. Цепочка пор – это раковины (и/или поры), возникающие примерно по одной линии | Причиной их образования может быть выделение в процессе пайки газов, образующихся при испарении определенных компонентов припоев и флюсов |  |
| 7. Пора удлиненная – это заполненная газом червеобразная полость | Образуется в результате недостаточного питания соединительного зазора припоем и усадочных явлений, происходящих при кристаллизации. Возникновению способствует большой зазор |  |
| 8. Пузырь (вздутие) – это большое газовое включение вблизи поверхности | Причины возникновения – наличие влаги во флюсе и на заготовках припоя в виде адсорбированного локального слоя |  |
| 9. Твердотельное включение – это дефект в виде поры, внутри которой имеется металлический остаток | Причиной образования в расплаве ЗС служит массоперенос через шлаковую пленку, находящуюся на поверхности шарообразных включений – сферовдов, в результате наличия градиента концентрации компонентов в сфероиде и ЗС |  |

| Термины, определения их морфологические признаки | Генетические признаки дефектов | Чертеж |
|--|---|--------|
| 10. Оксидное включение – это полость, заполненная оксидами, т. е. соединения элементов с кислородом | Причины их возникновения связывают с химическими реакциями, протекающими в металле, со скоплениями оксидов и влиянием окисной пленки. При комнатной температуре большинство оксидов – твердые вещества | |
| 11. Включение чужеродного металла – это полость, заполненная чужеродным металлом | В эту группу входят дефекты в виде инородных металлических частиц, попавших в ЗС механическим путем | |
| 12. Флюсовое и шлаковое включение – это полость, заполненные флюсом или шлаком | Шлаковые включения образуются вследствие небрежной подготовки поверхности соединяемых элементов изделия перед пайкой, а также при слишком длительном нагреве под пайку, когда флюс, реагируя с ОМ, образует твердые остатки, которые плохо вытесняются припоем. При пайке газовой горелкой шлаковые включения могут образоваться в результате применения пламени с избытком кислорода | |
| 13. Непропай – это несплошное заполнение зазора припоем. Неспай – это отсутствие в определенных местах спая между ОМ и припоем | Непропай возникает из-за неправильного температурного режима, недостаточного затекания припоя в зазор, в результате неправильной укладки перед пайкой или недостаточного его количества, включений флюса, плохой очистки поверхности ОМ, несоблюдения требуемого зазора. Причиной неспая может быть локальное несмачивание ОМ | |
| 14. Подрез – это дефект поверхности в ЗС в виде углубления, расположенного по всей длине или на отдельных участках ЗС | Дефект возникает из-за неправильной настройки аппаратуры и несоблюдения технологии пайки | |
| 15. Наплав пайки – это дефект в виде наплавшегося на ОМ припоя, неспаянного с ОМ | Причиной может быть небрежная пайка | |

| Термины, определения их морфологические признаки | Генетические признаки дефектов | Чертеж |
|--|--|---|
| 16. Смещение кромок – это дефект в виде параллельного смещения кромок с отклонением от заданного техническими условиями (ТУ) | Причина – смещение элементов в процессе закрепления, а также отсутствие приспособлений, обеспечивающих надежную фиксацию элементов изделия |  |
| 17. Проплавление – это дефект в виде сквозной несплошности в ОМ | Причина – дефекты ОМ и слишком большая выдержка при температуре пайки |  |
| 18. Угловое смещение кромок – дефект в виде смещения элементов изделия, при котором элементы паяного изделия соединены под углом с отклонением от заданного в ТУ | Причина – смещение элементов в процессе закрепления, а также отсутствие приспособлений, обеспечивающих надежную фиксацию элементов изделия |  |
| 19. Неполномерный ШОВ – это неполное заполнение соединения припоем | Возможной причиной образования такого дефекта может быть недостаточный нагрев при пайке или недостаточное количество припоя |  |
| 20. Недостаточное заполнение бокового шва припоем. Часто имеет локальный характер | Причина – неравномерный нагрев или недостаточное количество припоя |  |
| 21. Выход флюса на поверхность пору | При слишком длительном нагреве под пайку флюс, реагируя с ОМ, образует твердые остатки, которые плохо вытесняются припоем |  |
| 22. Дефект угла наклона шва пайки, при котором угол наклона углового шва к поверхности ОМ слишком велик (мал) | Причина – отклонение технологии пайки от оптимальной |  |
| 23. Брызги – это прилипшие к поверхности паяного соединения капли припоя | Причина небрежная пайка |  |

Паяные соединения должны обладать высокой электропроводностью и постоянным переходным электросопротивлением в заданных условиях эксплуатации, конструкторской документации на конкретные сборки и блоки аппаратуры требование постоянства переходного сопротивления к паяным сопротивлениям должно выражаться в численных значениях, заданных разработчиком при проектировании изделия. При его изготовлении это значение переходного сопротивления будет одним из основных критериев объективной оценки качества паяных соединений.

Вторым по значимости является требование достаточной механической прочности, которая в зависимости от эксплуатационных нагрузок должна устанавливаться расчетным путем по сопротивлению отрыву. Численные значения сопротивления отрыву не вносятся разработчиком в конструкторскую документацию на конкретные изделия и вызывают в производстве ЭА серьезные разногласия между заинтересованными инстанциями при оценке качества и надежности электромонтажных соединений.

Электромонтажные соединения должны проектироваться с обеспечением возможности визуального контроля паяного шва на всем его протяжении. Для печатного монтажа с металлизированными отверстиями галтели шва каждого из паяных соединений располагаются с обеих сторон печатной платы, и требование свободного доступа для двустороннего их осмотра приобретает особо важное значение. Невыполнение этого требования на этапе проектирования соединения ведет к производству заведомо ненадежных в эксплуатации изделий, ибо не позволяет обнаружить дефектные паяные соединения и произвести их ремонт.

Паяные швы электромонтажных соединений должны быть без избытка припоя, преимущественно скелетную форму с вогнутыми и непрерывными галтелями припоя по всему периметру соединения.

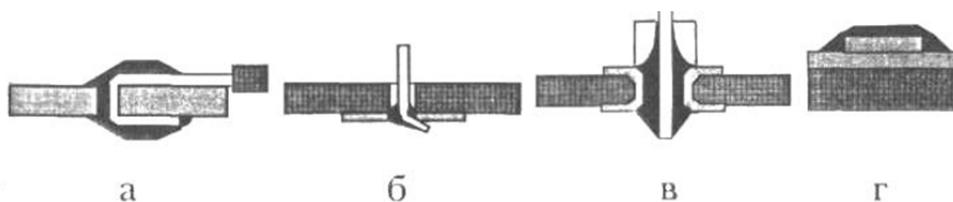


Рис. 11. Формы паяных изделий:

*а, б, г – форма электромонтажных соединений;
в – форма соединений с металлизированными отверстиями*

Скелетная форма в отличие от заливной позволяет видеть контуры паяных соединений и с большей достоверностью оценивать качество монтажных соединений при их визуальном контроле.

Соединения пустотелых заклепок, лепестков, стоек и подобных конструктивных деталей с контактными площадками или печатными проводниками, выполненных методом развальцовки или расклепки, должны быть пропаяны по всему периметру развальцовки или расклепки.

Поверхность галтелей припоя швов должны быть гладкой, глянцевой или светло-матовой без темных пятен, трещин, крупных пор, грубозернистости, без игольчатых и дендритных образований, наплывов, брызг и выступов припоя, уменьшающих минимально допустимое расстояние между соединениями контактными площадками и печатным проводниками.

Конструкция паяных электромонтажных соединений при любой компоновке вариантах установки отдельных ЭРЭ на печатные платы должны обладать высокой ремонтпригодностью. Паяные соединения в отличие от сварных наиболее полно удовлетворяют этому требованию и обеспечивают быструю и неоднократную взаимозаменяемость отдельных элементов ЭРЭ без повреждения их выводов и элементов печатного монтажа. Однако высокая ремонтпригодность паяных соединений может не реализоваться из-за просчетов, допускаемых при компоновке и выборе конструктивных вариантов установки ЭРЭ на печатные платы, или из-за стремления любой ценой обеспечить высокую плотность монтажа.

Процессы контроля при монтаже ЭА включают:

- проверку соединяемых материалов на паяемость;
- контроль технологических режимов;
- оценку качества соединений.

Паяемость характеризует способность паяемого материала вступать в физико-химическое взаимодействие с расплавленным припоем и образовывать надежное паяное соединение. Паяемость зависит от физико-химической природы металлов, способа и режимов пайки, флюсующих сред, условий подготовки паяемых поверхностей.

Никакой другой процесс, кроме пайки, не вмещает в себя такой широкий круг физико-химических явлений, протекающих в твердой, жидкой и газовой фазе: восстановление и диссоциация, смачивание и капиллярное течение, диффузия и растворение и т. д.

Это делает особо актуальным изучение процессов, проникающих между твердым паяемым металлом и припоем, флюсом, газовой средой, не только для работки проблем пайки, но и в целях познания многих химических, электрохимических, физических, термодинамических, металлургических и других процессов.

В отличие от сварки плавлением пайка может быть осуществлена при любых температурах, лежащих ниже температуры плавления основного металла. Одним из преимуществ пайки является возможность соединения в единое целое за один прием множества заготовок, составляющих изделие. Поэтому пайка, как ни один другой способ соединения, отвечает условиям массового производства. Она позволяет соединять разнородные металлы, а также металлы со стеклом, керамикой, графитом и другими неметаллическими материалами, что невозможно или весьма трудно осуществить сваркой.

Поскольку при пайке не происходит расплавления кромок паяемых деталей, то при использовании этого способа соединения проще сохранить в процессе изготовления требуемую форму и размеры изделия. Применяя низкотемпературную пайку, удастся сохранить неизменной структуру и свойства металла соединяемых деталей. Важным преимуществом пайки является разъемность паяных соединений, что делает ее незаменимой при монтажных и ремонтных работах в радиостроении и приборостроении.

Наряду с этим пайка обеспечивает в ряде случаев более высокую надежность изделий, чем сварка. При применении рациональных сочетаний паяемых материалов и припоев и использовании конструкций с оптимальной площадью перекрытия надежность паяных соединений в 4 раза выше, чем сварных, для самолетов и в 20 раз выше для космических аппаратов.

В соответствии с природой и особенностями технологического процесса пайку классифицируют:

- по характеру взаимодействия твердого и жидкого металлов при возникновении спая;
- по особенностям образования паяного соединения;
- по способам нагрева.

По характеру взаимодействия и природе связей на границе основной металл – припой выделяют четыре вида спаев: бездиффузионный, растворно-диффузионный, контактно-реакционный и диспергированный.

По особенностям технологии получения паяного соединения (режим пайки, способ введения припоя, формование шва) выделяют капиллярную пайку, диффузионную, контактно-реактивную, реактивно-флюсовую и некапиллярную пайку.

Производство электроники сопровождается контролем качества на всех этапах изготовления. Начиная от входного контроля комплектующих и заканчивая выходным контролем готовой продукции.

Контроль качества пайки можно разделить на контроль пайки конструкции и контроль пайки электрических соединений. Визуальный

контроль паяных соединений с использованием увеличителей продолжает играть основную роль в оценке качества паяных соединений.

Качественное паяное изделие можно получить при исключительно чистых поверхностях соединяемых деталей. Непосредственно перед пайкой поверхности подвергаются соответствующей обработке для очистки от загрязнений и масел, удаления окисных пленок, а также для нанесения покрытий, облегчающих протекание процессов пайки, нанесения барьерных покрытий.

Качественный ВИК особенно необходим при оценке таких характеристик как размеры зазоров, наличие флюсов, смачивание контактов, степень заполнения зазоров припоем.

В электронной промышленности широко используется визуальный контроль отдельных электронных элементов и сложных электронных сборок для определения надежности электрических систем. Конструкции электрических устройств со все более и более увеличивающейся плотностью расположения элементов, очень чувствительны к мелким загрязнениям, которые могут существенно ухудшить электрические характеристики. Визуальный контроль печатных плат выполняется на различных стадиях их изготовления, начиная от заготовок плат до законченныхборок с целью выявления механических и электрических перенапряжений, проверки масок проводящих и непроводящих элементов и аномалий, таких как отслоений. Контроль необходим для обнаружения перемычек или проводящих частиц, которые могут стать перемычками и закортить электрическую цепь, а также для выявления повреждений мелких печатных плат, которые могут разорвать электрическую цепь. ВИК гибридной микроэлектроники, подложек и дискретных элементов при малом увеличении зачастую выполняется с увеличением от 7 до 60 крат с помощью бинокулярного микроскопа под углом примерно 30 градусов от перпендикуляра к поверхности подложки при соответствующем освещении объекта.

