

1.17. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА КОММУТАЦИОННЫХ СТРУКТУР

Цель лекции: *Изучение методов контроля качества и диагностики коммутационных структур. Основы дефектоскопии. Рассмотрение оптического метода контроля паяных соединений. Изучение дефектов паяных соединений, переходных отверстий и причин их появления.*

1.17.1. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ КОММУТАЦИОННЫХ СТРУКТУР

Для управления качеством коммутационных структур на предприятии-изготовителе могут быть введены следующие этапы:

- входной контроль базовых материалов;
- промежуточный (межоперационный) контроль качества, верификация технологического процесса;
- контроль процессов изготовления КС (например, мониторинг параметров процесса);
- автоматическая оптическая инспекция (АОИ);
- рентгеновский контроль;
- электрическое тестирование продукции;
- финишный контроль качества;
- обучение и повышение квалификации персонала;
- регулярное обновление и модернизация оборудования;
- анализ брака и устранение причин его возникновения. Для выявления причин могут использоваться различные методы, такие как статистический анализ, причинно-следственный анализ, анализ отказов.

Требования к параметрам и характеристикам коммутационных структур определяют государственные стандарты и нормативные документы. Например, предприятие-изготовитель печатных плат «Резонит» (<https://www.rezonit.ru>) обладает сертификатом соответствия системы менеджмента качества, распространяющейся на производство и реализацию печатных плат, о соответствии ГОСТ Р ИСО 9001-2015 (ISO 9001:2015). Сертификат соответствия выдается в результате проверки соответствия стандартам. Этот сертификат является документом, подтверждающим, что организация выполняет требования стандарта и имеет эффективную систему менеджмента качества. Сертификат соответствия не является бессрочным документом, он требует периодической проверки и обновления. Организация должна поддерживать и улучшать свою систему менеджмента качества, чтобы сохранять сертификат соответствия.

1.17.2. ОСНОВЫ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ КОММУТАЦИОННЫХ СТРУКТУР

Дефектоскопию можно проводить различными методами, в зависимости от вида дефекта, его размера и расположения. Обобщенная классификация представлена на рис. 1.100.



Рис. 1. 100. Обобщенная классификация методов дефектоскопии

Визуальный осмотр паяных соединений, так образование «мостиков припоя», «паутины» из припоя, «сосулек припоя», больших полостей в паяных соединениях и прочих дефектов можно оценить визуально без применений специального оборудования.

Рентгеновский метод. Применяя данный метод оценки, можно выявить широкий спектр дефектов на ранней стадии (как внутренних, так и внешних). В процессе контроля данным методом на экране специального оборудования, формируется изображение печатной платы с ее дефектами. При этом есть возможность задания параметров автоматического обнаружения дефектов и осмотра изображения сотрудником, что ускоряет процесс дефектоскопии в разы. Так же метод позволяет оценивать бессвинцовые сплавы, что является его большим преимуществом.

Минусом данного метода оценки является дорогостоящее оборудование, а также то, для быстрой оценки необходимо правильное задание параметров программы автоматического поиска дефектов паяного соединения. Не всегда целесообразно применять данный метод: если ПП не являются конструктивно сложными, к ним не предъявляются высокие требования по качеству и отсутствуют BGA компоненты, лучше обратиться к другим методам дефектоскопии.

Оптический контроль позволяет оценить внешние дефекты, как в автоматическом, так и в ручном режиме. Выявляет дефекты «мостики припоя», «сосульки» из припоя, «паутина» из припоя, оголенный металл, микроотверстия (внешние) и прочие вышеперечисленных дефекты, которые имеют поверхностный характер. Метод оценки имеет высокую производительность, но при этом не позволяет оценить внутренние дефекты паяных соединений. При массовом производстве, является необходимым методом контроля, так как произвести массовую визуальную оценку ПП не представляется возможным.

Разрушающий метод с изготовлением микрошлифа, так, например, оценку внутренних пустот нельзя провести визуальным осмотром, применяют метод изготовления микрошлифа, необходимого для оценки участка печатной платы. Микрошлиф тщательно изучается под микроскопом, вследствие чего принимается решение о правильности технологического процесса пайки. Стоит учитывать, что данный метод требует достаточно больших временных затрат.

В массовом производстве, для быстрого автоматического выявления дефектов, рекомендуется применять комбинированное оборудование, в котором применяется сразу и рентгеновский и оптический контроль. Благодаря такому оборудованию, быстро выявляются как внешние, так и внутренние дефекты, сдвиги компонентов и излишки(недостатки) паяльной пасты.



Рис. 1. 101. Начальный вариант контроля электронной аппаратуры

На рис. 1.101 приведены испытания, которые целесообразно применять на стадиях разработки, прототипирования, а также перед запуском в серийное производство аппаратуры, не требующей высоких показателей надежности. Также на рис. 1.101 приведены варианты установок, на которых может производиться контроль. Данный вариант контроля позволяет обнаружить потенциальные проблемы и дефекты, связанные с производством и эксплуатацией устройств.

При проектировании сложной, специализированной и высокоточной электронной аппаратуры, предназначенной для эксплуатации в особых усло-

виях, стоит проводить более тщательный контроль. Вариант такого контроля и используемых установок приведет на рис. 1.102.

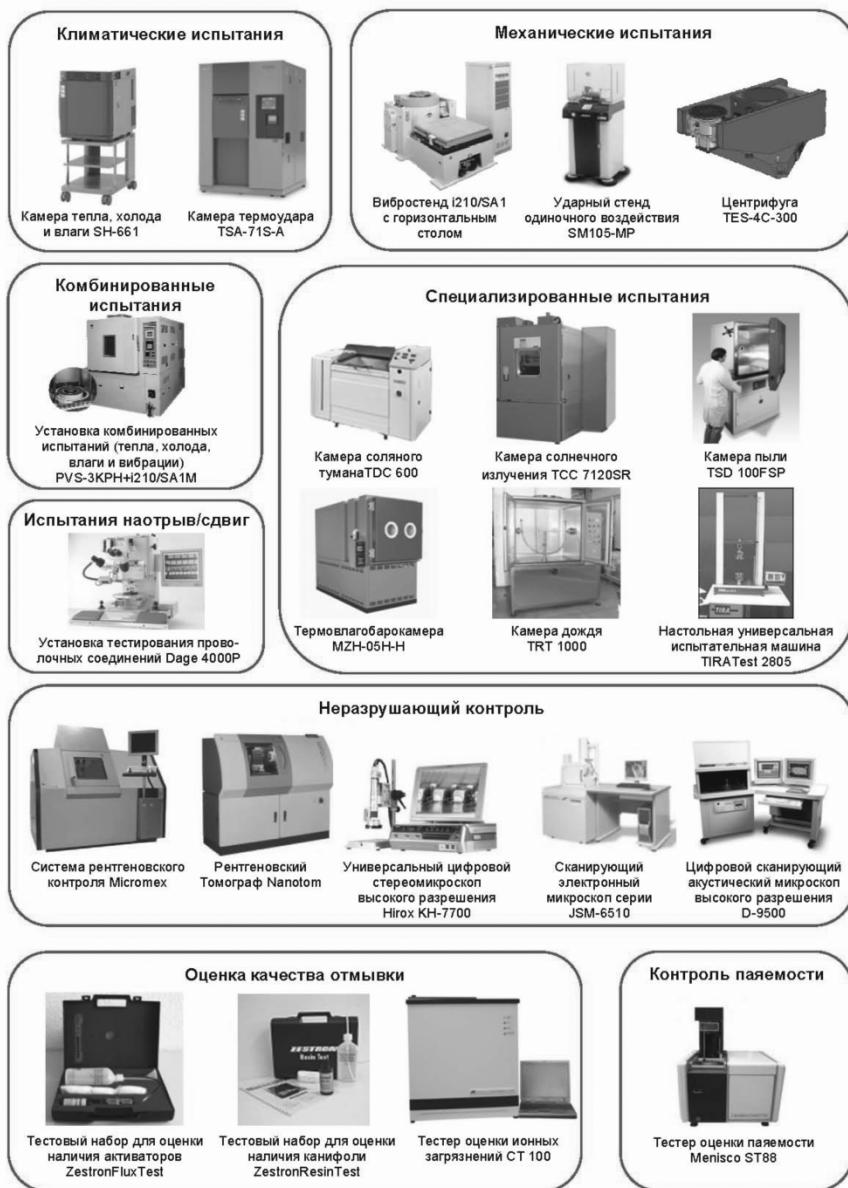


Рис. 1. 102. Типовой вариант комплектации участка контроля электронной аппаратуры (www.ostec-group.ru)

1.17.3. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РЕНТГЕНОВСКОГО КОНТРОЛЯ КОММУТАЦИОННЫХ СТРУКТУР

Рентгеновский контроль КС (рис. 1.103) – это метод неразрушающего контроля, который применяется в случае использования дорогостоящих компонентов имеющих мелкий шаг выводов. К таким компонентам можно отнести микросхемы в *BGA* и μ *BGA* корпусах. Он также позволяет обнаружить другие дефекты, такие как трещины, включения и неправильные размеры, которые могут негативно повлиять на качество и безопасность продукции.

