

Методы анализа

с целью квалификации бессвинцовых паяных узлов

Электронные модули подвергаются в ходе эксплуатации механической, температурной и климатической нагрузке, которая может привести к повреждению паяных соединений и выходу из строя. Повреждения могут также происходить при неудовлетворительном качестве паяных соединений в изначальном состоянии и его несоответствии критериям приемки действующих стандартов [1]. Для оценки паяных соединений и установления причин отказов могут быть применены различные методы анализа. К ним относятся оптическая инспекция, растровая электронная микроскопия, рентгеноскопия и металлография. В данной статье представлены и объяснены различные методы исследования электронных узлов, а также возможности их применения.

Соня Веге,
Д. Т. Н.

sonja.wege@zve.izm.fraunhofer.de

Перевод: Андрей Новиков

andrej.novikov@uni-rostock.de

Оценка бессвинцовых паяных соединений (по технологиям THT и SMD)

При переходе на бессвинцовые технологии оптическая инспекция является важной составляющей комплексной оценки качества паяных соединений. Для того чтобы паяные соединения считались надежными, они должны соответствовать критериям приемки стандарта IPC A 610, Revision D [1] или DIN EN 61190 [2]. Важные критерии при этом — смачивание контактной площадки и контакта компонента припоем, а также форма и высота мениска припоя. Для корпусов интегральных микросхем класса 3 (силовая электроника) критерии таковы:

- ширина паяного соединения должна составлять как минимум 75% от ширины контакта компонента или ширины контактной площадки;
- минимальная высота паяного соединения должна соответствовать минимальной толщине зазора между компонентом и контактной площадкой плюс 25% от высоты контакта компонента.

Различные причины могут вести к наличию и обнаружению неприемлемых паяных соединений при оптическом контроле (рис. 1). В последнее время особенно часто наблюдается плохая паяемость металлизации печатных плат из иммерсионного олова, и, как следствие, возникают проблемы в процессе пайки. Причиной этому зачастую является слишком тонкий слой олова. Для бессвинцового процесса пайки (особенно в случае многократного процесса пайки) толщина слоя олова должна составлять как минимум 0,8 мкм [3], так как печатные платы уже в изначальном состоянии имеют интерметаллическую SnCu-фазу толщиной 200–300 нм, которая увеличивается при каждом повторном процессе температурной обработки и в итоге «прорастает» сквозь слой олова и тем самым препятствует надежному смачиванию припоем. Для подтверждения ограниченного качества финишного покрытия печатной платы рекомендуется проводить испытание паяемости в соответствии со стандартом J-STD-003 [4]. В данном тесте на несмонтированную печатную плату после сушки наносится флюс со слабой активацией, после чего плата погру-

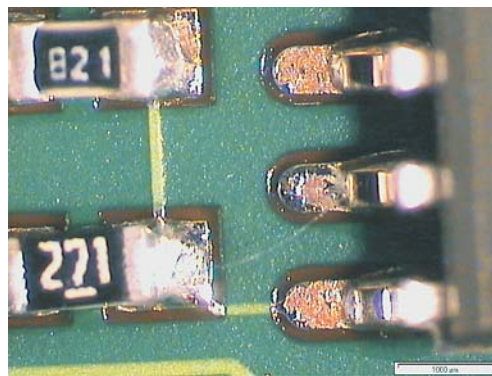


Рис. 1. Оптическая инспекция электронных узлов — допустимые и недопустимые паяные соединения

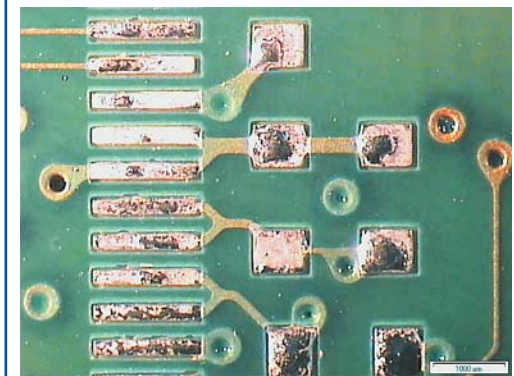


Рис. 2. Неприемлемая паяемость финишного покрытия «иммерсионное олово»

жается в ванну с расплавленным припоем. При макроскопической оценке как минимум 95% контактной площадки должно быть покрыто слоем припоя. На рис. 2 показан пример результата данного теста на паяемость, при котором паяемость финишного покрытия печатной платы может быть оценена как неприемлемая.