Визуальный контроль с большим увеличением микроэлектронных подложек и компонентов проводится с увеличением от 50 до 200 крат. Так проводится контроль микроскопического проволочного монтажа и фоторезистивных подложек, изложено в справочнике [4].

В настоящее время на многих предприятиях принята система качества ГОСТ Р-ИСО 9001–2001 – и это действительно работающие процессы и системы, которые гарантируют не только измерение параметров качества, но также их анализ, на основе которого разрабатываются и реализуются меры по его улучшению.

И самое главное – качество не может быть разным – для опытных образцов или серии, для простых или сложных изделий. Четкий кон-

троль на каждом этапе производства, постоянное взаимодействие с техническими службами заказчика до выпуска первого изделия и двойная проверка ОТК при выходе остальных позволяет свести количество ошибок любого производства практически к нулю.

После выполнения монтажа осуществляется 100%-й контроль качества паяных соединений и правильности установки компонентов.

3.1. Дефекты паяных соединений

Качество паяных изделий определяется их прочностью, степенью работоспособности, надежностью, коррозионной стойкостью, способностью выполнять специальные функции (теплопроводность, электропроводность, коммутационные характеристики и т. п.). Обеспечение этих характеристик достигается оптимальными решениями в процессе производства паяного изделия. Дефекты, возникающие при изготовлении паяных изделий, можно разделить на дефекты заготовки и сборки, дефекты паяных соединений и паяных изделий.

К наиболее типичным дефектам паяных соединений относятся поры, раковины, шлаковые и флюсовые включения, непропаи, трещины. Эти дефекты классифицируют на две группы: связанные с заполнением расплавом припоя зазора между соединенными пайкой деталями и возникающие в процессе охлаждения изделия с температуры пайки. Дефекты первой группы связаны главным образом с особенностями заполнения капиллярных зазоров в процессе пайки. Дефекты второй группы обусловлены уменьшением растворимости газов в металлах при переходе их из жидкого состояния в твердое и усадочными явлениями. К ним также относится пористость кристаллизационного и диффузионного происхождения.

Одним из основных дефектов, чаще всего встречающихся в паяном шве, является отсутствие его сплошности, пустоты и пористости. Так как пустоты нарушают непрерывность слоя припоя, они неизбежно оказывают неблагоприятное влияние на прочность паяного соединения, поэтому нужно создавать такие условия, при которых пустоты можно свести к минимуму.

В зависимости от условий паяния площадь пустот в паяном соединении может изменяться в пределах от 5 до 65 % всей площади спаиваемых деталей. Особенно резко снижают усталостную прочность паяного соединения пустоты, расположенные у его края. При этих условиях они вызывают концентрацию напряжений и образец разрушается при напряжении, на 35 % меньшем обычного. Для того чтобы обеспечить высокое качество паяного соединения, необходимо, прежде всего, добиться минимально-

го количества этих пустот или, по крайней мере, рассеянного расположения их.

В настоящее время еще нет единого мнения о причинах появления пустот в паяном соединении. В общем случае образование пустот в слое припоя зависит от физико-химической природы и количества флюса, от атмосферы, в которой производилось паяние, состояния поверхности основного металла перед пайкой, состава припоя и металла основы, от температуры и способа паяния. Из всех этих факторов наибольшее влияние на появление раковин оказывают количество флюса и способ паяния.

Для получения удовлетворительного паяного соединения прежде всего нужно, чтобы как флюс, так и припой хорошо смачивали поверхность основного металла. При этом относительная смачивающая способность припоя должна быть больше, чем у флюса, в противном случае припой не будет замещать флюс в шве. Обычно эти условия соблюдаются, однако в некоторых отдельных участках паяного соединения, вследствие растворения во флюсе окислов, местных изменений поверхностного натяжения жидкого припоя или же ввиду неоднородности припоя или флюса, могут создаться условия, при которых жидкий припой не сможет заместить флюс; в этом случае в шве появятся включения флюса, ведущие к образованию раковин.

Другой причиной нарушений непрерывности слоя припоя в соединении являются пузырьки газа, образующегося в результате разложения флюса при температуре паяния. Эти газовые пузырьки аналогичны газовым раковинам в отливках. Чем значительнее площадь спаиваемых частей, тем труднее удаляется жидкий флюс из шва с избыточным припоем и тем больше возможность образования многочисленных раковин. Вредного влияния остатков флюса можно избежать, применяя пайку в газовой среде без жидких или порошкообразных флюсов. Влага в флюсе способствует образованию пустот. Лабораторные испытания и производственные наблюдения показывают, что при паянии с приложением давления или при скользящем смещении спаиваемых частей относительно друг друга образование раковин резко снижается.

В процессе охлаждения соединения из-за уменьшения растворимости газов происходит их выделение и образование рассеянной газовой пористости. Опыт высокотемпературной пайки алюминиевых сплавов с предварительной дегазацией припоев и флюсов показывает, что пористость металла шва при этом резко уменьшается.

Другой весьма распространенной причиной образования рассеянной пористости является возникновение так называемой усадочной пористости. Это явление характерно для случая затвердевания сплава с

широким интервалом кристаллизации. При малых зазорах усадочные междендритные пустоты, как правило, тянутся в виде цепочки в центральной части шва. При больших зазорах усадочные поры располагаются в шве более равномерно в междендритных пространствах.

Причиной образования пор в паяных швах может быть эффект сфероидизации. В этом случае пористость в зоне шва возникает в результате некомпенсированной диффузии атомов припоя и паяемого металла. Такого рода пористость возникает в системах припой – паяемый металл, у которых имеется заметное различие в коэффициентах диффузии.

Одной из существенных причин, вызывающих дефекты в паяных соединениях, является недостаточно тщательная подготовка паяемых поверхностей, плохая очистка от окислов и жира. В этом случае припой плохо затекает в зазор и не образует прочного соединения из-за недостаточной площади контакта между спаиваемыми поверхностями. Поэтому на очистку соединяемых поверхностей следует обратить особое внимание.

Причиной образования непропаев, которые берут начало у границы раздела с паяемым металлом, может явиться неправильное конструирование паяного соединения (наличие «глухих», не имеющих выхода полостей), блокирование жидким припоем газа при наличии неравномерного нагрева или неравномерного зазора, местное отсутствие смачивания жидким припоем поверхности паяемого металла. Причиной появления заблокированных остатков газа в швах может быть неравномерность движения фронта жидкости при затекании припоя в зазор. Фронт дробится на участки ускоренного и замедленного продвижения, в результате чего могут отсекаются малые объемы газа. Таким же образом может происходить захват флюса и шлаков в шве.

Трещины в паяных швах могут возникать под действием напряжений и деформаций металла изделия в процессе охлаждения. Принято различать холодные и горячие трещины. Холодные трещины образуются при температурах до 200 °С. Горячими называются трещины, образующиеся при температуре выше 200 °С. Эти трещины обычно имеют кристаллизационное или полигонизационное происхождение. Если в процессе кристаллизации скорость охлаждения высока и возникающие напряжения велики, а деформационная способность металла шва мала, то появляются кристаллизационные трещины. Полигонизационные трещины возникают уже при температурах ниже температуры солидуса после затвердевания сплава по так называемым полигонизационным границам, образующимся при выстраивании дислокации в металле в ряды и образовании сетки дислокаций под действием внутренних напря-

жений. Холодные трещины возникают чаще всего в зоне спаев, особенно в случае образования прослойки хрупких интерметаллидов. Трещины в паяемом металле могут появиться и в результате воздействия жидких припоев, вызывающих адсорбционное понижение прочности.

Неметаллические включения типа флюсовых или шлаковых возникают при недостаточно тщательной подготовке поверхности изделия к пайке или при нарушении ее режима. При слишком длительном нагреве под пайку флюс реагирует с паяемым металлом с образованием твердых остатков, которые плохо вытесняются из зазора припоем. Шлаковые включения могут образоваться также из-за взаимодействия припоев и флюсов с кислородом воздуха или пламенем горелки.

Правильное конструирование паяного соединения (отсутствие замкнутых полостей, равномерность зазора), точность сборки под пайку, дозированное количество припоя и флюсующих сред, равномерность нагрева – условия бездефектности паяного соединения.

Методы контроля паяных изделий, браковочные признаки и нормы определяются назначением изделия и обусловлены техническими требованиями на их производство

Метод контроля пайки выбирается в зависимости от требований к паяемому изделию. Чаще всего контроль ограничивается внешним осмотром после очистки от флюса и окислов: паяный шов не должен иметь видимых непропаянных мест, наплывов припоя и черноты. Детали, от которых требуется герметичность шва, испытываются воздухом или жидкостью под давлением.

Выборочным контролем определяется степень пропаявания, для чего детали разогревают до размягчения припоя, разъединяют и устанавливают качество затекания припоя в шов. В некоторых случаях определяется структура паяных соединений или исследуются образцы, вырезанные из паяных деталей.

При разрушающих методах контроля паяных изделий испытанию до разрушения подвергают: непосредственно изделие, образцы, вырезанные из взятого от партии изделия, или образцы, вырезанные из «свидетеля», т. е. паявшегося по той же технологии изделия, предназначенного для проведения испытаний. Для выявления механических свойств паяных соединений проводят испытания паяных образцов при различных способах нагружения: растяжении, сжатии, изгибе, кручении и др. Вид и требования разрушающих методов контроля определяются техническими условиями на паяное изделие.

3.2. Дефекты паяных соединений, выявляемые визуальным и измерительным методом контроля

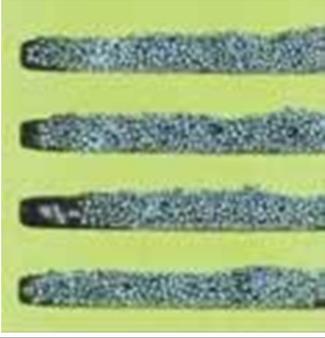
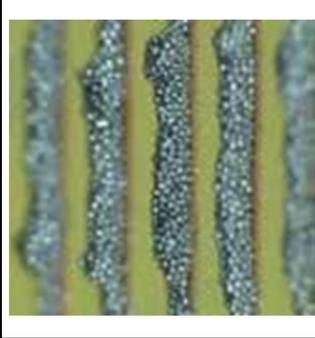
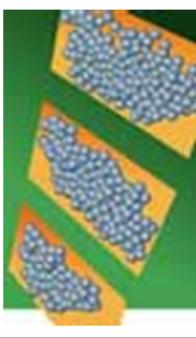
3.2.1. Дефекты трафаретной печати

Таблица 6

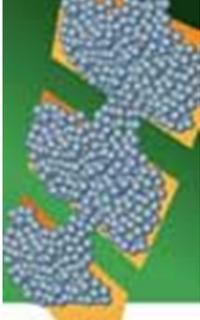
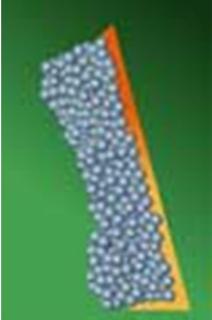
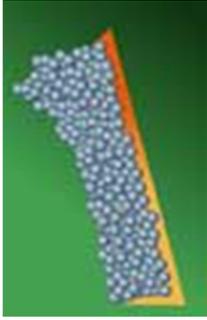
Дефекты трафаретной печати

| Пример дефекта | Описание дефекта | Возможные причины | Методы предотвращения |
|---|--|--|--|
|  | Загрязнение трафарета с нижней стороны – может привести к образованию шариков припоя и перемычек при пайке оплавлением | <ol style="list-style-type: none"> 1. Плохая очистка трафаретов. 2. Редкая очистка трафаретов. 3. Плохая поддержка печатных плат (прогиб). 4. Плохое совмещение трафарета с рисунком контактных площадок. 5. Зазор между трафаретом и печатной платой | <ol style="list-style-type: none"> 1. Использовать специальные материалы для очистки трафаретов. 2. Увеличить частоту очистки трафаретов снизу. 3. Обеспечить поддержку печатных плат снизу. 4. Обеспечить точное совмещение трафарета с рисунком контактных площадок. 5. Исключить зазор между платой и трафаретом |
|  | Деформация трафарета – может приводить к попаданию пасты за пределы контактных площадок, перемычкам и шарикам припоя | <ol style="list-style-type: none"> 1. Высокое давление ракеля. 2. Большое давление при совмещении трафарета с платой. 3. Плохое натяжение трафарета | <ol style="list-style-type: none"> 1. Уменьшить давление ракеля, (при походе ракеля трафарет должен полностью очищаться от паяльной пасты). 2. Уменьшить давление. 3. Обеспечить натяжение трафарета |