Также рентгеновский контроль позволяет «увидеть» переходные отверстия и внутренние слои КС. Универсальное оборудование рентгеновского контроля позволяет без изготовления специальной оснастки провести диагностику и локализацию наиболее часто встречающихся дефектов:

- отклонение диаметров переходных отверстий и смещение слоев;
- качество металлизации переходных отверстий.

Возможности современных систем рентгеновской инспекции позволяют получить для анализа дефектов металлизации переходных отверстий качественные изображения под углом к объекту (до 70°) при максимальном (до 1500 крат) увеличении с разрешением лучше 1 мкм.

Для проведения рентгеновского контроля требуется специальное оборудование, включающее источник рентгеновского излучения, детектор и систему обработки изображений. Объект исследования помещается между источником рентгеновского излучения и детектором. Рентгеновское излучение проходит через объект и попадает на детектор, который регистрирует проходящее излучение и создает изображение.

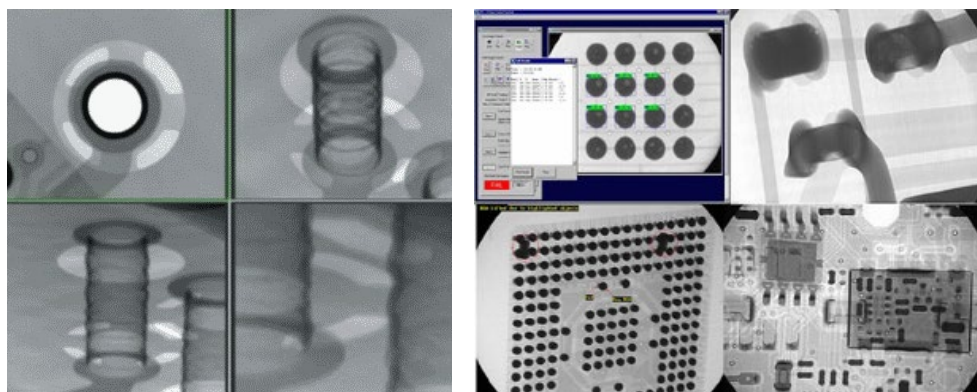


Рис. 1. 103. Рентгеновский контроль КС

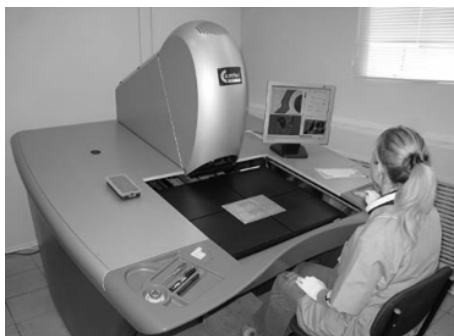
1.17.4. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КОММУТАЦИОННЫХ СТРУКТУР

Согласно ГОСТ Р 56542-2015 оптически неразрушающий контроль – вид неразрушаемого контроля, основанный на регистрации параметров оптического излучения после взаимодействия с контролируемым объектом или собственного оптического излучения исследуемого объекта. Способ получения информации об объекте – визуальное наблюдение или наблюдение с помощью оптических приборов.

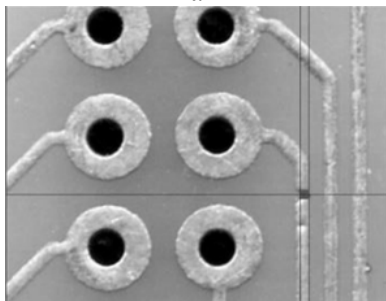
Оптическая (визуальная) инспекция – неотъемлемая часть тестирования коммутационных структур.

Объект оптического контроля – несмонтированная печатная плата (включая внутренние слои) до момента нанесения финишных покрытий (защитной маски, олова, гальванической меди и прочее).

Оптический контроль (рис. 1.104) позволяет не только определить наличие таких дефектов как разрыв и короткое замыкание, но и дефектов, которые не приводят непосредственно к потере электрического контакта (смещение контактных площадок, утончение или утолщение проводников, трещины, изгибы и др.). Скорость контроля автоматических оптических систем сравнима с контролем летучим пробником.



a



б

Рис. 1. 104. Оптический контроль КС: установка контроля (*a*) и система технического зрения (*б*)

1.17.5. ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ПАЯННЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Коммутационные структуры применяются на всех уровнях электронных модулей и на каждом уровне существуют свои типы дефектов, относящиеся к определенному виду КС. В настоящее время постоянное увеличение сложности электронной аппаратуры и уменьшение её габаритов приводит к снижению размеров используемых соединительных связей, что позволяет увеличить плотность монтажа и точность изготовления печатных плат, однако приводит к вошению вероятности появления дефектов. К основным дефекты паяных соединений относятся (рис. 1.105):

- Эффект “подушки”;
- Местное расширение контактных площадок;
- Образование шариков припоя;
- Образование бусинок припоя;
- Разбрызгивание припоя;
- Сдвиг компонента;
- Эффект надгробного камня;
- Каплярное затекание;
- Образование перемычек;
- Образование пустот;
- Отслаивание галтели.



Рис. 1. 105. Основные дефекты паяных соединений

Эффект «подушки». Результатом данного дефекта является отсутствие непрерывности электрического контакта при механическом контакте в паяном соединении или без него. Проявляется он в следующем: вследствие отсутствия хорошего смачивания между контактами припоем, большого краевого угла смачивания между припоем и основным металлом, из-за плохого качества сплава припоя и низкой активности флюса, нарушения времени и температуры

пайки, вывод компонента «ложится» на припой сверху, тем самым пропадает электрический контакт, что приводит к нарушению дальнейшей работы схемы. Такой дефект внешне напоминает, будто бы вывод лежит сверху на «подушке» из припоя, соответственно поэтому такой эффект и был назван – эффектом «подушки». Дефект представлен на рис. 1.106.

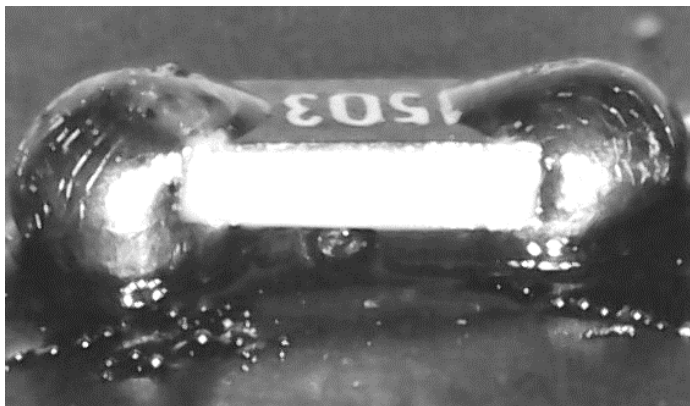


Рис. 1. 106. Эффект "подушки"

Причины возникновения данного дефекта:

- Отсутствие хорошего смачивания контактов припоем;
- Большой краевой угол смачивания между припоем и основным металлом;
- Низкое качество сплава припоя;
- Низкая активность флюса;
- Недостаточное время пайки;
- Низкая температура пайки.