Для паяных соединений компонентов со штырьковыми выводами наряду с оценкой паяемости со стороны пайки важным критерием оценки также является степень наполнения припоем сквозного отверстия. В идеале мениск припоя должен быть полностью сформирован как со стороны пайки, так и со стороны монтажа. Приемлемым для вертикального наполнения припоем (также для класса 3) считается степень наполнения 75%. По сравнению с процессом пайки волной из свинецсодержащего припоя (в зависимости от конфигурации компонента и выбранных параметров процесса) при бессвинцовой пайке значительно чаще происходит неполное заполнение отверстия припоем. В компонентах, которые вплотную лежат на печатной плате, как, например, разъемы, возможность оценки наполнения припоем со стороны монтажа с помощью оптической инспекции ограничена, и степень наполнения не может быть точно определена. В данном случае в качестве дополнительного метода для оценки степени наполнения припоем может быть использован рентгеновский анализ [5]. Дополнительный металлографический анализ шлифов на отдельных пробах рекомендуется при переходе на новую технологию производства или при обработке новых электронных модулей в случае, если приемлемое заполнение припоем должно быть повторно подтверждено.

В бессвинцовых паяных волной соединениях проявляются «новые» дефекты пайки, так называемые усадочные трещины. Эти трещины допустимы для бессвинцовых припоев согласно стандарту IPC A 610 для классов 1, 2 и 3, если видно основание трещины, и она не касается штырькового контакта компонента и контактной площадки. Оптическая инспекция позволяет обнаружить дефекты на поверхности паяных соединений. Чтобы получить информацию о глубине усадочной трещины, необходимо провести металлографические исследования поперечных срезов. Опыт показывает, что усадочные трещины расположены

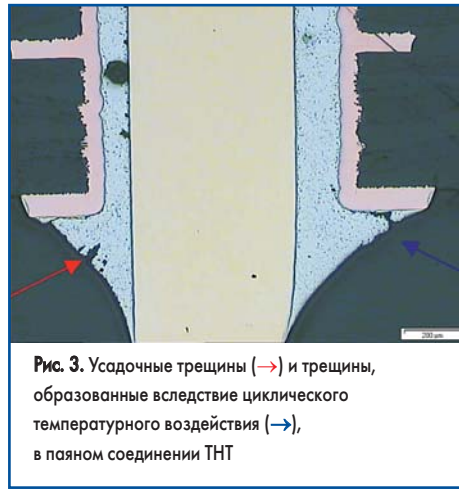


Рис. 3. Усадочные трещины (→) и трещины, образованные вследствие циклического температурного воздействия (→), в паяном соединении ТНТ

в верхней части галтели паяного соединения и не претерпевают изменений при температурной нагрузке, а, следовательно, не оказывают влияния на надежность соединения (рис. 3).

Исследование паяных соединений BGA

В связи с общей тенденцией повышения плотности интеграции в электронных узлах все чаще применяются компоненты в корпусах BGA и CSP. Недостаток данных компонентов заключается в том, что их паяные соединения скрыты и лишь частично доступны или совсем недоступны для оптической инспекции и контроля. Важным неразрушающим методом контроля в данном случае является рентгеновская микроскопия, которая позволяет быстро и надежно исследовать паяные соединения [6].

Если после процесса пайки в компонентах BGA возникают нарушения функций, это может быть связано, например, с такими дефектами, как перемычки припоя, отсутствие паяного соединения или «холодная» пайка и отслаивание в корпусе компонента. Перемычки припоя, отсутствие паяного соединения или «холодная» пайка (рис. 4) могут быть без проблем детектированы с помощью двумерной рентгеновской микроскопии. Повреждения компонента вследствие так называемого порсогн-эффекта могут быть определены с помощью рентгеновской микроскопии в случае, если просадка компонента настолько велика, что паяные соединения в его центре кажутся значительно больше, чем в остальных местах (рис. 5).