Продолжение табл. 6

| | | | |
|---|--|---|---|
|  | <p>Паяльная паста остается в апертюрах после разделения трафарета с печатной платой</p> | <p>1. Отверстия в трафарете заблокированы. 2. Высокая скорость разделения трафарета с печатной платой. 3. Неправильно выбран размер частиц паяльной пасты. 4. Площадь стенок апертюр значительно больше площади контактных площадок</p> | <p>1. Проверить и очистить окна в трафаретах. 2. Откорректировать скорость разделения трафарета с платой. 3. Заменить пасту. 4. Конструкция апертюр должна соответствовать требованиям стандарта IPC-7525</p> |
|  | <p>Неравномерные отпечатки паяльной пасты</p> | <p>Плохое отделение пасты от апертюр в трафарете</p> | <p>1. Проконтролировать скорость разделения трафарета и платы. 2. Проверить чистоту трафарета. 3. Увеличить скорость нанесения пасты для уменьшения вязкости. 4. Проверить качество паяльной пасты. 5. При локальном расположении дефектов проверить поддержку плат</p> |
|  | <p>Объем паяльной пасты на контактных площадках меньше 80 % от объема апертюры трафарета</p> | <p>1. Недостаточное количество пасты на трафарете. 2. Плохое отделение пасты от апертюр в трафарете. 3. Длительное время нахождения пасты на трафарете может приводить к подсыханию пасты и увеличению вязкости. 4. Слишком большой размер частиц припоя 5. Частичное закупоривание апертюр трафарета</p> | <p>1. Проверить количество пасты на трафарете. 2. Проконтролировать скорость перемещения и давление ракеля. 3. Проконтролировать свойства паяльной пасты. 4. Минимальная ширина окна в трафарете должна быть больше или равна пяти максимальным диаметрам шариков припоя. 5. Произвести очистку трафарета</p> |

Окончание табл. 6

| | | | |
|---|--|--|---|
|  | <p>Образование перемычек при нанесении паяльной пасты</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Слабое натяжение трафарета на раме. 2. Низкая вязкость паяльной пасты. 3. Повреждения (деформация) трафарета. 4. Размер апертур в трафарете равен размеру контактных площадок | <ol style="list-style-type: none"> 1. Обеспечить тщательное натяжение трафарета. 2. Проконтролировать температуру в рабочем помещении; снизить скорость перемещения ракеля; заменить пасту. 3. Заменить трафарет. 4. Уменьшить размер апертур |
|  | <p>Избыточное количество паяльной пасты на контактных площадках – может стать причиной возникновения перемычек после установки компонентов</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Низкое давление ракеля. 2. Истирание кромки ракеля (вмывание пасты). 3. Зазор между трафаретом и платой. 4. Большая толщина трафарета. 5. Недостаточная поддержка платы снизу | <ol style="list-style-type: none"> 1. Увеличить давление ракеля. 2. Заменить ракель. 3. Устранить зазор. 4. Заменить трафарет. 5. Обеспечить поддержку печатных плат снизу |
|  | <p>Дефект «собачьи уши» – достаточное количество паяльной пасты в целом, но неправильная форма отпечатка пасты, возможно возникновение перемычек при пайке</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Не отрегулирована скорость разделения трафарета с печатной платой. 2. Низкое давление ракеля. 3. Низкая скорость ракеля | <ol style="list-style-type: none"> 1. Отрегулировать скорость разделения трафарета с платой. 2. Увеличить давление ракеля (трафарет должен полностью очищаться от паяльной пасты после прохода ракеля). 3. Увеличить скорость перемещения ракеля |
|  | <p>Вычерпывание паяльной пасты – недостаточное количество паяльной пасты на контактных площадках</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Недостаточная жесткость ракеля. 2. Высокое давление ракеля. 3. Большой размер апертур (больше 2 × 2 мм) | <ol style="list-style-type: none"> 1. Использовать металлический ракель. 2. Уменьшить давление ракеля. 3. Уменьшить размер окон в трафарете |

Комментарии:

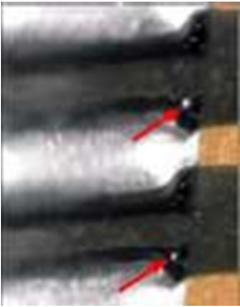
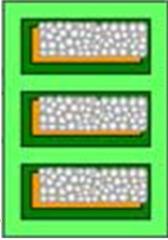
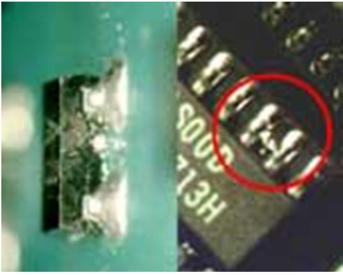
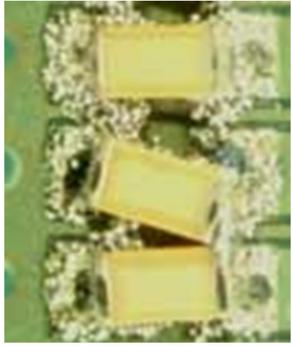
1. Используйте специальные безворсовые материалы и промывочные жидкости для очистки трафаретов.
2. Рекомендуется проводить очистку трафаретов с нижней стороны после нанесения пасты на каждые 10–15 плат, при использовании компонентов с малым шагом может потребоваться очистка через 3–5 плат.
3. Скорость разделения трафарета с печатной платой зависит от типа пасты (см. ТУ на пасту) и минимального шага компонентов.
4. Минимальная ширина апертур должна быть больше или равна пяти максимальным диаметрам шариков припоя.
5. Диаметр валика пасты на трафарете должен находиться в диапазоне от 12,5 до 25 мм.
6. Рекомендуемый размер апертур в трафарете должен составлять 75–90 % от размеров контактных площадок.
7. Для больших контактных площадок рекомендуется уменьшать размер апертур путем деления перемычками (шириной 0,2 мм) на две и больше апертур.

3.2.2. Дефекты пайки оплавлением: шарики припоя

Шарики припоя представляют собой сферические образования из припоя, остающиеся после процесса пайки. Бусинки припоя обычно являются мелкими шариками размером с зерно припоя исходной паяльной пасты, разбрызгиваемыми вокруг паяного соединения в процессе пайки оплавлением (табл. 7).

Таблица 7

Дефекты пайки оплавлением: Шарики припоя

| Пример дефекта | Описание дефекта | Возможные причины | Методы предотвращения |
|---|---|--|---|
|  | <p>Отдельные или группа шариков припоя расположенных возле каждого вывода компонента, например, как показано на рис. по направлению часовой стрелки – 5 часов</p> | <p>1. Смещение отпечатков паяльной пасты при нанесении, например:</p>  | <ol style="list-style-type: none"> 1. Обеспечить точное совмещение апертур трафарета с рисунком печатной платы на операции трафаретной печати. 2. Уменьшить размер апертур в трафарете |
|  | <p>Крупные шарики припоя рядом с контактными площадками</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Избыточное количество паяльной пасты на контактных площадках – выдавливание паяльной пасты с контактной площадки при установке компонента (дефект сопровождается избыточным количеством припоя на паяных соединениях). 2. Растекание (осадка) паяльной пасты | <ol style="list-style-type: none"> 1. Уменьшить толщину трафарета (для большинства применений рекомендуемая толщина трафарета составляет 150 мкм); уменьшить размер апертур в трафарете |
|  | <p>Шарики припоя на контактных площадках – паяное соединение отсутствует или имеет низкую механическую надежность.</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Истек срок годности паяльной пасты, низкое качество паяльной пасты. 2. Высокая влажность в рабочем помещении. 3. Длительное время нахождения пасты на трафарете. 4. Длительное время между процессами нанесения паяльной пасты и пайки. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Заменить паяльную пасту; провести испытания на шариковый припой. 2. Влажность должна находиться в пределах 30–70 % RH. 3. Не рекомендуется использовать пасту, которая находилась на трафарете больше 8 часов, заменить пасту. |

3.2.3. Дефекты пайки оплавлением: отсутствие смачивания

Отсутствие смачивания или плохая смачиваемость – это отсутствие (полное или частичное) способности смачивания твердых металлических поверхностей (выводов компонентов или контактных площадок) расплавленным припоем.

Высокая или низкая температура пайки может стать одной из причин ухудшения смачиваемости:

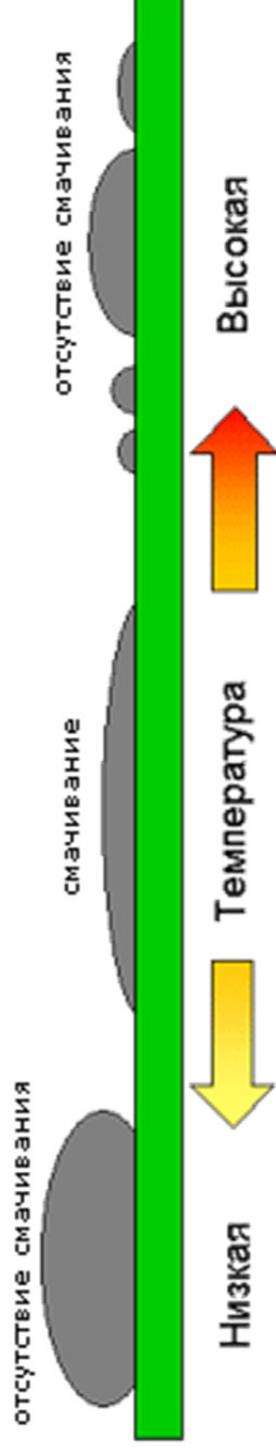
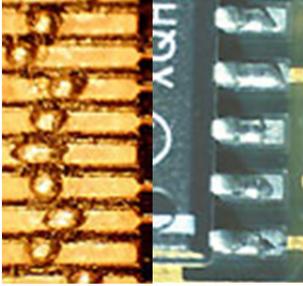
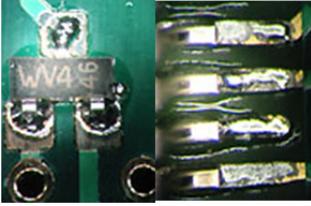


Таблица 8

Дефекты пайки оплавлением: отсутствие смачивания

| Пример дефекта | Описание дефекта | Возможные причины | Методы предотвращения |
|---|---|--|---|
|  | Отсутствие или плохая смачиваемость контактных площадок: припой неравномерно распределяется по поверхности контактных площадок в виде полусферических островков | <ol style="list-style-type: none"> 1. Загрязнение контактных площадок. 2. Низкая активность флюса. 3. Очень тонкое покрытие горПОС (HASL) | <ol style="list-style-type: none"> 1. Перед началом сборки произвести очистку печатных плат с помощью специальных жидкостей (например, VIGON S 100 для покрытий Ni/Au, Ni/Pd и Cu). 2. Использовать паяльную пасту с более активным флюсом. 3. Низкое качество изготовления печатных плат, предъявить претензии изготовителю |
|  | Отсутствие или плохая смачиваемость контактных площадок и выводов компонентов | <ol style="list-style-type: none"> 1. Перегрев паяльной пасты (выгорание флюса и вторное окисление паяемых поверхностей). 2. Истощение и потеря защитных свойств флюса на этапе предварительного нагрева. 3. Недостаточное количество пасты | <ol style="list-style-type: none"> 1. Понизить температуру пайки; уменьшить время пребывания выше температуры плавления при пайке до 30–90 с. 2. Уменьшить время на стадии стабилизации. 3. Увеличить количество паяльной пасты |
|  | Плохая паяемость контактных площадок с покрытием электрохимический никель / иммерсионное золото (Ni/Au). | <ol style="list-style-type: none"> 1. Нарушены условия хранения печатных плат. 2. Низкое качество изготовления печатных плат (золото по окисленному никелю) | <ol style="list-style-type: none"> 1. Печатные платы должны храниться в вакуумной упаковке в шкафах сухого хранения (25 °C и влажности 10 %). Срок хранения не должен превышать 6 месяцев с даты производства. 2. Провести входной контроль паяемости печатных плат, при несоответствии – претензии изготовителю |