Местное расширение контактных площадок (рис. 1.107 - 1.108) — это не дефект, а логическое решение отсутствия электрического контакта. Отсутствие контакта может быть вызвано разбросом компланарности выводов компонента, а также колебанием толщины паяльной пасты на печатной плате.

Отсутствие электрического контакта можно предотвратить, уменьшив некомпланарность выводов компонентов, что ограничено возможностями производителя компонентов. Другой вариант – увеличить толщину отпечатков пасты, что может привести к образованию перемычек из-за избыточного количества припоя. Наконец было предложено решение этой проблемы путем местного расширения контактных площадок, когда на прямоугольной контактной площадке появляются чередующиеся по высоте расширения в форме эллипса или окружности.

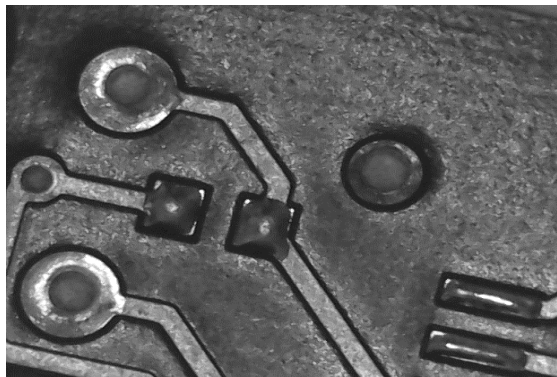


Рис. 1. 107. Местное расширение контактных площадок

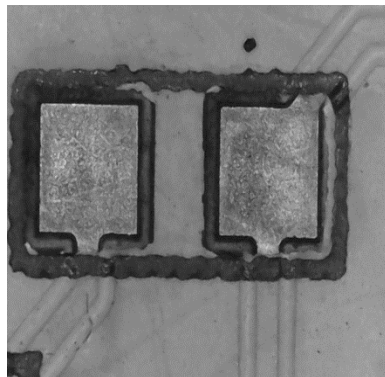


Рис. 1. 108. Местное расширение контактных площадок

Отсутствие электрического контакта может быть вызвано такими причинами:

- различные дефекты пайки;
- коробление плат или компонентов;
- рассовмещение;
- несоответствие коэффициентов теплового расширения;
- большое количество интерметаллических соединений на разделе паяных соединений;
- разброс компланарности выводов компонентов;
- разброс толщины отпечатков паяльной пасты;

Образование шариков припоя — при использовании паяльных паст самым частым дефектом является образование шариков припоя. Данный дефект появляется из-за отделения некоторых частиц от общей массы припоя вследствие использования паяльной пасты или из-за чрезмерного количества припоя или расползания паяльной пасты. Шарик припоя попадает как на печатную плату, на проводящие дорожки и на сами элементы. Все это приводит к возникновению токов утечки, появлению ненужных перемычек в схеме, а также возможному формированию соединений с недостаточным количеством припоя.

Предотвратить или уменьшить данный дефект можно сушкой паяльной пасты перед пайкой. Дефект представлен на рисунках 1.109 - 1.110.

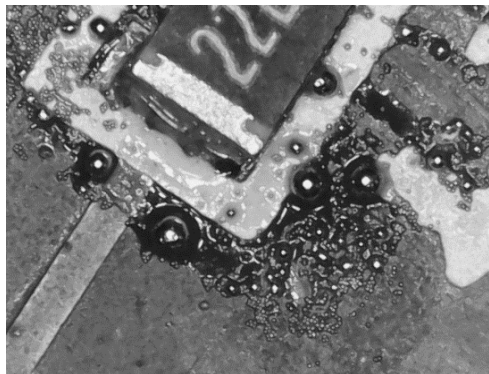


Рис. 1.109. Образование шариков припоя

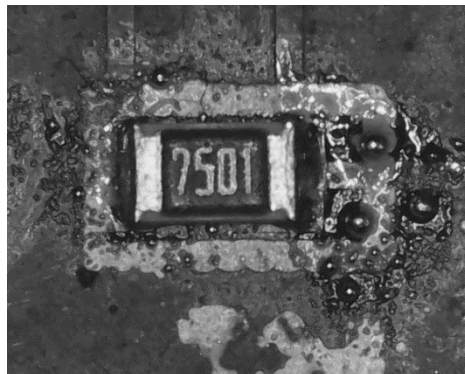


Рис. 1. 110. Образование шариков припоя

Приведем причины возникновения шариков припоя:

- смазывание вследствие несоответствующего процесса трафаретной печати;
- слишком толстый слой припоя;
- чрезмерное расплывание паяльной пасты;
- чрезмерное окисление припоя;
- загрязнение припоя, флюса, компонентов и платы;
- плохая паяемость выводов компонента и металлизации отверстий;
- длительное подвержение паяльной пасты окислительной средой;
- плохие условия сушки;
- высокая скорость нагрева при пайке;
- слишком высокая температура припоя;
- несоответствующие летучие соединения, включенные в состав флюса, используемого в определенном процессе пайки;
- плохие флюсоустойчивые свойства средств для пайки;
- пайка во влажной среде;
- капиллярное затекание;
- малый зазор между компонентами.

Образование бусинок припоя— это частный случай предыдущего дефекта, но отличие в том, что бусинки — это шарики припоя больших размеров. Зачастую они являются нежелательным дефектом с точки зрения эстетического вида изделия.

Бусинки припоя, которые появились вследствие пайки оплавлением, могут быть удалены на этапах промывки изделия водой или растворителем, а когда использовалась пайка волной – помогают вибрационные испытания и манипуляции с платой, хотя это же не помогает при бусинках, образованных при пайке предыдущим способом. Так как дефекты образования шариков и

бусинок похожи, то дополним список причины возникновения, которых начался в предыдущем пункте:

- Дегазация флюса;
- Высокая температура предварительного нагрева;
- Выбор некорректной температуры активации флюса (для каждого флюса она своя, но зачастую при увеличении температуры активации образуется больше бусинок);
- Использование пасты с высоким содержанием оксидов.

Образование бусинок приведено на рис. 1.111 – 1.113.

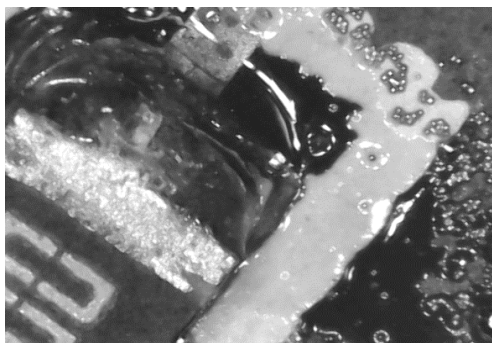


Рис. 1. 111. Образование бусинок припоя



Рис. 1. 112. Образование бусинок припоя



Рис. 1. 113. Образование бусинок припоя

Разбрызгивание – это дефект, который происходит во время пайки, заключается в разбрызгивании частичек припоя или флюса на поверхность изделия.

При разбрызгивании припоя он может попасть на позолоченные контакты и тем самым образовать «выпуклости», которые могут нарушить плоскостность поверхности выводов, что приведет к плохому контакту. Образующиеся выпуклости сильно подвержены окислению, нежели чем покрытие золотом, а еще они обладают меньшей электропроводностью. Разбрызгивание флюса же приводит к образованию капелек флюса и линиям «водяных знаков», что не влияет на эксплуатационные качества и зачастую именуется

обесцвечиванием золота. Разбрызгивание припоя представлено на рисунках 1.114 – 1.115.