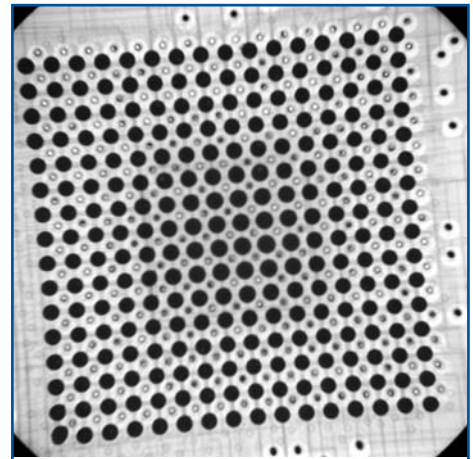


Рис. 5. Рентгеновский анализ — порсогн-эффект

Дефект пайки, когда паста и шарик припоя расплавились, но соединение не произошло, не может быть детектирован при прямом просвечивании рентгеновским излучением. При просвечивании под углом и большем увеличении в некоторых случаях можно различить смачивание или несмачивание контактной площадки печатной платы, ориентируясь на форму паяного соединения. Микротрещины между контактной площадкой и шариком припоя, которые возникают вследствие недостаточной адгезии к финишному покрытию печатной платы или за счет термомеханической нагрузки паяных соединений, не могут быть обнаружены. Достаточно часто происходит отказ компонентов BGA, которые смонтированы на печатных платах с финишным покрытием «никель-золото». Причиной отказов является образование трещин в паяных соединениях данных компонентов. Трещины образуются преимущественно во внешних частях, либо в угловых контактах BGA-компонента и проходят при этом вдоль границы между слоем никеля и слоем интерметаллических фаз. Данный дефект может быть обнаружен лишь с помощью метода металлографии (рис. 6).

Металлографические исследования также необходимы, если после пайки бессвинцовых BGA-компонентов свинецсодержащим припоем нужно установить, в каком объеме образовалась однородная структура паяного соединения. На рис. 7 показан пример металлографического микрошлифа, на котором явно видно, что при выбранных параметрах про-

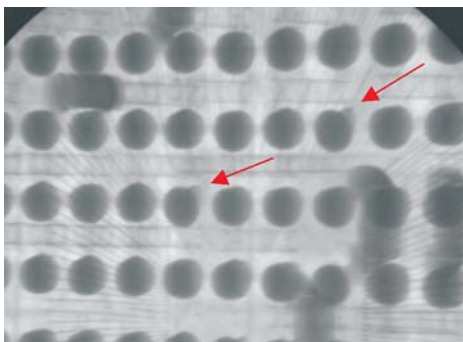


Рис. 4. Рентгеновский анализ — нерасплавившиеся шарики припоя



Рис. 6. Образование трещин в паяном соединении компонента BGA

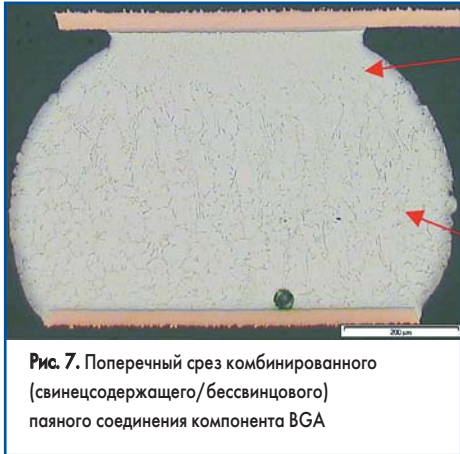


Рис. 7. Поперечный срез комбинированного (свинцоводержащего/бессвинцового) паяного соединения компонента BGA

цесса пайки шарик припоя и паяльная паста расплавились и соединились, но свинцоводержащая часть припоя пасты содержится лишь в 2/3 поперечного среза паяного соединения. Если также необходимо установить, насколько достаточным является соединение бессвинцового шарика припоя и свинцоводержащей паяльной пасты, необходимо провести исследование методом рентгеноскопии.

Следующий существенный дефект паяных соединений компонентов BGA — это образование пустот. Согласно IPC A 610, Revision D для всех трех классов электронных узлов допустимо не более 25% пор в паяном соединении. Поры, возникающие за счет дизайна печатной платы, например microvia-соединение в контактной площадке, не учитываются данным критерием. Оценка содержания пор в паяных соединениях может быть произведена с помощью метода рентгеноскопии. На рентгеноскопическом снимке поры выглядят как светлые кружки внутри темных шариков припоя (рис. 8). С помощью программного обеспечения рентгеноскопических приборов можно определить отношение между объемом пор и объемом паяного соединения.