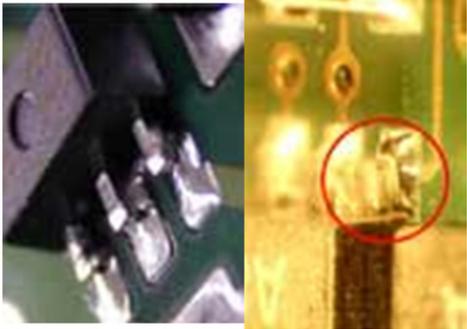
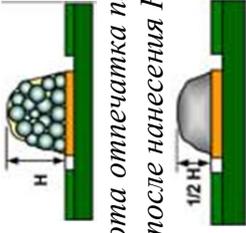
3.2.4. Дефекты пайки оплавлением: отсутствие паяного соединения

Таблица 9

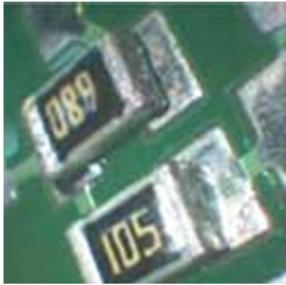
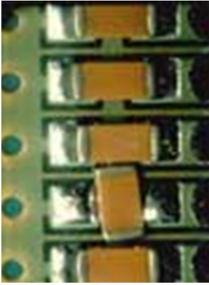
Дефекты пайки оплавлением: Отсутствие паяного соединения

| Пример дефекта | Описание дефекта | Возможные причины | Методы предотвращения |
|---|---|---|--|
|  | <p>Не оплавленная паяльная паста после процесса пайки остается в виде массы состоящей из отдельных шариков припоя</p> | <p>1. Неправильные настройки оборудования пайки, оборудование не успело выйти на заданный профиль после включения. Источение флюса на этапе предварительного нагрева (флюс потерял флюсующие и защитные свойства).</p> <p>2. Используется паяльная паста с истекшим сроком годности или неправильными условиями хранения.</p> <p>Длительное время выдержки печатных плат между процессами нанесения паяльной пасты, установка компонентов и пайки</p> | <p>1. Обеспечить достаточное время для выхода оборудования на заданные режимы, измерить температурный профиль и в случае необходимости откорректировать. Уменьшить время на стадии стабилизации (не более 120 с).</p> <p>2. Провести испытания пасты «на шарики припоя», заменить паяльную пасту.</p> <p>3. Сократить межоперационное время, конкретные значения зависят от типа паяльной пасты и условий окружающей среды, определяются экспериментальным путем</p> |
|  | <p>Бугристые, неровные, матовые паяные соединения на отдельных выводах крупногабаритных микросхем: наблюдается на отдельных или на всех выводах крупных микросхем. Небольшие компоненты полностью запаяны</p> | <p>Крупногабаритные корпуса требуют большей передачи тепла и большего времени для образования паяного соединения. Недостаточное время и/или температура выше точки плавления приводят к отсутствию пайки</p> | <p>Варьируя параметрами «температура» и «время» на стадии стабилизации, «температура» и «время» на стадии пайки, откорректировать температурный профиль</p> |

Продолжение табл. 9

| | | | |
|---|--|---|---|
|  | <p>Отсутствие контакта отдельных выводов компонентов с оплавленным припоем Вывод компонента приподнят над галтелью припоя</p> | <p>1. Неравномерное нанесение пасты на контактную площадку (например, при нанесении пасты дозатором). 2. Низкое давление при установке компонента</p>  <p><i>Высота отпечатка пасты после нанесения H</i></p> <p><i>Высота галтели припоя после пайки равна половине высоты отпечатка</i></p> | <p>1. Обеспечить равномерное нанесение пасты на контактные площадки. 2. Откорректировать давление при установке компонентов</p> |
|  | <p>Отсутствие контакта отдельных выводов компонентов с оплавленным припоем. Деформированный вывод компонента или некопланарная поверхность контактных площадок. Чаще всего дефект наблюдается на компонентах с малым шагом</p> | <p>Дефект может возникнуть в случае некопланарности выводов и контактных площадок. Деформация выводов компонентов возможна при транспортировке или установке компонентов</p> | <p>1. Проверить компланарность выводов перед установкой. 2. Исключить ручные операции установки компонентов. 3. Проверить равномерность металлизации, использовать печатные платы с покрытием Ni/Au</p> |
|  | <p>Эффект «надгробного камня»</p> | <p>Неравномерное распределение сил поверхностного натяжения на противоположных концах чип-компонентов заставляет подниматься один из торцов чип-компонента над контактной площадкой</p> | <p>Провести анализ причин возникновения дефекта и предпринять методы по его предотвращению</p> |

Окончание табл. 9

| | | | |
|--|---|---|--|
|  | <p>Отсутствие паяного соединения или недостаточное количество припоя на паяном соединении</p> | <p>Дефект возникает в результате ошибок на стадии трафаретной печати (недостаточное количество паяльной пасты). Возможные причины: – недостаточный размер окон в трафарете; – загрязнение трафарета; – низкое давление ракеля; – смещение отпечатков паяльной пасты</p> | <p>Провести анализ причин возникновения дефекта и предпринять методы по его предотвращению.</p> |
|  | <p>Отсутствие паяного соединения в результате разворота чип-компонента</p> | <p>1. Ошибки оборудования установки компонентов. 2. Неаккуратное обращение с печатными платами</p> | <p>1. Отрегулировать оборудование установки компонентов. 2. Осуществлять межоперационное перемещение плат в специальной таре</p> |
|  | <p>Отсутствие паяного соединения в результате смещения чип-компонента</p> | <p>1. Неточная установка компонентов. 2. Неправильная конструкция контактных площадок (одна площадка длиннее другой или универсальные контактные площадки под разные типоразмеры компонентов, например 0805 и 0603)</p> | <p>1. Повысить точность установки компонентов. 2. Изменить конструкцию контактных площадок</p> |

3.2.5. Дефекты пайки оплавлением: перемычки и пустоты

Пустоты в паяном соединении – это полости внутри паяного соединения, образуемые в процессе пайки. Пустоты могут быть заполнены остатками флюса. Методы обнаружения – с помощью оборудования рентгеновского контроля или методом разрушающего контроля путем снятия микрошлифа.

Если в паяном соединении содержится небольшое количество пустот малого размера, то ремонт не требуется. Считается допустимым наличие 20–25 % пустот относительно площади контактных площадок. В некоторых случаях наличие небольшого количества пустот распределенных внутри паяного соединения может оказать положительное влияние на надежность паяного соединения, например, в случае образования трещин. Трещины в паяном соединении, возникающие в результате воздействия механических напряжений, могут приводить к разрушению паяных соединений, наличие небольших пустот будет способствовать предотвращению распространения трещин (рис. 12). При анализе пустот следует учитывать размер пустот, их количество и расположение внутри паяного соединения.

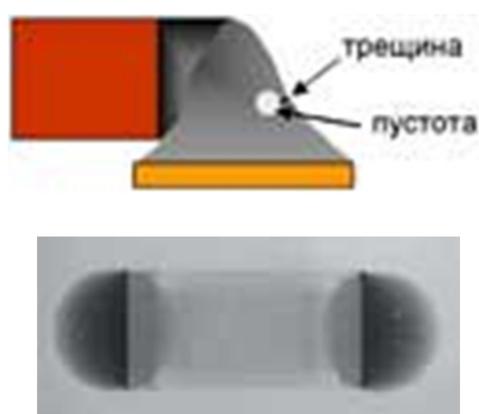
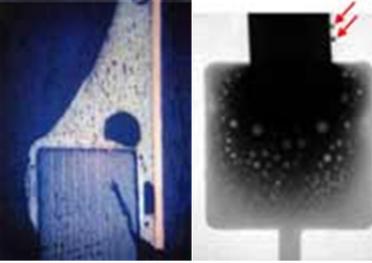
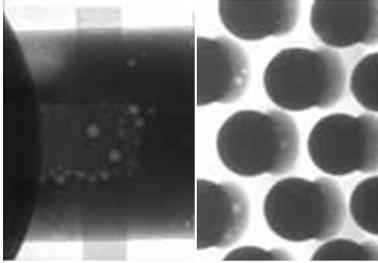


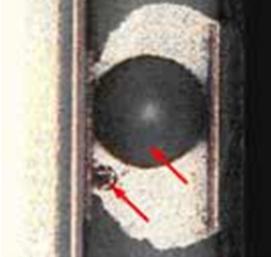
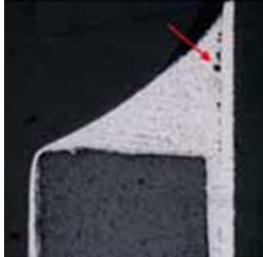
Рис. 12. Пример допустимого количества пустот в паяном соединении

Таблица 10

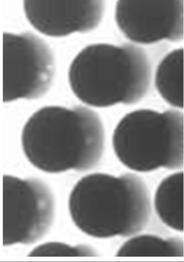
Дефекты пайки оплавлением: перемычки и пустоты

| Пример дефекта | Описание дефекта | Возможные причины | Методы предотвращения |
|--|--|--|---|
|  | <p>Пустоты в паяных соединениях (рис. вверху – микрошлиф, рис. внизу – рентгеновский снимок). Низкая механическая прочность и возможность разрушения паяных соединений</p> | <p>Высокая скорость предварительного нагрева. Формирование пустот на стадии предварительного нагрева происходит из-за быстрого нагрева и интенсивного испарения растворителя паяльной пасты. В большинстве случаев формирование пустот сопровождается разбрызгиванием шариков припоя (см. рис.)</p> | <p>Обеспечить медленное повышение температур на стадии предварительного нагрева (0,5–1,5 °C/c)</p> |
|  | <p>Пустоты в паяных соединениях при использовании бессвинцовой технологии. Низкая механическая прочность и возможность разрушения паяных соединений</p> | <p>Бессвинцовые компоненты + паяльная паста со сплавом олово-свинец: плохая паяемость бессвинцовых компонентов при низких температурах пайки (формирование пустот происходит по контуру выводов компонентов, см. рис.). Бессвинцовые компоненты и паяльная паста: более высокая сила поверхностного натяжения припоя (затруднен выход газов при пайке)</p> | <p>Повысить температуру пайки. Уменьшить количество паяльной пасты на контактных площадках. Обеспечить медленное повышение температур на стадии предварительного нагрева (0,5–1,5 °C/c)</p> |

Продолжение табл. 10

| | | | |
|---|---|--|--|
|  | <p>Пустоты внутри паяных соединений BGA корпусов</p> | <p>Образование больших пустот в паяных соединениях BGA корпусов, как правило, происходит при большой разнице размеров контактных площадок печатных плат и на подложке корпуса BGA (см. рис.). Большие пустоты в паяных соединениях BGA компонентов приводят к низкой механической прочности и разрушению паяных соединений</p> | <p>Обеспечить конструкцию контактных площадок в соответствии с требованиями стандарта IPC-7351 «Общие требования по конструированию контактных площадок и печатных плат с применением технологии по-верхностного монтажа»</p> |
|  | <p>Пустоты на поверхности контактных площадок</p> | <p>Газация финишного покрытия в процессе пайки (мелкие пустоты, расположенные вдоль поверхности контактных площадок)</p> | <p>Заменить поставщика печатных плат. Откорректировать процессы изготовления печатных плат</p> |
|  | <p>Переемычки и мостики припоя между выводами компонентов</p> | <p>Избыточное нанесение паяльной пасты. Неправильное нанесение или смещение отпечатков паяльной пасты. Неточная установка компонентов, высокое давление при установке компонентов (выдавливание паяльной пасты за пределы контактных площадок. Расползание (осадка) паяльной пасты</p> | <p>Проверить толщину фольги и размер апертур в трафарете (используйте рекомендации стандарта IPC-7525 «Руководство по конструированию трафаретов»). Контролировать точность нанесения пасты. Проконтролировать точность и качество установки компонентов</p> |