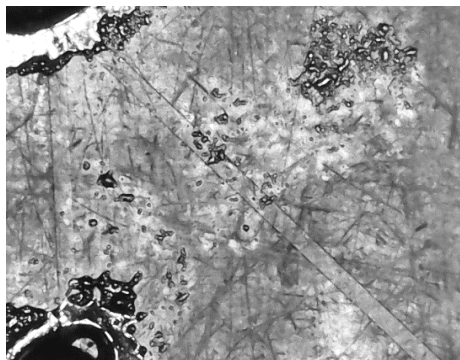


Рис. 1. 114. Разбрызгивание припоя

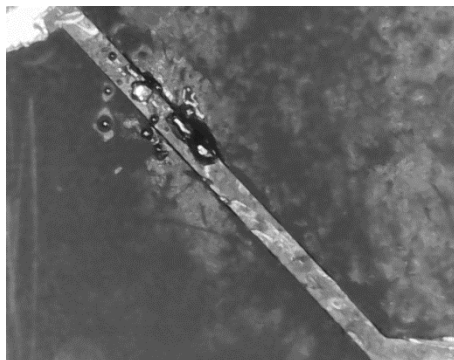


Рис. 1. 115. Разбрызгивание припоя

Определим причины возникновения данного дефекта:

- поглощение паяльной пастой влаги;
- влажная среда;
- использование паяльных паст с гигроскопичными флюсами;
- использование флюса с большой скоростью смачивания;
- слияние частиц припоя;
- низкая температура припоя;
- отсутствие операции сушки;
- пайка в неинертной среде;
- загрязнения компонентов, платы и флюса с припоем.

Сдвиг компонента (рис.1.116 – 1.117) — это дефект, влекущий за собой неточное совмещение компонента и контактной площадки при пайке. Проявляется в смещении компонента в горизонтальной плоскости и может считаться начальным этапом появления эффекта «надгробного камня».

Он возникает из-за неравномерности разбалансировки сил поверхностного натяжения припоя, действующих на выводы, и как следствие, неравномерным их смачиванием.

Также причины возникновения эффекта надгробного камня, описываемые далее, усиливают эффект сдвига.

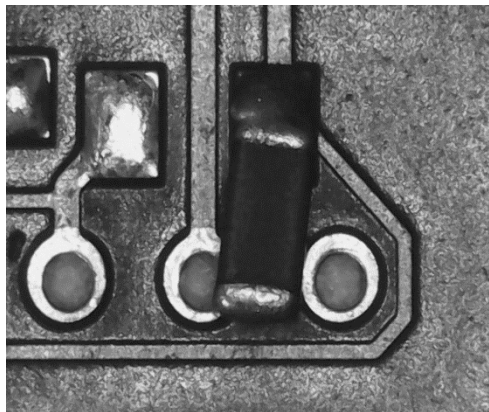


Рис. 1. 116. Сдвиг компонента



Рис. 1. 117. Сдвиг компонента

Данный дефект может быть вызван:

- несимметричностью конструкции контактных площадок и их недостаточной шириной;
- малой шириной, площадью металлизации поверхности вывода компонента и их плохой паяемостью;
- ошибкой в координатах заданного положения компонента;
- смещением контактной площадки;
- неправильной фиксацией или закреплением платы;
- короблением платы;
- слишком высокой скоростью или вибрациями транспортера.

Эффект «надгробного камня» — это дефект, при котором один из выводов чип-компонента поднимается над контактной площадкой. Также известен как эффект подъемного моста или эффект Стоунхенджа. Дефект представлен на рисунке 1.118.

Возникает по причине неравномерности сил поверхностного натяжения припоя, действующих на выводы, при значении вертикальной составляющей внешней, относительно центра компонента, силы, больше, чем вертикальные проекции веса самого компонента и внутренней силы.

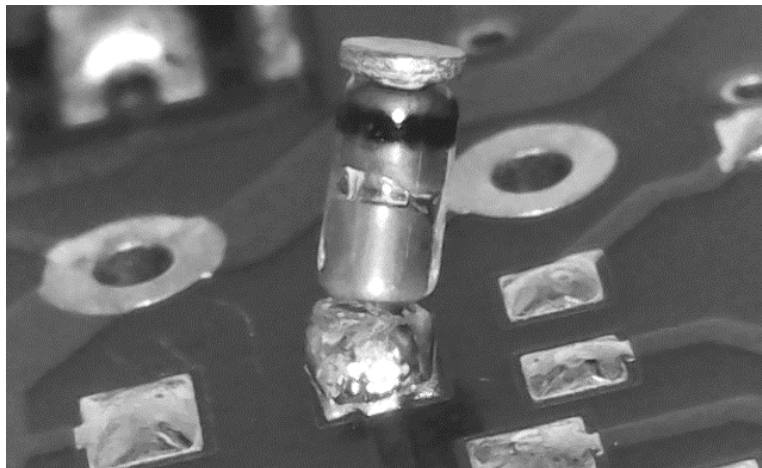


Рис. 1. 118. Эффект «надгробного камня»

Определим причины возникновения данного дефекта:

- Слишком высокая скорость нагрева;
- Рассогласование в размерах контактных площадок;
- Слишком большое, или слишком малое расстояние между контактными площадками;
- При малой площади контактной площадки эффект усиливается, при излишне великой, увеличивается риск смещения;
- Эффект затенения (из-за ограничения потока теплоносителя соседними компонентами происходит полное сопротивление нагреванию);
- Сильная дегазация флюса и слишком малое время смачивания, как следствие, излишне высокая скорость.

Капиллярное затекание припоя – дефект, вызывающий обеднение паяного соединения и отсутствие электрического контакта при смачивании вывода и подъема по нему припоя вверх, из зоны соединения.

Вывод компонента имеет меньшую, по сравнению с платой, способность накапливать тепло, поэтому на этапе оплавления возникает перепад температур, который вместе с поверхностным натяжением припоя и потенциально различным в разных точках давлением припоя, создают движущие силы капиллярного затекания, направленные из зоны контакта.

Данный дефект приведен на рисунках 1.119 – 1.121.

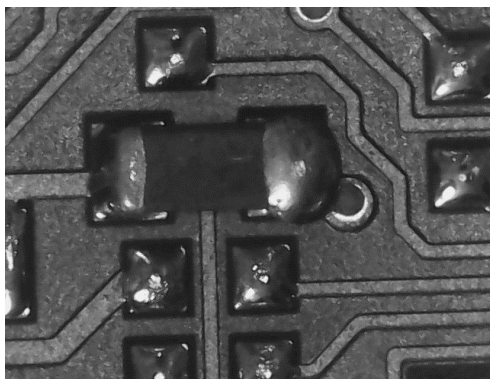


Рис. 1. 119. Капиллярное затекание припоя

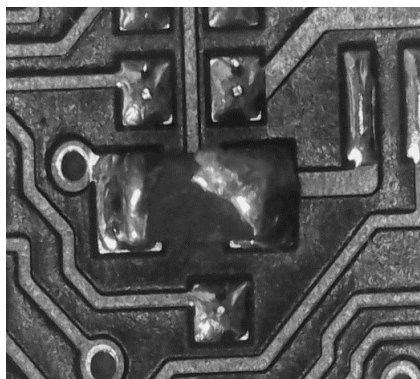


Рис. 1. 120. Капиллярное затекание припоя

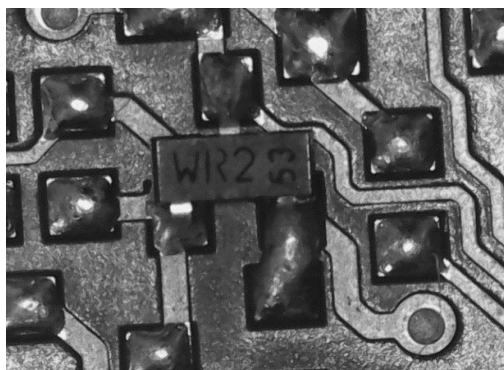


Рис. 1. 121. Капиллярное затекание припоя

Приведем причины возникновения шариков припоя:

- слишком высокая скорость нагрева;
- плата является окисленной;
- смещение маски;
- рассогласование в размерах контактных площадок;
- излишняя кривизна выводов компонентов;
- малая вязкость паяльной пасты.

Образование перемычек— это образуемые припоем соединения между соседними контактными паяными соединениями, не предусмотренные конструкцией печатных узлов. Дефекты образования перемычек показаны на рисунках 1.122 - 1.123.

Избыточного количества паяльной пасты, её расползание и смазывание, а также избыточное давление при монтаже приводят к образованию перемычек из паяльной пасты, которые в процессе пайки могут стать спаянными выводами.