Оценка качества печатных плат

В последнее время участились функциональные отказы электронных узлов после процесса пайки, связанные с недостаточным качеством печатных плат в исходном состоянии. При этом чаще всего обнаруживаются следующие дефекты печатных плат:

- трещины в соединениях внутренних слоев;



Рис. 9. Дефекты соединений внутренних слоев

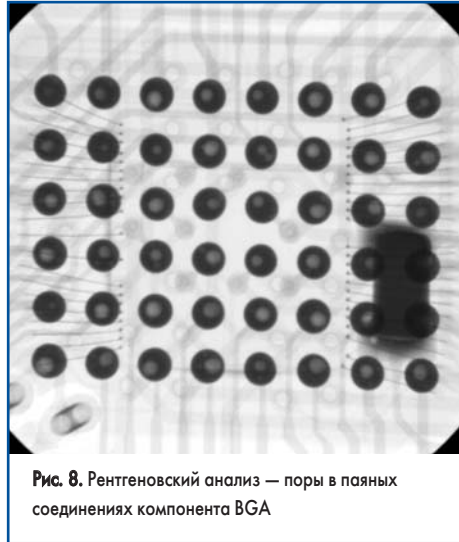


Рис. 8. Рентгеновский анализ — поры в паяных соединениях компонента BGA

- дефектные соединения microvia;
- недостаточная толщина медной металлизации;
- дефекты в сквозных соединениях;
- образование складок;
- дефекты в ламинате, расслоение и вспучивание.

Вспучивание в материале печатной платы зачастую видно на поверхности платы и соответственно может быть детектировано с помощью метода оптической инспекции. Дефекты внутри печатной платы могут быть определены только с помощью металлографического метода. К ним относятся дефекты межслойных соединений (рис. 9) и образование складок (рис. 10). Некачественно проведенные процессы сверления ведут к созданию сквозных соединений с неровными поверхностями стенок отверстия. С этим связаны ограничения в процессе металлизации сквозных отверстий, которые в свою очередь ведут к образованию складок, слой меди на которых слишком тонкий.

Для предотвращения функциональных отказов электронных узлов, связанных с ограниченным качеством печатных плат, рекомендуется проводить тестирование печатных плат согласно норме IPC 6012 [6] до процесса пайки. В ходе данного тестирования проводится металлографическое исследование печатных плат в исходном состоянии и после температурной нагрузки, которая симулирует условия процесса пайки. Требуемая толщина медной ме-

Таблица. Требуемая толщина медной металлизации в сквозных отверстиях (согласно IPC 6012)

	Класс 1	Класс 2	Класс 3
Усредненное значение минимальной толщины, мкм	20	20	25
Минимальная толщина на тонких местах, мкм	18	18	20

таллизации в сквозных отверстиях для всех трех классов электронных узлов представлена в таблице.

Компоненты с паяемыми теплоотводами

Все чаще применяют компоненты, которые имеют металлические поверхности с достаточно большой площадью для отвода большого количества тепла. Данные поверхности расположены на нижней части компонента и припаиваются напрямую к печатной плате. Такие поверхности не могут быть монтированы стандартным процессом пайки оплавлением без образования пустот в соединении. Так как содержание пустот влияет на отвод тепла, необходимо определение соотношения между суммарной площадью пустот и площадью паяного соединения. В данном случае быстрое и надежное проведение подобного анализа возможно лишь с помощью метода рентгеноскопии.

Примечание. Оригинал статьи опубликован в журнале PLUS (Produktion von Leiterplatten und Systemen, 2007, № 10, Германия).

Литература

1. IPC A 610, Revision D — Abnahmekriterien für elektronische Baugruppen.
2. DIN EN 61192 — Anforderungen an die Ausführungsqualität von Lötbaugruppen.
3. Oberender L. Leiterplattenoberflächen für den bleifreien Lötprozess. ZVE-Technologieforum, September 2005, Oberpfaffenhofen.
4. ANSI/J-STD-003 — Solderability Tests for Printed Circuit Boards.
5. Wege S. Einsatz der Röntgeninspektion zur Qualifizierung bleifreier Lötverbindungen. GMM/VDI-Tagung, Fellbach, Februar 2004.
6. IPC 6012 — Qualification and Performance Specification for Rigid Printed Boards.

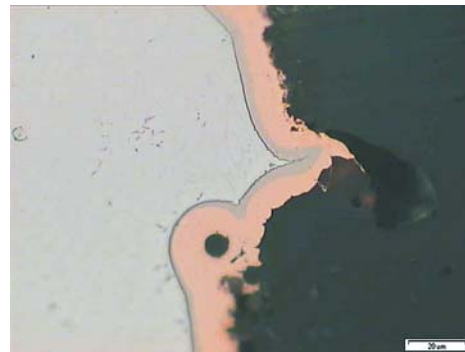


Рис. 10. Слишком тонкий слой медной металлизации в области образования складок