Переемычки и мостики припоя – это образуемые припоем соединения между соседними площадками не предусмотренные конструкцией печатных узлов, результатом являются короткие замыкания и электрический отказ изделия.

| | | | |
|--|---|--|--|
|  | | <p>Наличие различных загрязнений в результате плохой очистки трафаретов (ворсинки и волоски, которые становятся мостиками для перетекания припоя в процессе пайки). Неправильное расположение контактных площадок (очень маленькое расстояние между соседними чип-компонентами)</p> | <p>Проконтролировать температуру и влажность в рабочем помещении; провести тест на растекание метод 2.4.35 стандарта IPC-TM-650 «Методы испытаний». Произвести очистку печатных плат перед сборкой; обеспечить регулярную очистку трафарета с нижней стороны. Обеспечить разводку печатных плат в соответствии с требованиями стандарта IPC-7351 «Общие требования по конструированию контактных площадок и печатных плат с применением технологии поверхностного монтажа»</p> |
|   | <p>Пустоты в паяных соединениях при использовании бессвинцовой технологии. Низкая механическая прочность и возможность разрушения паяных соединений</p> | <p>Бессвинцовые компоненты + паяльная паста со сплавом олово-свинец: плохая паяемость бессвинцовых компонентов при низких температурах пайки (формирование пустот происходит по контуру выводов компонентов, см. рис.). Бессвинцовые компоненты и паяльная паста: более высокая сила поверхностного натяжения припоя (затруднен выход газов при пайке)</p> | <p>Повысить температуру пайки. Уменьшить количество паяльной пасты на контактных площадках. Обеспечить медленное повышение температур на стадии предварительного нагрева (0,5–1,5 °C/c)</p> |

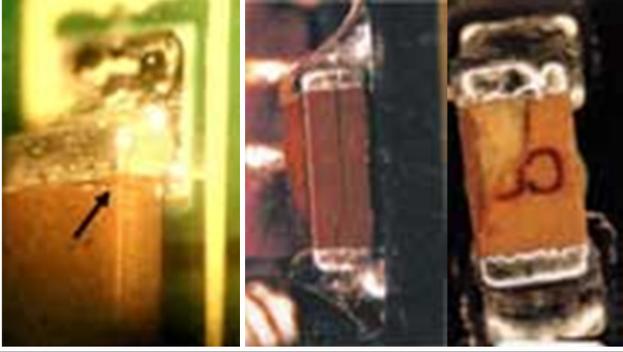
3.2.6. Дефекты пайки оплавлением: повреждение компонентов и паяных соединений

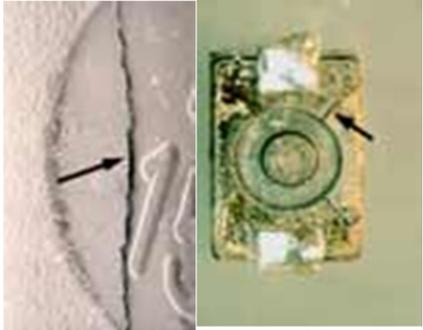
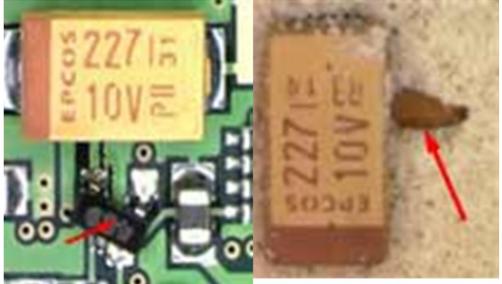
Повреждения компонентов – трещины и сколы, которые были обнаружены после процесса пайки оплавлением, могут возникать как в результате неправильного выбора температурных профилей пайки, так и на последующих операциях, например при разделении групповых заготовок, испытаниях на вибрацию, удар, термоциклирование. В каждом конкретном случае необходимо анализировать все возможные причины возникновения того или иного дефекта, поэтому в данном разделе представлены различные причины повреждения корпусов компонентов.

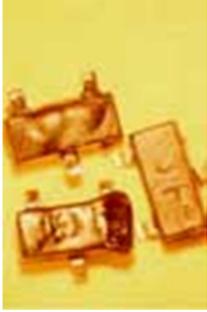
При выборе температурных профилей пайки с целью минимизации количества дефектов следует руководствоваться требованиями международного стандарта J-STD-020C «Классификация чувствительности к влажности / пайке для негерметичных твердотельных компонентов поверхностного монтажа».

Таблица 11

*Дефекты пайки оплавлением:
повреждение компонентов и паяных соединений*

| Пример дефекта | Описание дефекта | Возможные причины | Методы предотвращения |
|--|---|---|--|
|  | <p>Растрескивание чип-компонентов. Чаще всего наблюдается с многослойными керамическими чип-конденсаторами, которые вследствие специфической многослойной структуры в большей степени склонны к возникновению трещин и сколов в процессе сборки по сравнению с другими чип-компонентами</p> | <p>Высокое давление при установке компонентов на печатную плату. Тепловой удар в процессе пайки. Высокие механические напряжения вследствие избыточного содержания припоя на паяном соединении. Деформация печатных плат в процессе пайки вследствие поддержки снизу длинная печатная плата низкое качество базового материала. Деформация печатных плат на этапе нанесения паяльной пасты и установки компонентов (повреждение чип-компонентов на нижней, свободной стороне платы). Изгиб и деформация печатных плат при разделении групповых заготовок (ручное выламывание печатных плат)</p> | <p>Откалибровать оборудование и/или отрегулировать давление при установке компонентов. Уменьшить температуру и время пайки, снизить скорость охлаждения (не более 3–4 °C/c). Не допускать избыточного количества припоя на контактных площадках, уменьшить толщину трафарета. Обеспечить поддержку плат снизу при пайке. Отношение длины к ширине платы не должно превышать 3 : 2. Заменить поставщика печатных плат (использовать качественные диэлектрики). Обеспечить поддержку плат снизу при трафаретной печати и установке компонентов. Исключить деформацию плат при разделении групповых заготовок (необходимо использовать надлежащее оборудование)</p> |

| | | | |
|--|---|--|---|
|  | <p>Трещины в пластмассовых корпусах</p> | <p>Основные причины растрескивания пластиковых корпусов связаны с неправильным выбором режимов пайки.</p> <p>Крупногабаритные пластиковые корпуса, например QFP и TSOP, склонны к растрескиванию в процессе пайки. Проблема связана с насыщением корпусов влагой в процессе хранения. Испарение влаги и расширение корпусов в процессе пайки приводят к образованию трещин</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Проконтролировать режимы пайки (максимальную температуру и время) на соответствие спецификациям производителей электронных компонентов. • Обеспечить условия хранения крупногабаритных корпусов в специальных условиях предотвращающих адсорбцию корпусами влаги; провести предварительную сушку крупногабаритных корпусов перед сборкой печатных плат |
|  | <p>Газация танталовых конденсаторов</p> | <p>В процессе пайки может происходить газация танталовых конденсаторов. Влага абсорбированная в процессе хранения танталовых конденсаторов вырывается с такой силой в процессе пайки, что приводит к образованию трещин в корпусе компонента и смещению соседних компонентов (см. рис.)</p> | <p>Произвести сушку танталовых конденсаторов перед установкой (упаковка должна быть устойчива к температурным воздействиям Dry Packs).</p> <p>Использовать танталовые конденсаторы других производителей</p> |

| | | | |
|---|---|---|---|
|  | <p>Оплавление или обугливание корпусов компонентов</p> | <p>Пластмассовые корпуса могут оплавляться или обугливаться при высоких температурах пайки. Обычно такие корпуса имеют устойчивость к высоким температурным воздействиям, тем не менее высокая температура и время пайки могут приводить к повреждению корпусов</p> | <p>Снизить пиковую температуру пайки. Уменьшить время пайки. Использовать компоненты других производителей (если дефект наблюдается только на отдельных компонентах)</p> |
|  | <p>Бугристое, пористое, неровное паяное соединение серого цвета</p> | <p>Может быть вызвано перемещением компонента или вибрацией в процессе охлаждения припоя. «Холодная пайка» является результатом низкой температуры пайки</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Предотвратить вибрацию конвейера печи в процессе пайки. • Повысить температуру пайки до 215–225 °С для паяльных паст на основе сплава олово-свинец и до 235–245 °С для бессвинцовых сплавов |
|  | <p>Отслоение паяного соединения от контактной площадки</p> | <p>Возникает в результате плохой очистки поверхности контактных площадок перед сборкой. Нарушение покрытия золотого/никель</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Обеспечить очистку печатных плат перед сборкой. • Проконтролировать паяемость контактных площадок, заменить поставщика печатных плат |
|  | <p>Трещины в паяном соединении. Обычно обнаруживаются после тестирования: климатических испытаний, удар, вибрация и т. д.</p> | <p>Изгиб печатных плат при разделении групповых заготовок. Механические напряжения при испытаниях. Механические напряжения при пайке, возникающие за счет теплового расширения, на нижней стороне запаиваемой стороны двухстороннего печатного узла</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Использовать надлежащее оборудование для разделения групповых заготовок. • Обеспечить конструкцию контактных площадок в соответствии с требованиями стандартов IPC-SM-782A и IPC-7351. • Откорректировать температурный профиль |

3.2.7. Дефекты пайки оплавлением: дефекты компонентов в корпусах BGA

Компоненты в корпусах BGA являются наиболее сложными компонентами с точки зрения позиционирования при установке, пайки и контроля. Визуальный контроль паяных соединений для компонентов BGA крайне затруднен, требуется наличие специального оборудования, например систем визуального контроля ERSASCOPE.

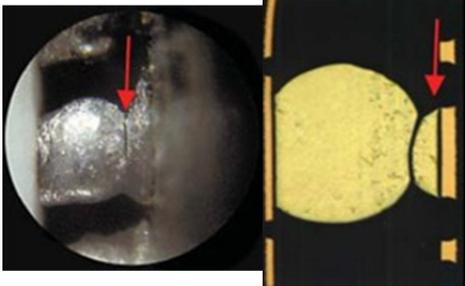
Наиболее точные результаты контроля достигаются при рентгеновском контроле или при разрушающем контроле путем снятия микрошлифа.

Критерии качества паяных соединений BGA компонентов с применением визуального и рентгеновского методов контроля рассмотрены в новой версии международного стандарта IPC-A-610D «Критерии качества электронных сборок» (февраль 2005 года). А требования к конструкции BGA, контактных площадок, анализ и классификация дефектов пайки в зависимости от класса аппаратуры приведены в стандарте IPC-7095A «Конструкция и внедрение процессов сборки с применением BGA» (октябрь 2004 года).

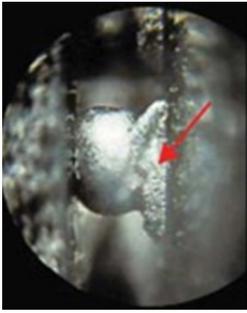
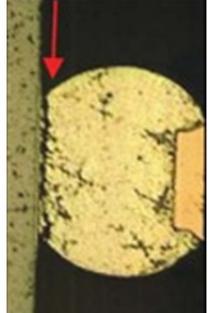
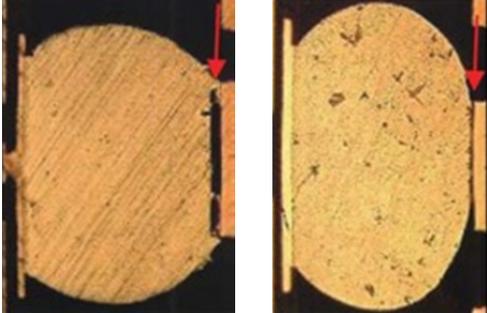
В настоящей публикации приведен анализ различных дефектов паяных соединений компонентов в корпусах BGA, причинами которых являются ошибки при разработке и производстве печатных плат, установке и пайке компонентов.