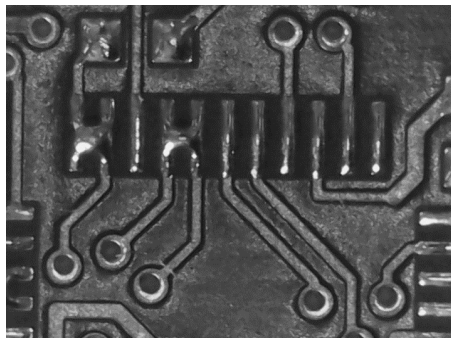


Рис. 1. 122. Образование перемычек

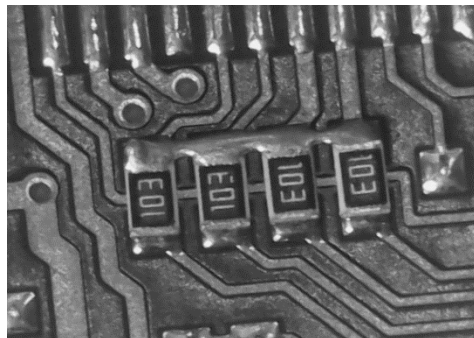


Рис. 1. 123. Образование перемычек

Причиной этого дефекта могут быть:

- малый шаг выводов компонентов;
- большая смачиваемость флюса;
- значительное давление при установке компонентов;
- избыточный объем паяльной пасты;
- большая температура профиля пайки;
- большая скорость транспортера.

Образование пустот - дефект, характеризующийся возникновением маленьких ячеек в материале паянного соединения.

Пустоты негативным образом влияют на механические свойства соединений, их прочность, усталостную долговечность. Могут быть снижать надежность соединений из-за точечного перегрева, усиливают напряжения и деформации.

В основном образование пустот зависит от паяемости металлизации, так при уменьшении паяемости металлизации, уменьшении активности флюса, увеличении зоны покрытия под соединяемыми выводами, повышении содержания припоя в пасте – наблюдается увеличение образования пустот.

Определим причины возникновения данного дефекта:

- дегазация припоем захваченного флюса;
- сжатие припоя при затвердевании;
- слишком высокая температуры при предварительном нагреве;
- малая скорость транспортера;
- плохая паяемость, загрязнение платы;
- значительная активность флюсов.

Отслаивание галтели— это отрыв галтели припоя от контактной площадки с отсутствием непрерывности электрического контакта. Главная причина этого дефекта – механические напряжения, возникающие в выводах компонентов при механических испытаниях после пайки оплавлением. Решение данной проблемы является требование проводить механические ис-

пытания после пайки волной, а не до неё. Другим вариантом может быть минимизация различия коэффициентов теплового расширения компонентов и платы, и усиление предварительного нагрева сверху при пайке волной.

Причины:

- механические напряжения в выводах, их деформация;
- механические повреждения в процессе производства;
- деформированные выводы, создающие механические повреждения.

1.17.6. АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ПО МИКРОШЛИФАМ

Вопросы обеспечения качества металлизации монтажных отверстий (МО) печатных плат (ПП) имеют важное значение при их изготовлении. Контроль качественных характеристик ПП осуществляется методом изготовления микрошлифов с последующей оценкой параметров слоев металлизации и сравнения с эталоном. Контроль производится прямым визуальным методом, что определяет высокую вероятность ошибок такого контроля и его высокую длительность. Исполнитель, как правило, не может выполнить глубокий анализ. Он не имеет возможности выявлять причины возникновения дефектов, проводить необходимые для этого обобщения и анализ, классифицируя только субъективно по принципу «брак» или «не брак».

Внедрение средств автоматизации на этапах визуальной инспекции печатных плат по микрошлифам позволяет получить ряд преимуществ:

- сокращение времени операций визуального контроля;
- снижение вероятности появления ошибки контроля, возможность дополнительно, в режиме реального времени, контролировать правильность принятия решения с автоматизированного рабочего места;
- возможность достоверно оценить вероятную причину появления брака и выработки рекомендаций по методам его снижения (устранении) с использованием возможностей экспертной подсистемы (она аккумулирует сведения о структуре техпроцесса, его параметрах и режимах и т.п.);
- широкие возможности по сбору и обработке статистическую информации принятия решений по выбору и корректировке режимов технологических процессов (ТП).

Наиболее распространенные дефектами монтажных отверстий ПП:

- бочкообразная форма отверстий;
- наросты меди;
- дефект типа "гвоздь";
- разрывы металлизации;
- дефекты типа "слезы" и т.п.

На первом этапе изготовления печатных плат многие отказы связаны непосредственно с технологией начальной обработкой ПП и наиболее зна-

чительная их доля является результатом некачественного сверления отверстий и недостаточной их очистки. Примеры отказов и их причины: разрывы и изгибы проводников из-за слишком медленного сверления, втягивание проводников в отверстия при слишком быстром сверлении, остатки смолы на проводниках вследствие их недостаточной очистки.

Использование раствора пирофосфатной меди на операции металлизации стенок отверстий может привести к растрескиванию слоя металлизации в отверстиях при пайке жидким припоем.

Процесс травления также может привести к образованию дефектов, так как слой металлизации при травлении может быть удален с кромки отверстий.

Для обеспечения надежности ПП первостепенное значение имеет само межсоединение двух проводящих слоев платы, то есть металлизация переходного отверстия. При этом, часто встречаемыми видами дефектов являются разрыв электрического контакта или соединение с высоким сопротивлением. Использование толстого слоя металлизации может обеспечить необходимую механическую прочность, однако при этом увеличиваются размеры проводящих дорожек и возрастает боковое подтравливание при химических обработках. Для схем с близко расположенными элементами проводящего рисунка такое решение по созданию хорошей металлизации не рекомендуется. Таким образом, *для металлизации отверстий необходим конструктив, состоящий из меди с покрытием, обеспечивающим хорошую паяемость.*

Медь, осажденная из цианидных ванн, является механически прочной и наиболее пластичной из известных видов медных покрытий, нанесенных гальванически. Один из недостатков такого способа осаждения состоит в том, что раствор металлизации влияет на силу сцепления материала основания печатной платы с металлом. Компромиссным решением может быть создание начального слоя, состоящего из слоя пирофосфатной меди, на который нанесен слой осажденной цианидной меди. Эта комбинация обеспечивает определенную гарантию защиты материала платы, а также получение МО с нерастрескивающимся покрытием. Печатные платы с металлизированными сквозными отверстиями, изготовленные по этому методу, удовлетворяют требованиям наиболее жестких стандартов.

Монтажные отверстия выполняют роль монтажного элемента или межсоединения. Диаметры сквозных монтажных отверстий для выполнения нормальных условий пайки должны быть на 0,2...0,4 мм больше диаметра вывода радиоэлемента. Вместе с этим гальваническое покрытие получается удовлетворительным при определенном соотношении между диаметром отверстия и толщиной платы. Это соотношение связано с рассеивающей способностью электролитов и, отчасти, с режимами гальванического осаждения.

Переходные сквозные отверстия должны быть отделены от монтажных контактных площадок, чтобы предотвратить перетекание припоя с монтажных поверхностей в отверстия. Неглубокие глухие отверстия и, тем более, глухие отверстия могут выполняться в поле монтажных контактных площадок.

В процессе эксплуатации ПП, в составе аппаратуры металлизация отверстий постоянно испытывает переменные во времени термомеханические напряжения, вызванные разностью в термическом расширении меди и диэлектрического основания. Устойчивость к термомеханическим нагрузкам обеспечивается соответствующей толщиной и пластичностью металлизации отверстий. ГОСТ 23752 устанавливает среднее значение толщины слоя меди в металлизации отверстия 25 мкм, при возможном минимальном значении 20 мкм (с отношением толщины ПП к минимальному диаметру отверстия $1 \div 3$). Практика анализа отказов металлизированных переходных отверстий, не заполненных припоем, показывает, что при толщине металлизации около 7 мкм отказ соединения неизбежно возникает, при толщине 15 мкм вероятность отказа примерно 0,9. И только толщина 20 мкм обеспечивает надежность соединений в течение длительного периода эксплуатации аппаратуры. Поэтому основное условие гарантии надежности соединений по металлизированному отверстию состоит в том, чтобы толщина медного гальванопокрытия без дефектов должна быть не менее 20...25 мкм. Чтобы не допустить дефектов металлизации в виде незначительных неметаллизированных участков, создающих очаги повышенной концентрации напряжений, толщину металлизации увеличивают до 30...35 мкм.