Таблица 12

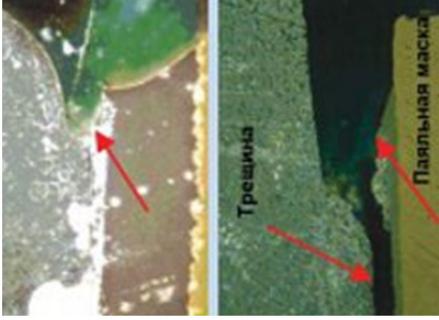
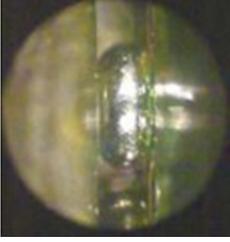
Дефекты пайки оплавлением: дефекты компонентов в корпусах BGA

| Пример дефекта | Описание дефекта | Возможные причины | Методы предотвращения |
|--|---|--|--|
|  | <p>Эффект «Поп-корна». Метод контроля – рентген.</p> <p>В центре микросхемы паяные соединения отсутствуют (малый размер шариков свидетельствует об отсутствии механического контакта), вокруг центральной части большое количество перемычек припоя</p> | <p>Поглощение корпусом компонента влаги. В процессе пайки интенсивное испарение влаги может приводить к:</p> <ul style="list-style-type: none"> – выдавливанию припоя из центра и формированию избыточного количества припоя на паяных соединениях вокруг центральной части или образованию перемычек; – повреждению корпуса компонента (расслоения, трещины) | <p>Обеспечить хранение BGA компонентов в соответствующей упаковке, предотвращающей поглощение влаги (dry pack), или в шкафах сухого хранения.</p> <p>Обеспечить предварительную сушку компонентов перед сборкой (125 °С x 24 ч), однако подобная процедура может оказать негативное влияние на паяемость выводов компонентов</p> |
|  | <p>Неполное оплавление паяльной пасты в процессе пайки.</p> <p>Метод контроля – визуальный.</p> <p>Паяльная паста оплавлена не полностью. Поверхность паяного соединения шероховатая повторяет форму частиц паяльной пасты</p> | <p>Неправильный выбор температурного профиля.</p> <p>Недостаточное время и/или температура предварительного нагрева.</p> <p>Недостаточное время и/или температура пайки</p> | <p>Измерить температурный профиль и откорректировать режимы предварительного нагрева и/или пайки</p> |

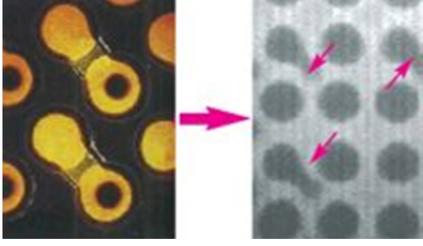
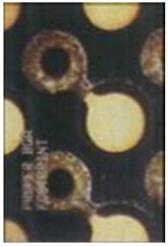
Продолжение табл. 12

| | | | |
|--|---|--|---|
|  | <p>Трещины и разрывы в паяном соединении. Метод контроля – визуальный, рентген, снятие микрошлифа</p> | <p>Плохая паяемость шариковых выводов, дефект сопровождается неправильной формой галтели припоя (см. рис.). Низкая температура и/или время пайки</p> | <p>Использовать паяльную пасту с более активным флюсом. Повысить температуру и/или время пайки</p> |
|  | <p>Трещины и разрывы между шариком и подложкой микросхемы. Метод контроля – визуальный, рентген, снятие микрошлифа</p> | <p>Высокие механические нагрузки, возникающие из-за разного коэффициентов теплового расширения, как правило, наблюдаются у керамических СВГА</p> | <p>Снизить скорость охлаждения после пайки</p> |
|  | <p>Отсутствие смачивания контактных площадок. Метод контроля – визуальный, рентген, снятие микрошлифа. Полное отсутствие или слабый электрический и механический контакт паяного соединения</p> | <p>Плохая паяемость контактных площадок. Загрязнение контактных площадок в процессе хранения и сборки ПУ. «Черные контактные площадки» – окисленное покрытие Ni/Au</p> | <p>Произвести испытания печатных плат на паяемость в соответствии с требованиями стандарта J-STD-003A «Тесты на паяемость печатных плат». Обеспечить хранение печатных плат в вакуумной упаковке, произвести предварительную очистку контактных площадок перед сборкой (например, с помощью Vigon S100), для перемещения плат использовать защитные перчатки. Заменить поставщика печатных плат</p> |

Продолжение табл. 12

| | | | |
|--|--|---|---|
|  | <p>Затекание паяльной маски на контактную площадку. Метод контроля – визуальный, рентген, снятие микрошлифа. Дефект может стать причиной возникновения трещин в паяном соединении</p> | <p>Ошибки при разработке или изготовлении печатных плат</p> | <p>Проконтролировать правильность конструкции контактных площадок на соответствие требованиям стандарта РС-7095А. Ввести операцию контроля качества нанесения паяльной маски на входном контроле печатных плат. Заменить поставщика печатных плат</p> |
|  | <p>Окисленные паяные соединения. Метод контроля – визуальный. Дефект носит косметический характер</p> | <p>Несколько циклов нагрева при пайке двухсторонних печатных плат. Высокая температура и время пайки.</p> | <p>Осуществлять пайку компонентов ВГА после сборки первой стороны. Уменьшить температуру и/или время пайки</p> |
|  <p>Пример уменьшения высоты шарикового вывода компонента ВГА при пайке с 500 до 300 мкм</p> | <p>Коллапс шариковых выводов. Метод контроля – визуальный. В процессе пайки низкотемпературные (Sn/Pb) шариковые выводы ВГА «расползаются». Типичное уменьшение высоты шариковых выводов составляет 10 %, уменьшение на 25 % является предельно допустимым</p> | <p>Длительное время пайки приводит к расплавлению и «расползанию» шариковых выводов</p> | <p>Откорректировать температурный профиль (уменьшить время пайки). Ограничить растекание припоя паяльной маской (см. требования стандарта РС-7095А)</p> |

| | | | |
|---|--|---|--|
|  | <p>Перегрев шариковых выводов. Метод контроля – визуальный. Поверхность паяных соединений и шариковых выводов бугристая, неровная, матовая</p> | <p>Высокая температура в процессе пайки. Повторное расплавление припоя (двухсторонний монтаж, ремонт)</p> | <p>Откорректировать температурный профиль (уменьшить температуру пайки). При двухстороннем монтаже обеспечить пайку BGA во втором цикле</p> |
|  | <p>«Холодная пайка». Метод контроля – визуальный, рентген, снятие микрошлифа. Низкая электрическая и механическая прочность паяного соединения, увеличение сопротивления контактов</p> | <p>Низкая температура пайки при пайке с применением флюс-геля (флюс-крема, флюс-пасты)</p> | <p>Увеличить температуру пайки</p> |
|  <p><i>Деформация паяного соединения</i></p>  <p><i>Деструкция паяного соединения</i></p> | <p>Деформация или деструкция паяных соединений. Метод контроля – визуальный. Приводит к снижению механической прочности паяных соединений</p> | <p>Перемещение компонентов в процессе охлаждения (до затвердевания припоя) – может происходить в результате вибрации конвейера печи. Деформация печатных плат при охлаждении (высокая скорость охлаждения, низкое качество базовых материалов). Ошибки при разработке печатных плат – неправильная конструкция/размещение контактных площадок</p> | <p>Предотвратить вибрацию конвейера печи. Снизить скорость охлаждения (руководствуйтесь требованиями стандарта J-STD-020C); использовать качественные материалы для печатных плат (при внедрении бесвинцовой технологии температура стеклования диэлектрика должна составлять не менее 150 °С). При конструировании печатных плат следует руководствоваться требованиями стандартов IPC-7095A и IPC-7351</p> |

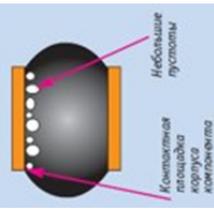
| | | | |
|---|--|---|--|
|  | <p>Затекание припоя в переходные отверстия. Метод контроля – рентген. Скелетная пайка, низкие механические характеристики паяного соединения, частично перекрытое припоём переходное отверстие становится ловушкой для загрязнений, создавая большие проблемы в процессе отмывки</p> | <p>Ошибки разработчика: открытые металлизированные отверстия рядом с контактной площадкой, узкая перемычка паяльной маски (см. рис.) может не обеспечивать защиту от проникновения припоя в процессе пайки в переходное отверстие</p> | <p>Обеспечить перекрытие сквозных и межслойных металлизированных отверстий паяльной маской (см. требования стандарта IPC-7095A).</p>  <p><i>Пример перекрытия отверстий паяльной маской</i></p> |
|---|--|---|--|

3.2.8. Дефекты пайки оплавлением: пустоты в шариковых выводах BGA

Причины возникновения пустот в шариковых выводах могут быть связаны с нарушением технологических режимов пайки, ошибками конструкцией печатных плат, дефектами производства компонентов.

Таблица 13

Дефекты пайки оплавлением: Пустоты в шариковых выводах BGA

| Пример дефекта | Описание дефекта | Возможные причины | Методы предотвращения |
|---|---|--|--|
|  | <p>Небольшие пустоты на границе шарикового вывода и контактной площадки корпуса компонента. Метод контроля – рентген, снятие микрошлифа</p> | <p>Дефект возникает на этапе производства компонентов</p> | <p>Ввести выборочный входной контроль (рентген). Заменить производителя компонентов</p> |
|  <p>Пример образования дефектов паяных соединений во время процесса пайки</p> | <p>Большие пустоты в месте контакта вывода компонента и контактной площадки на печатной плате. Метод контроля – рентген, снятие микрошлифа. Возникают как при пайке BGA с применением флюс-геля, так и при использовании паяльной пасты</p> | <p>Неправильная конструкция контактных площадок. Некоторые производители применяют специальную конструкцию контактных площадок для BGA с межслойными или сквозными металлizedванными отверстиями. Подобная конструкция применяется с целью упрощения центрирования компонентов с шариковыми выводами при установке, однако в процессе пайки это будет приводить к формированию больших пустот (см. рис.)</p> | <p>Исключить сквозные межслойные металлizedованные отверстия на контактных площадках под компоненты с шариковыми выводами (сквозные и межслойные металлizedованные отверстия должны быть отделены от контактной площадки зауженным проводником и перекрыты паяльной маской, см. пример выше)</p> |

3.2.9. Дефекты паяных соединений

Таблица 14

Дефекты паяных соединений

| Дефект | Причина возникновения | Меры предупреждения |
|--|--|--|
| Припой не смачивает | Недостаточный нагрев изделия под пайку | Повысить температуру пайки |
| | Наличие окисной пленки или других загрязнений | Проверить составы травителей и режимы обработки. При пайке в активных газовых средах проверить наличие среды |
| | Не обеспечено флюсование | Использовать более активный флюс или газовую среду, увеличить количество применяемых флюсующих средств |
| | Большая разность температур плавления припоя и флюса | Подобрать припой и флюс в соответствии с требованием технологии пайки |
| | Не обеспечена оптимальная шероховатость поверхности | Обеспечить подготовку поверхности к облуживанию (механически, химически или другим способом) |
| | Припой не взаимодействует с паяемым металлом | Заменить состав припоя; повысить температуру пайки; нанести на паяемый материал технологическое покрытие |
| Припой не затекает в зазор при наличии хорошего смачивания | Увеличен или уменьшен зазор в сравнении с оптимальным | Подобрать оптимальный зазор и обеспечить его поддержание в процессе пайки |
| Не образуется галтели с обратной стороны шва | Не выдержан оптимальный зазор, большая растворимость паяемого металла в припое | Изменить размер зазора до оптимального; поднять температуру пайки, увеличить количество припоя |
| | Не выдержан режим нагрева | Обеспечить равномерный прогрев всего изделия до оптимальной температуры |
| | Плохое качество очистки паяемой поверхности | Обеспечить более тщательную очистку поверхности перед пайкой, применять более активные флюсы или газовые среды |
| | Отсутствие выхода для газов из замкнутых полостей в зоне шва | Сделать технологические отверстия |

| Дефект | Причина возникновения | Меры предупреждения |
|-------------------------------------|--|---|
| Пористость шва | Недостаточное количество припоя вследствие уноса его при пайке связующим компонентом припоя | Использовать в качестве связующего паяльных паст полимеры, переходящие при нагреве из твердого состояния в газообразное (типа сополимера формальдегида с диаксоланом – СФД) |
| | Высокая температура нагрева или слишком продолжительный нагрев | Сократить время или снизить температуру пайки |
| | Испарение компонентов припоя и флюса | Пайку вести в контролируемой среде при минимальных температуре и выдержке; применить способ нагрева, обеспечивающий сокращение времени нагрева |
| | Влияние флюса или контролируемых сред | Применить пайку в вакууме |
| | Проникновение газов в зону пайки из диэлектриков при пайке печатных плат | Проверить качество металлизации отверстий печатных плат (толщина покрытия должна быть не менее 25 мкм). Перед пайкой нагревать печатные платы с целью их дегазации. Повысить продолжительность пайки для удаления газообразных компонентов через расплав припоя |
| Осадки на поверхности печатных плат | Выпадение белого осадка связано с составом флюса, режимом пайки, качеством защитных покрытий | Удалить осадки сухой щеткой или промывкой водой |
| | Выпадение темного осадка вследствие неправильного выбора флюса или неполного удаления остатков флюса | Удалить остатки канифольного флюса сразу после пайки с помощью растворителей. Остатки кислотных флюсов удалять с применением нейтрализующих их добавок |
| Трещины в паяном шве | Быстрое охлаждение после пайки | Уменьшить скорость охлаждения. Использовать нагрев концентрированным источником энергии |
| | Значительная разность ТКЛР паяемых материалов и припоя | Подобрать материалы с близкими ТКЛР |

| Дефект | Причина возникновения | Меры предупреждения |
|--|---|---|
| | Пайка припоями с широким интервалом кристаллизации | Применять композитные материалы |
| | Образование хрупких фаз | Пересмотреть выбор припоя или режим пайки |
| Трещины в зоне паяного соединения | Интенсивная диффузия припоя в основной металл | Снизить температуру пайки, сократить время нагрева |
| | Значительная разность ТКЛР паяемых материалов | Подобрать близкие по ТКЛР материалы. Применить конструктивные или технологические приемы для обеспечения пайки различающихся по ТКЛР материалов. Использовать концентрированные источники нагрева |
| Смещение и перекося паяных соединений | Плохое крепление изделий перед пайкой | Использовать оснастку и приспособления, обеспечивающие надежную фиксацию изделия в процессе пайки |
| Некачественное состояние поверхности изделий после пайки | Окислительная среда в камере пайки | Обеспечить герметичность соединений трубопроводов, подающих защитную среду в камеру пайки |
| | | Создать избыточное давление в системе, подающей защитную среду в камеру пайки |
| | | Проверить состояние внутренней поверхности камеры пайки |
| | Наличие углерода на поверхности изделий | Проверить полноту удаления смазочного материала на паяемых изделиях |
| Наплывы или натеки припоя | Изделие недостаточно прогрето при пайке | Повысить температуру пайки в печи, при конвейерной пайке уменьшить скорость движения конвейера |
| | Наличие перемычек на печатных платах вследствие близкого расположения мест паяк | Использовать средства, изменяющие физические характеристики расплава припоя |

| Дефект | Причина возникновения | Меры предупреждения |
|---|---|---|
| | В результате низкой температуры пайки, малой выдержки, несоответствия выбранного припоя, плохой смачиваемости поверхности припоем | Повысить температуру расплава, увеличить время контакта печатной платы с припоем. Применить механические средства для удаления избытка припоя |
| Шероховатая поверхность паяного шва | Высокая температура или слишком продолжительный нагрев | Снизить температуру или сократить время нагрева |
| Нет электрического контакта впаянного элемента | Ложная пайка, отсутствие спаивания | Перепаять место соединения |
| Высокое электросопротивление термоэлемента | Пайка произошла не по всей поверхности контакта | Повторно облудить коммутирующие устройства и спаивать их |
| Включения флюса в паяном шве | Температура плавления припоя ниже температуры плавления флюса | Температура плавления флюса должна быть ниже температуры плавления припоя |
| | Заполнение паяльного зазора происходит с двух сторон | Обеспечить одностороннее заполнение зазора припоем |
| | Удельный вес флюса больше удельного веса припоя | Подобрать соответствующий флюс |
| Шлаковые включения в шве | Некачественная подготовка поверхности соединяемых изделий перед пайкой | Обеспечить тщательную подготовку поверхности перед пайкой |
| | Излишняя продолжительность нагрева в процессе пайки | Выдержать режим пайки |
| | Использование пламени с избыточным содержанием кислорода | Отрегулировать пламя горелки |
| Локальная эрозия паяемого материала в зоне соединения | Повышенная растворимость паяемого материала в расплаве припоя | Использовать припой, не вызывающий эрозии, снизить количество вводимого припоя, уменьшить температуру и продолжительность пайки |
| Деформация и коробление паяного изделия | Неравномерность нагрева и охлаждения изделия | Обеспечить равномерный нагрев и охлаждение изделия |
| | | Применить нагрев концентрированным источником тепла |
| | | Использовать оснастку, фиксирующую положение изделия при сборке, пайке и охлаждении |

3.2.10. Дефекты, чаще всего встречающиеся при осуществлении электрического монтажа компонентов

Раковины, поры, пустоты (рис. 13)

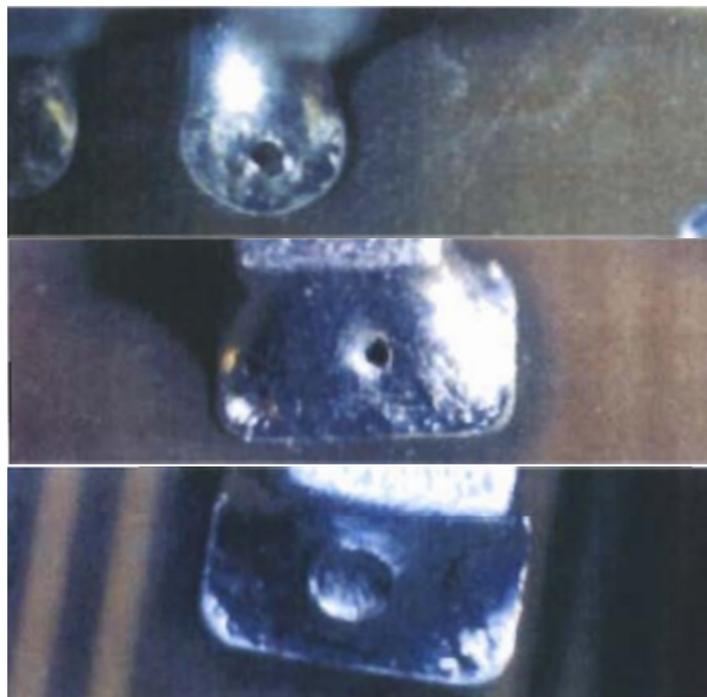


Рис. 13. Раковины, поры, пустоты

| Причина возникновения | Меры предупреждения |
|---|---|
| Недостаточное количество припоя вследствие уноса его при пайке связующим компонентом припоя | Использовать в качестве связующего паяльных паст полимеры, переходящие при нагреве из твердого состояния в газообразное |
| Высокая температура нагрева или слишком продолжительный нагрев | Сократить время или снизить температуру пайки |
| Испарение компонентов припоя и флюса | Пайку вести в контролируемой среде при минимальных температуре и выдержке; применить способ нагрева, обеспечивающий сокращение времени нагрева |
| Влияние флюса или контролируемых сред | Применить пайку в вакууме |
| Проникновение газов в зону пайки из диэлектриков при пайке печатных плат | Проверить качество металлизации отверстий печатных плат (толщина покрытия должна быть не менее 25 мкм). Перед пайкой нагревать печатные платы с целью их дегазации. Повысить продолжительность пайки для удаления газообразных компонентов через расплав припоя |

Неполное оплавление паяльной пасты

Паяльная паста оплавлена не полностью. Поверхность паяного соединения шероховатая, повторяет форму частиц паяльной пасты (рис. 14).

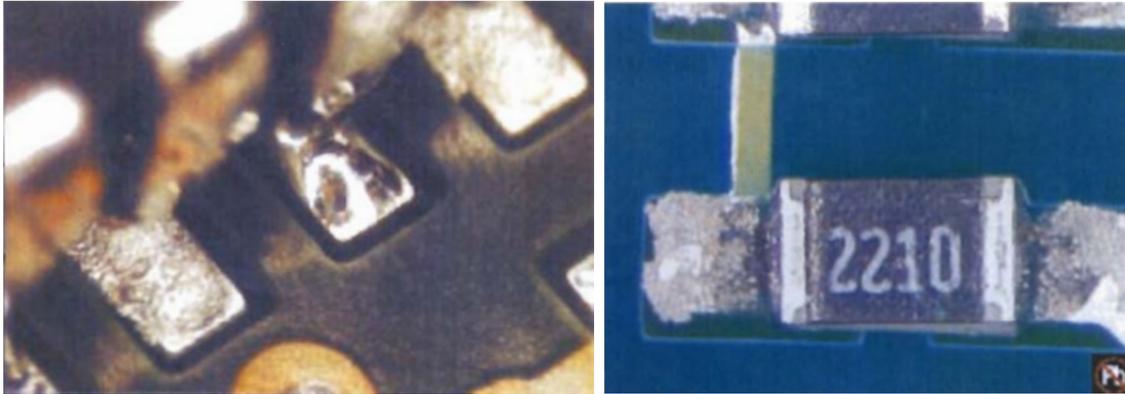


Рис. 14. Неполное оплавление паяльной пасты

| Причина возникновения | Меры предупреждения |
|--|---|
| Недостаточное время и/или температура предварительного нагрева | Измерить температурный профиль и откорректировать режимы предварительного нагрева и/или пайки |
| Недостаточное время и/или температура пайки | |

Отсутствие смачивания припоем

Припой не смачивает необходимую поверхность контактной площадки или вывод компонентов (рис. 15).

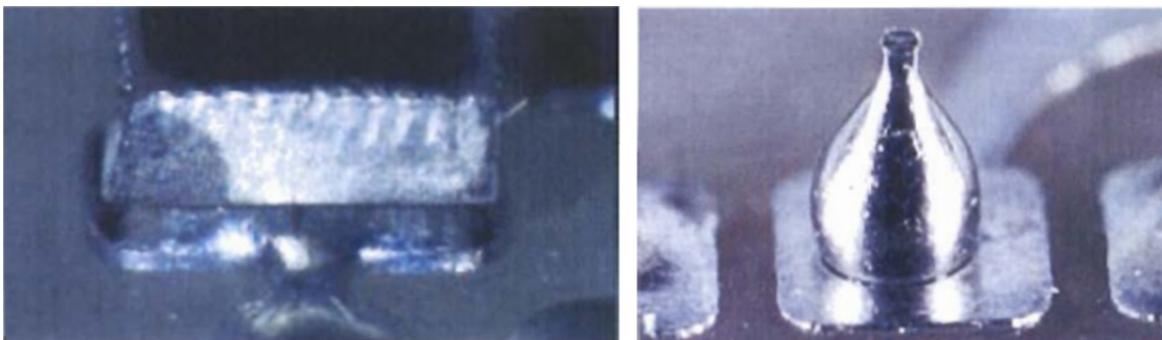


Рис. 15. Отсутствие смачивания припоем

| Причина возникновения | Меры предупреждения |
|--|--|
| Недостаточный нагрев изделия под пайку | Повысить температуру пайки |
| Наличие окисной пленки или других загрязнений | Проверить составы травителей и режимы обработки. При пайке в активных газовых средах проверить наличие среды |
| Не обеспечено флюсование | Использовать более активный флюс или газовую среду, увеличить количество применяемых флюсующих средств |
| Большая разность температур плавления припоя и флюса | Подобрать припой и флюс в соответствии с требованием технологии пайки |
| Не обеспечена оптимальная шероховатость поверхности | Обеспечить подготовку поверхности к облуживанию (механически, химически или другим способом) |
| Припой не взаимодействует с паяемым металлом | Заменить состав припоя; повысить температуру пайки; нанести на паяемый материал технологическое покрытие |

Шарики, брызги припоя

Сферические образования из припоя, остающиеся после процесса пайки. Бусинки припоя обычно являются мелкими шариками размером с зерно припоя исходной паяльной пасты, разбрызгиваемыми вокруг паяного соединения в процессе пайки оплавлением (рис. 16).