Металлизация монтажных отверстий участвует в теплопередаче в процессе пайки. Поэтому для удовлетворительного прогрева при пайке, желательно, чтобы толщина металлизации была тем больше, чем глубже сквозное отверстие. Дефекты металлизации в виде кольцевых утончений или трещин неизбежно приводят к непропаю, так как создают заметные препятствия для теплопереноса.

Увеличение толщины ПП сверх отношения толщины к диаметру 4:1 приводит к значительным осложнениям в обеспечении надежности металлизированных отверстий, так как такие отверстия менее устойчивы к воздействию термомеханических напряжений.

Проблема анализа качества ПП по микрошлифам является сложной задачей. Производство тест-образцов микрошлифов на все разнообразие ПП является затратным способом. Визуальная обработка результатов дефектоскопии и последующий ее анализ требует от оператора глубоких технологических знаний, что в условиях серийного производства является не технологичным. Для повышения эффективности контроля должна применяться автоматическая система распознавания, которая обеспечит не только классификацию анализируемых образов дефектов, но и будет формировать заключения по выявленным дефектам и рекомендации по их устранению.

Исследование видов дефектов монтажных и переходных отверстий

Рассмотрим основные виды дефектов монтажных и переходных отверстий ПП. Отверстия в ПП диаметром от 0,2 до 1,5 мм сверлят на станках с ЧПУ специальными твердосплавными сверлами. Качество отверстий зависит от режимов сверления (величина подачи, скорость резания, скорость извлечения сверла из отверстия), геометрии и качества режущих кромок сверла. Его контролируют визуально с помощью микроскопов (заусенцы на входе и выходе сверла, смещение центров отверстий относительно координатной сетки), визуально на микрошлифах (в разрезе) с помощью микроскопов (заусенцы, шероховатость стенок, эпоксидные пятна на стенках, развальцовка торцев контактных площадок внутренних слоев МПП, качество отверстий после металлизации). **Микрошлиф** — это поперечный разрез ПП для проведения микроскопического исследования структуры внутренних слоев ПП.

Контроль диаметров отверстий производят только выборочно калибрами-пробками или на микрошлифах. На рисунке 1.124 представлено изображение микрошлифа ПП с отверстием правильной формы со слоем меди хорошего качества: плотный слой, равномерная толщина по всей стенке, отсутствие наростов, разрывов.



Рис. 1. 124. Вид микрошлифа ПП с качественным отверстием

Рассмотрим хорошо распознаваемые дефекты металлизированных отверстий.

Заусенцы на входе и выходе отверстия - причины возникновения (рисунок 1, h_3 не более 80 мкм):

- тупое сверло с недопустимым износом режущих кромок;
 - сколы на режущих кромках сверла;
 - неудаляемая стружка внутри пакета обрабатываемых заготовок ПП;
 - мягкий подкладной материал или недостаточное усилие прижима пакета;
- та;
- неоптимальное соотношение скорости вращения и подачи сверла.

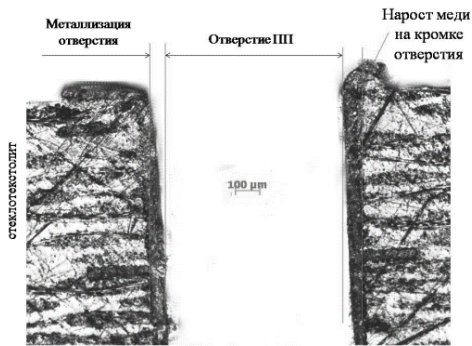


Рис. 1. 125. Заусенцы на кромках отверстий ПП

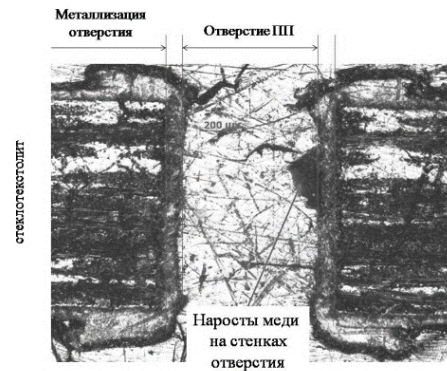


Рис. 1. 126. Наросты меди на стенках отверстий ПП

Шероховатость стенок отверстий - причины возникновения (рис. 1.127, Rz не более 40 мкм):

- разогрев и оплавление эпоксидной смолы стеклотекстолита с образованием на стенках эпоксидных пятен из-за несоблюдения режимов, работы тупым сверлом, недопустимой толщины пакета заготовок, плохого отвода стружки.

Дефекты металлизации стенок отверстия - варианты возникновения (рисунок 5, толщина меди не менее 25 мкм, сплава олово-свинец – 10-15 мкм):

Неравномерное распределение слоя металлизации по глубине отверстия (у кромок $h_{м(нар)}$ – 60-70% от $h_{м}$, на середине глубины отверстия $h_{м(вн)}$ – 30% от $h_{м}$) (рисунок 5). Причины возникновения:

- плохая рассеивающая способность электролита;
- нарушение режимов осаждения (времени, плотности тока, интенсивности качания заготовок, отклонения в составе электролита);
- Наличие неудаленных заусенцев на кромках отверстия.

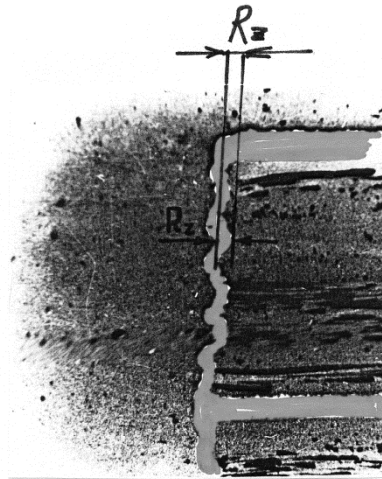


Рис. 1. 127. Шероховатость стенок отверстий

Нарушение контакта слоя металлизации с торцами внутренних контактных площадок (КП) отверстий МПП (рисунок 1.128 – 1.129). Причины возникновения:

- разогрев и оплавление эпоксидной смолы из-за несоблюдения режимов сверления и наволакивание смолы на торцы внутренних КП;
- нарушение режимов и условий химического и гальванического осаждения меди.

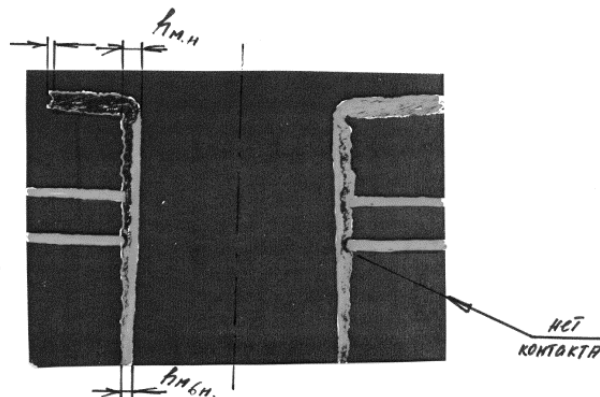


Рис. 1. 128. Дефекты металлизации стенок отверстия (неравномерность слоя металлизации, нарушение контакта)

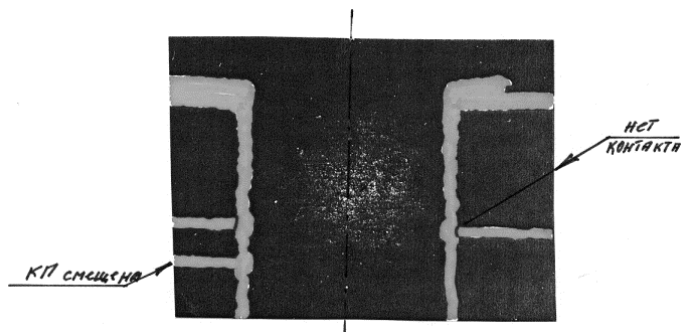


Рис. 1. 129. Дефекты металлизации стенок отверстия (нарушение контакта)

Неметаллизированные участки или наросты в отверстиях. Причины возникновения:

- нарушение режимов сверления;
- плохая очистка отверстий после сверления (остатки реагентов, пыли, наличие заусенцев);
- нарушение режимов активации диэлектрика в отверстиях (состав раствора, малое содержание палладия, недостаточное время активации).

На рисунке 1.130 хорошо видна неправильная форма отверстия (бочкообразная), которая образовалась за счет слоя металлизации разной толщины на стенках отверстия. Также можно выделить разрывы металлизации, разрастание слоя меди на краях отверстия.

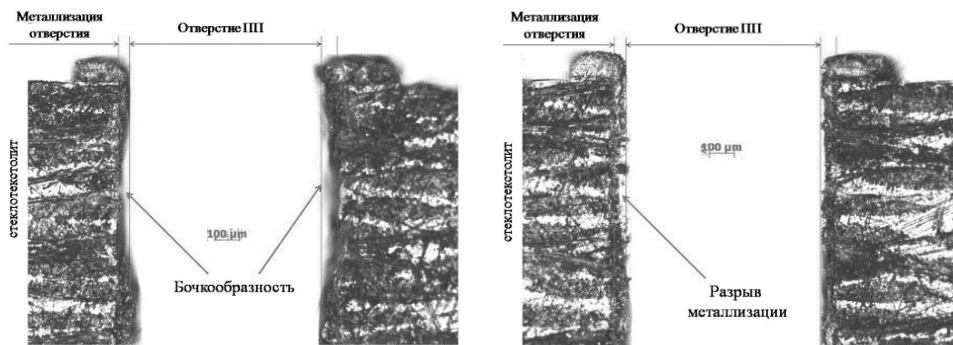


Рис. 1. 130. Неправильная форма отверстий (бочкообразность), разрывы металлизации

Рыхлый стой возникает при неправильно подобранных технологических режимах осаждения меди при большой плотности тока.

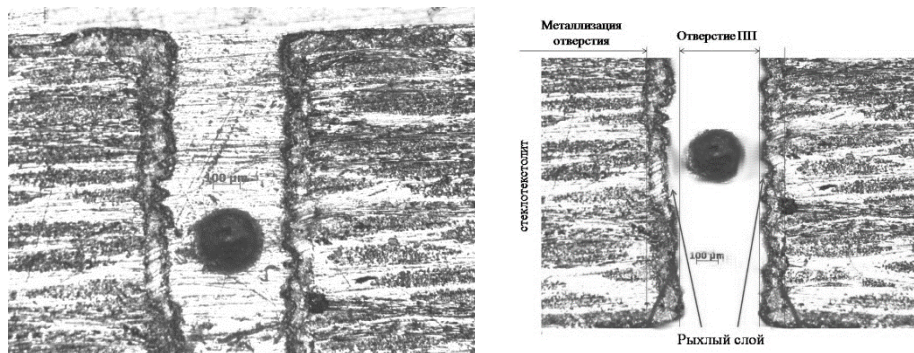


Рис. 1.131. Рыхлый слой

Смещение центров отверстий относительно узлов координатной сетки и центров контактных площадок (КП) - положение отверстий относительно центров КП проводящего рисунка регламентируется обязательным наличием гарантированного пояса b (рисунок 1.132 – 1.133), величина которого должна соответствовать выбранному классу точности ПП. Смещение центров происходит из-за погрешностей при сверлении отверстий и при нанесении рисунка на заготовку.

Причины возникновения при сверлении:

- погрешности установки (базирования) заготовки на столе сверлильного станка;
- погрешности настройки станка;
- точность станка.

Причины возникновения при нанесении рисунка:

- точность изготовления фотошаблона;
- погрешности взаимной ориентации шаблона и заготовки ПП;
- погрешности при экспонировании рисунка (дифракция).

Рисунок 1.134 иллюстрирует, что смещение центров в пределах одной заготовки имеет однонаправленный характер в случае сверления на станке с ЧПУ за один установ без перебазирования заготовки.

Протравы на проводниках - характерные виды протравов: сквозной протрав (рисунок 1.134 слева), краевой протрав (рисунок 1.134 справа), пора при переходе проводника к КП.

Причины возникновения:

- наличие участков проводящего рисунка, не покрытых гальванически осажденным металлорезистом (олово-свинец);
- повреждение металлорезиста при межоперационной транспортировке и в процессе травления меди с пробельных мест.

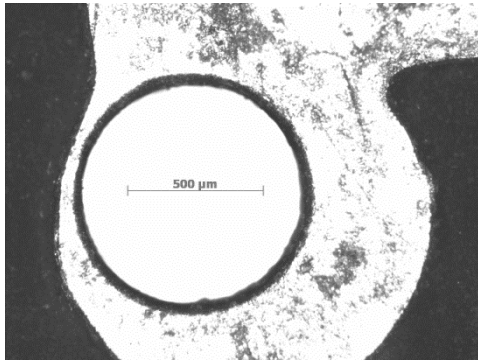


Рис. 1. 132. Смещение центров отверстий

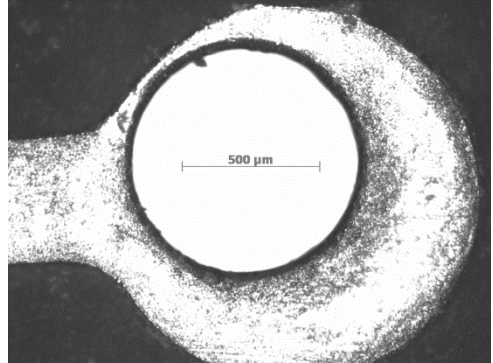


Рис. 1. 133. Смещение центров отверстий

Неровности края проводящего рисунка - причины возникновения:

- велико время травления меди;
- остановка конвейера в оборудовании травления;
- неровности края осажденного металлорезиста.

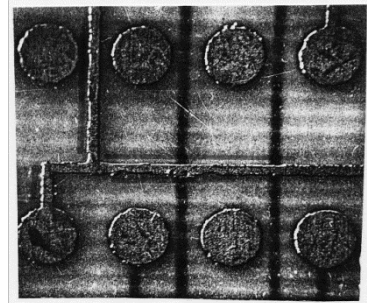
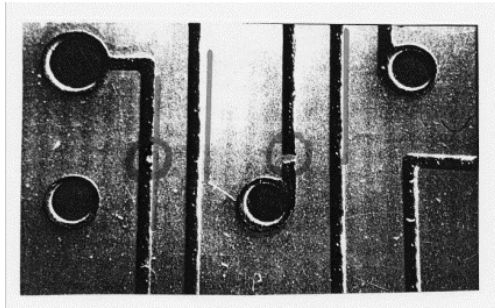


Рис. 1. 134. Протравы на проводниках

Подтравливание проводящего рисунка - причины возникновения (рисунки 1.135):

- велико время травления;
- остановка конвейера.

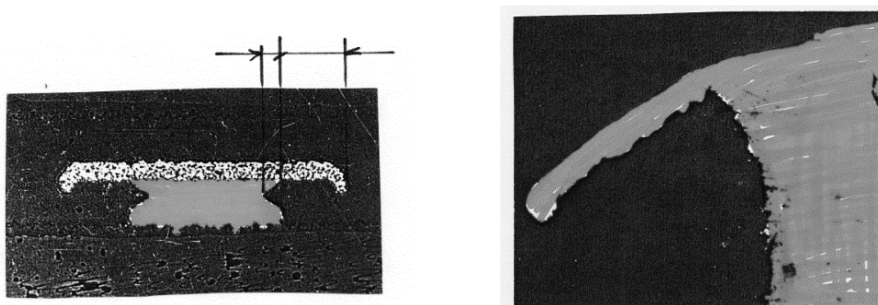


Рис. 1. 135. Подтравливание проводящего рисунка

Проанализированы наиболее часто встречаемые дефекты переходных и монтажных отверстий и проводящего рисунка печатных плат, которые представляют собой сложные графические образы. Несмотря на сложность возможно формализовать отдельные классификационные признаки, позволяющие сгруппировать их видам дефектов. Сложность решения задачи распознавания определяется тем, что указанные дефекты могут встречаться как индивидуально, так и в совокупности, что увеличивает вероятность ложного принятия решения по классификации конкретного дефекта.

Методика изготовления микрошлифов

Для наибольшей достоверности оценки качества металлизации отверстий ПП изготавливаются микрошлифы. Далее они подвергаются визуальной инспекции. Полученные статистические данные по видам дефектов ПП картируются (т.е. заносятся в специализированные дефектные карты) и далее обрабатываются одноступенчатым, двухступенчатым, многоступенчатым или последовательным методами контроля качества.

Чтобы изготовление микрошлифов не приводило к разрушению плат шлифы выполняют на специальных тестовых элементах, расположенных на технологическом поле платы. Такой подход может привести к некоторым ошибкам, которые возникают из-за неравномерности толщины гальванической меди на поверхности платы в отверстиях. Это возникает по причине рассеивающей способности электролита. Контроль по микрошлифам может проводиться для каждой платы на этапе отработки отдельных операций технологического процесса, так и выборочно.

Контролируемая плата направляется в металлографическую лабораторию. С помощью универсальных ножниц вырезают образец 15x30 мм в тестовой зоне. Приготавливается состав на основе самотвердеющей пасты 5г (АСТ-Т, ТУ 16-2-17-69) или технического бутакрила (МРТУ 64-2-9-69) путем их смешивания с 15-20 мл жидкости АСТ-Т. Получившимся составом заполняют отверстия, предназначенные для контроля, для чего неоднократно погружают образец в состав. После покрытия образца самотвердеющим

составом, его устанавливают между двумя пластинами оргстекла. Далее пакет сжимают с небольшим усилием, потом сушат в вытяжном шкафу в течение двух часов. Затем образец шлифуется абразивным кругом до контролируемых отверстий. Они вскрываются шлифованием на крупнозернистой абразивной шкурке (К310). Потом ведется шлифовка до середины отверстия с постепенным уменьшением зернистости шкурки (М40, М28) и со сменой направления шлифования. По окончании шлифования образец полируется на сукне суспензией на основе оксидов хрома и воды (2 г на 1 л). Полировка происходит в течение 2-3 минут. Далее образец промывается водой, сушится фильтрованной бумагой, протирается спиртом и снова сушится. В конце всех этих операций образец можно исследовать под микроскопом.

С целью определения кристаллической структуры осажденных в отверстиях металлов (химико-гальванической меди, гальванического слоя оловосвинца) шлиф травят. Травитель имеет следующий состав: хлорное железо (10 г), соляная кислота (25 г), вода (100 г). После травления шлиф протирается и сушится.

Методика автоматизированной обработки изображений микрошлифов

Обработка изображений является важным направлением применения современной вычислительной техники. Многие задачи обработки изображений требуют высокой производительности, с которой невозможно справиться без использования нейрокомпьютеров. Проблемы распознавания изображений (фильтрация и восстановление изображений, сегментация изображений, скелетонизация изображений) характерны как для классической задачи распознавания фигур заданной формы, так и для задачи распознавания линий и углов на изображении, распознавания края изображения. При этом решается задача обеспечения инвариантности к группе преобразований, которую часто трудно решить классическими методами, характерными для последовательности машин.

Для решения вышеперечисленных задач активно используются нейросетевые алгоритмы. При выборе структуры нейронной сети (НС) для решения задачи распознавания изображений необходимо учитывать следующие аспекты:

- способность сети к обучению, то есть возможность научить систему распознавать требуемое количество объектов. Чем больше в сети слоёв и нейронов, тем выше способности и потребности в аппаратных ресурсах;
- быстродействие, которое достигается уменьшением сложности сети – чем меньше нужно аппаратных ресурсов, тем быстрее осуществляется работа НС.

Аппаратно-программный комплекс дефектоскопии печатных плат по микрошлифам предназначен для неразрушающего контроля печатных плат, а именно – определения качества металлизации сквозных отверстий. Основ-

ной задачей является определение вида дефекта предложенного образца (исследуемым образцом является микрошлиф).

Алгоритм функционирования комплекса в режиме дефектоскопии заключается в следующем: Исследуемый микрошлиф помещается на рабочий стол микроскопа. Цифровая видеокамера получает изображение от микроскопа, имеющего штатное увеличение 10, 60 и 200 единиц и передает его в управляющую ПЭВМ по USB интерфейсу. Далее изображение оцифровывается и поступает на вход специализированного программного обеспечения (СПО). Нейросетевой модуль СПО, обученный возможным видам дефектов, анализирует изображение и формирует результат распознавания. Результат вместе с распознаваемым изображением поступает на сервер обработки и хранения данных. Оператор и (или) технолог имеет возможность в реальном времени наблюдать за процессом работы. Кроме того, сервер накапливает результаты работы и (при наличии экспертной системы) позволяет оценивать причины брака, давать рекомендации к их устранению, предсказывать процент выхода годных плат при данной технологии и данных технологических режимах.

Математическим обеспечением комплекса являются нейросетевые алгоритмы обработки изображений. Применение в создаваемом программном комплексе какого-то определенного вида НС и алгоритма обработки образов не представляется возможным, поэтому необходимо использовать несколько различных видов НС с разными выходными параметрами, а окончательное решение должно формироваться методом «голосования» с различными весовыми коэффициентами. В общем случае искусственная нейросеть не является универсальной по своей структуре. Для ряда прикладных задач существует множество различных структур реализации, алгоритмов, методов обучения и т.п.

Результатом дефектоскопии является хорошим инструментом для увеличения выхода годной продукции, особенно сложных многослойных плат.

1.17.7. ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ КОММУТАЦИОННЫХ СТРУКТУР

Каждый дефект имеет свои уникальные особенности. Эти особенности необходимо учитывать при разработке технологического маршрута производства ячейки, при этом многие особенности связаны с человеческим фактором, например, ошибка хранения паяльных паст, неверные заданные параметры оборудования (могут быть вызваны опечаткой) возникают чаще всего из-за недостаточной квалификации персонала, поэтому следует проводить несколько ступеней проверки на производстве. Так как, несмотря на широкую автоматизацию производства, автоматика дает совсем малый процент сбоев в производстве ЭА. Каждый дефект требует специального метода контроля, при этом нельзя выделить какой-то универсальный метод, кото-

рый сможет достаточно хорошо выявить все дефекты(внутренние и внешние), методы необходимо комбинировать.

Изготовление шлифов с травлением дает информацию о состоянии меди, которая определяет качество металлизации сквозных отверстий. Кроме представления об общем качестве шлифы дают информацию о толщине слоев и возможных проблемах, возникающие при сверлении; растрескивании; кавернах; размазывании многослойного материала печатной платы. Шлифы, демонстрирующие мелкозернистую структуру осажденной меди и равнозначное травление по всем осям, свидетельствуют о высоком качестве выполнения металлизации стенок отверстий.

В зависимости от типа производства, необходимо подбирать свой метод контроля и оценки паяных соединений. Так для единичных производств, достаточно недорогих, но требующих временных затрат методов, а для массовых необходимо дорогостоящее оборудование.

Тесты к лекции 1.17

1. Какие методы дефектоскопии Вы знаете?
 - а) визуальный осмотр, оптический и рентгеновский методы, микрошлиф;
 - б) оптический, электрический и рентгеновский методы;
 - в) тактильный метод, микрошлиф, визуальный метод.

2. В каких случаях применяется рентгеновский контроль КС?
 - а) при использовании дорогостоящих компонентов, имеющих мелкий шаг выводов;
 - б) при подозрении на внутренние дефекты;
 - в) всегда.

3. Как можно уменьшить явление дефекта появления шариков припоя?
 - а) сушкой паяльной пасты перед пайкой;
 - б) паять в более влажной среде или при более высоких температурах;
 - в) не использовать паяльную пасту.

4. Что не является дефектом монтажного отверстия ПП?
 - а) эффект «подушка»;
 - б) разрыв металлизации;
 - в) наросты меди.

5. Что не является причиной возникновения дефектов монтажного отверстия в печатной плате?
 - а) некачественное изготовление микрошлифа;
 - б) неверный выбор режима сверления, плохая очистка отверстий;
 - в) нарушение режимов активации диэлектрика в отверстиях.