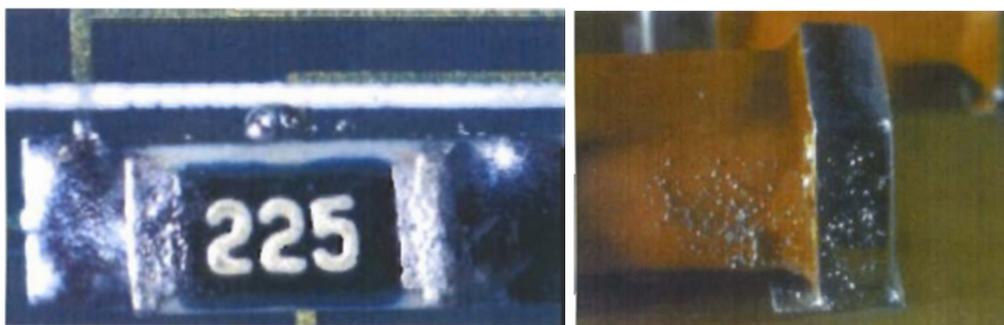


Рис. 16. Шарики, брызги припоя

- Шарики припоя нарушают минимальный электрический зазор.
- Шарики припоя не вкраплены и не покрыты остатками безотмычного флюса или влагозащитным покрытием, или не имеют контакта с металлическими поверхностями.

Примечание: Понятия «вкраплены / покрыты флюсом / не имеют контакта» употребляются в предположении, что стандартные условия эксплуатации изделия не приведут к перемещениям шариков.

| Возможные причины | Методы предотвращения |
|---|---|
| Избыточное количество паяльной пасты на контактных площадках – выдавливание паяльной пасты с контактной площадки при установке компонента (дефект сопровождается избыточным количеством припоя на паяных соединениях) | Уменьшить толщину трафарета (для большинства применений рекомендуемая толщина трафарета составляет 150 мкм); уменьшить размер апертур в трафарете |
| Истек срок годности паяльной пасты, низкое качество паяльной пасты | Заменить паяльную пасту |
| Высокая влажность в рабочем помещении | Влажность должна находиться в пределах 30–70 % |
| Длительное время нахождения пасты на трафарете | Не рекомендуется использовать пасту, которая находилась на трафарете больше 8 часов, заменить пасту |
| Длительное время между процессами нанесения паяльной пасты и пайки | Сократить время между нанесением и пайкой до 2–3-х часов |
| Истощение флюса во время пайки и повторное окисление частиц припоя и паяемых поверхностей | Сократить время стадии стабилизации до 1–2 мин, использовать пасту пригодную для длительного нагрева |

Мостики припоя

Мостики припоя – это паяное соединение между проводниками, которые не должны быть соединены. Припой образует мостики между не связанными электрическими проводниками или компонентами (рис. 17).

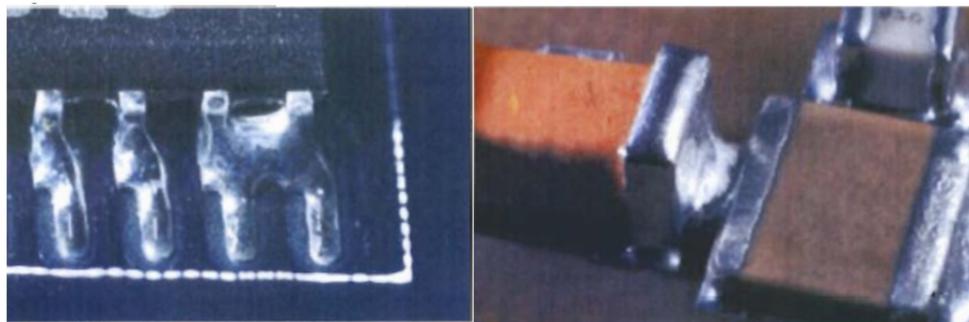


Рис. 17. Мостики припоя

Причина возникновения: наличие перемычек на печатных платах вследствие близкого расположения мест паяк.

Методы предотвращения: использовать средства, изменяющие физические характеристики расплава припоя.

Трещины в паяных соединениях (рис. 18)

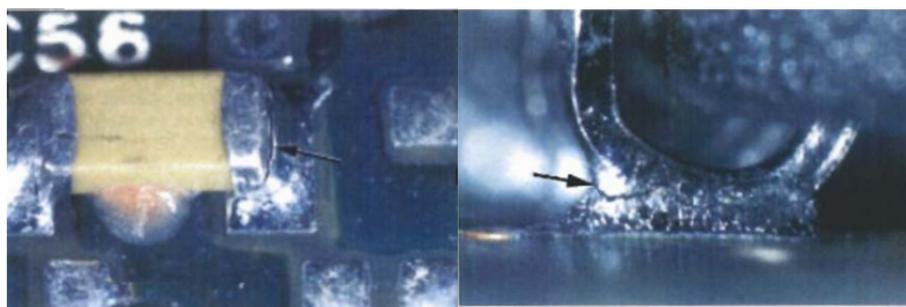


Рис. 18. Трещины в паяных соединениях

| Возможные причины | Методы предотвращения |
|--|--|
| Быстрое охлаждение после пайки | Уменьшить скорость охлаждения. Использовать нагрев концентрированным источником энергии |
| Значительная разность ТКЛР паяемых материалов и припоя | Подобрать материалы с близкими температурными коэффициентами линейного расширения (ТКЛР) |
| Пайка припоями с широким интервалом кристаллизации | Применять композитные материалы |
| Образование хрупких фаз | Пересмотреть выбор припоя или режим пайки |

Не сформирована галтель припоя (рис. 19)



Рис. 19. Не сформирована галтель припоя

| Причина возникновения | Меры предупреждения |
|---|--|
| Большая растворимость паяемого металла в припое | Поднять температуру пайки, увеличить количество припоя |
| Не выдержан режим нагрева | Обеспечить равномерный прогрев всего изделия до оптимальной температуры |
| Плохое качество очистки паяемой поверхности | Обеспечить более тщательную очистку поверхности перед пайкой, применять более активные флюсы или газовые среды |

Растворение металлизации

Растворение торцевой части контактной поверхности чип-конденсатора оголяет керамику. Растворение металлизации на любой контактной поверхности превышает 25 % от ширины или толщины компонента. Потеря металлизации верхнего участка превышает 50 %. В этом случае компонент подлежит замене (рис. 20).



Рис. 20. Растворение металлизации

Механическое повреждение чип-компонента

Любая царапина или скол, оголяющая электроды. Сколы, трещины или повреждение любого рода компонентов в стеклянных корпусах. Любые сколы резистивного элемента. Любые трещины или усталостное разрушение (рис. 21).



Рис. 21. Механическое повреждение чип-компонента

| Возможные причины | Методы предотвращения |
|---|--|
| Высокое давление при установке компонентов на печатную плату | Откалибровать оборудование и/или отрегулировать давление при установке компонентов |
| Тепловой удар в процессе пайки | Уменьшить температуру и время пайки, снизить скорость охлаждения (не более 3–4 °C/c) |
| Высокие механические напряжения вследствие избыточного содержания припоя на паяном соединении | Не допускать избыточного количества припоя на контактных площадках, уменьшить толщину трафарета |
| Деформация печатных плат на этапе нанесения паяльной пасты и установки компонентов (повреждение чип-компонентов на нижней, собранной стороне платы) | Обеспечить поддержку плат снизу при трафаретной печати и установке компонентов |
| Изгиб и деформация печатных плат при разделении групповых заготовок (ручное выламывание печатных плат) | Исключить деформацию плат при разделении групповых заготовок (необходимо использовать надлежащее оборудование) |

Остатки флюса

Наличие на электрических контактных поверхностях видимых остатков от флюсов, подлежащих удалению. Влажные, липкие или избыточные остатки флюса, которые могут распространяться на другие поверхности (рис. 22).

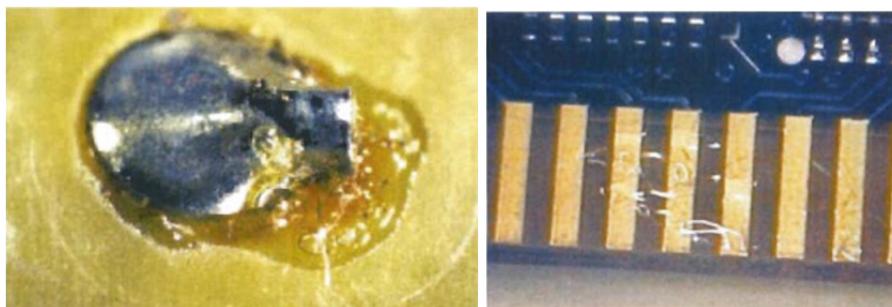


Рис. 22. Остатки флюса

| Возможные причины | Методы предотвращения |
|---|---|
| Температура плавления припоя ниже температуры плавления флюса | Температура плавления флюса должна быть ниже температуры плавления припоя |
| Удельный вес флюса больше удельного веса припоя | Подобрать соответствующий флюс |

Белый налет

Белый налет на поверхности печатной платы. Белый налет на паяных соединениях или вокруг них. Белые кристаллы на металлических поверхностях.

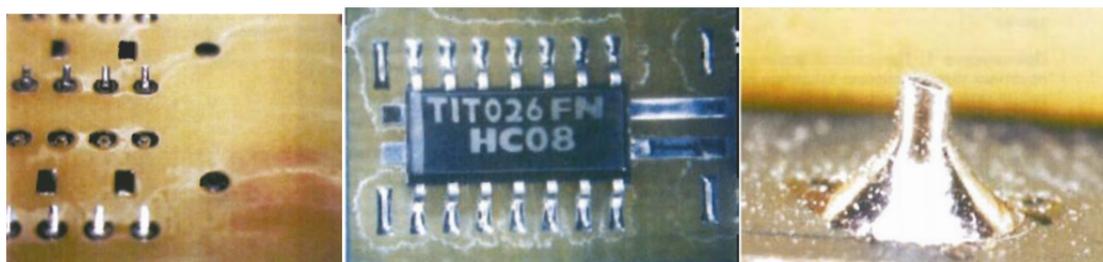


Рис. 23. Белый налет

| Причина возникновения | Меры предупреждения |
|--|---|
| Выпадение белого осадка связано с составом флюса, режимом пайки, качеством защитных покрытий | Удалить осадки сухой щеткой или промывкой водой |

Отслоение паяного соединения от контактной площадки (рис. 24)



Рис. 24. Отслоение паяного соединения от контактной площадки

| Причина возникновения | Меры предупреждения |
|---|--|
| Возникает в результате плохой очистки поверхности контактных площадок перед сборкой | Обеспечить очистку печатных плат перед сборкой |
| Нарушение покрытия золото/никель | Проконтролировать паяемость контактных площадок, заменить поставщика печатных плат |

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. РД 03-606–03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю. Сер. 03. Вып. 39 / Колл. авт. – М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003. – 104 с.
2. Визуальный и измерительный контроль / В.В. Ключев, Ф.Р. Соснин, В.Ф. Мужижский и др. / под ред. В.В. Ключева. – М.: РОНКТД, 1998. – 240 с.
3. Контроль качества сварных и паяных соединений: справ. изд. / Л.П. Герасимова. – М.: Интермет Инжиниринг, 2007. – 376 с: ил. 254.
4. Справочник по пайке / под ред. И.Е. Петрунина. – М.: Машиностроение, 2003. – 480 с.
5. РС-А-610D. Промышленный стандарт «Критерии качества электронных сборок». – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2005. – 397 с.
6. ГОСТ 18353–79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1980. – 40 с.
7. ГОСТ 10317–79. Платы печатные. Основные размеры. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1980. – 48 с.
8. ГОСТ 23752–79. Платы печатные. Общие технические условия. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1980. – 32 с.
9. ГОСТ Р 53386–2009. Платы печатные. Термины и определения. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2009. – 15 с.
10. ГОСТ 23479–79. Контроль неразрушающий. Методы оптического вида. Общие требования. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1980. – 12 с.
11. ГОСТ 24715–81. Соединения паяные. Методы контроля качества. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1983. – 12 с.

Учебное издание

КАЛИНИЧЕНКО Николай Петрович
ВИКТОРОВА Марина Олеговна

АТЛАС ДЕФЕКТОВ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Учебное пособие

Научный редактор
*доктор технических наук,
профессор О.А. Сидуленко*

Выпускающий редактор *Т.С. Савенкова*
Редактор *Е.Л. Тен*
Компьютерная верстка и дизайн обложки
О.Ю. Аршинова

Подписано к печати 01.06.2012. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл. печ. л. 4,88. Уч.-изд. л. 4,41.
Заказ 729-12. Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru