

# Актуальные методы контроля качества при проведении монтажа электронных компонентов

К. Кремлев<sup>1</sup>

УДК 621.3 | ВАК 2.2.4

Качество монтажа электронных компонентов – основной критерий работоспособности электронных устройств. Но итоговое качество продукции зависит не только от уровня проведения монтажа компонентов на печатные платы, но и от столь важных факторов, как исходные комплектующие, технология монтажа и материалы. Соответственно, к обязательным операциям в производственной цепочке изготовления электронных устройств следует относить все виды инспекции – от входного контроля комплектующих до контроля уже готового изделия. Такой подход позволяет не только обнаружить все основные дефекты, но и помочь выявить и устранить причину их возникновения, а в конечном счете – понизить процент брака. В данной статье рассматриваются различные современные методы контроля, применяемые при производстве электронных изделий.

## ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ

Проведение входного контроля комплектующих является очень важной операцией, так как позволяет существенно экономить ресурсы, исключив выпуск заведомо некачественной продукции.

К основным дефектам, выявляемым при входном контроле комплектующих, относятся:

- несоответствие спецификации изделия;
- брак производителя (рис. 1);
- контрафакт;
- механические повреждения.

Контроль может проводиться как ручными (визуальный контроль и ручной замер технических параметров), так и автоматическими (автоматические оптические системы, рентгеновские установки) методами.

## КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МОНТАЖА КОМПОНЕНТОВ

Процедуры, предназначенные для проверки качества монтажа, способны определить следующие основные дефекты:

- отсутствие компонентов;
- неправильный компонент;
- смещение, наклон и поворот компонентов (рис. 2);
- наличие замыканий;

- недостаточный объем припоя в паянном соединении;
- холодная пайка;
- наличие пустот;
- дефекты при монтаже BGA (Ball Grid Array – специальная форма корпуса чипа, при которой выводы представляют собой массив шариков припоя, расположенный под корпусом микросхемы).

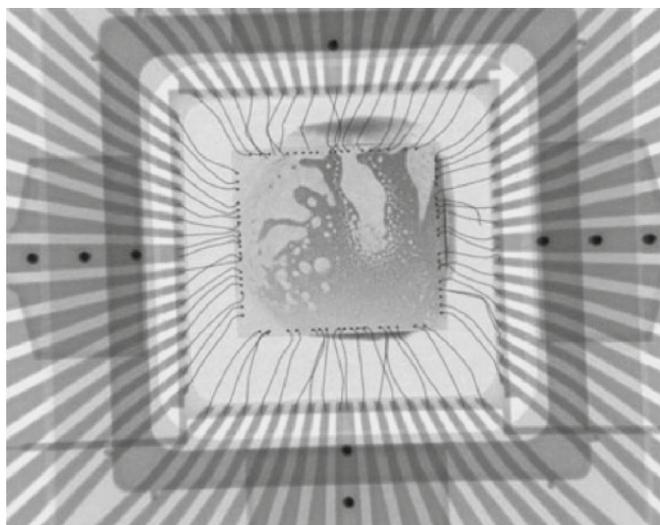
Контроль качества монтажа компонентов позволяет выявить ошибки проектирования (неправильный подбор материалов, расположения и параметров компонентов), ошибки при отладке технологического процесса (неправильные температурные режимы и технология монтажа), а также производственные дефекты (износ или повреждение производственного оборудования и инструментов, человеческий фактор).

## РАЗРУШАЮЩИЙ И НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

Методы контроля можно разделить на две группы: разрушающие и неразрушающие. Разрушающие методы контроля позволяют практически гарантированно выявлять большинство дефектов, но обладают главным недостатком, отраженным в их названии. Разрушающие методы контроля применяются в основном в следующих случаях:

- выборочный контроль партии особо важных изделий;

<sup>1</sup> Руководитель направления «Технологическое оборудование», ГК «Диполь», kremlev@dipaul.ru.



**Рис. 1.** Брак микросхемы, обнаруженный рентгеновской установкой на входном контроле

- выявление глубинных причин дефекта, обнаруженного при неразрушающем контроле;
- определение причин отказа неработоспособных изделий.

Методы разрушающего контроля необратимы, требуют финансовых и временных затрат. Поэтому чаще всего на производстве находят применение неразрушающие методы контроля качества, с помощью которых удается обнаруживать практически все дефекты, оставляя прошедшую контроль продукцию пригодной для дальнейшего использования.

### ОСНОВНЫЕ НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МОНТАЖА

При производстве электронных изделий существуют четыре основных метода контроля:

- визуальный;
- оптический;
- электрический;
- рентгеновский.

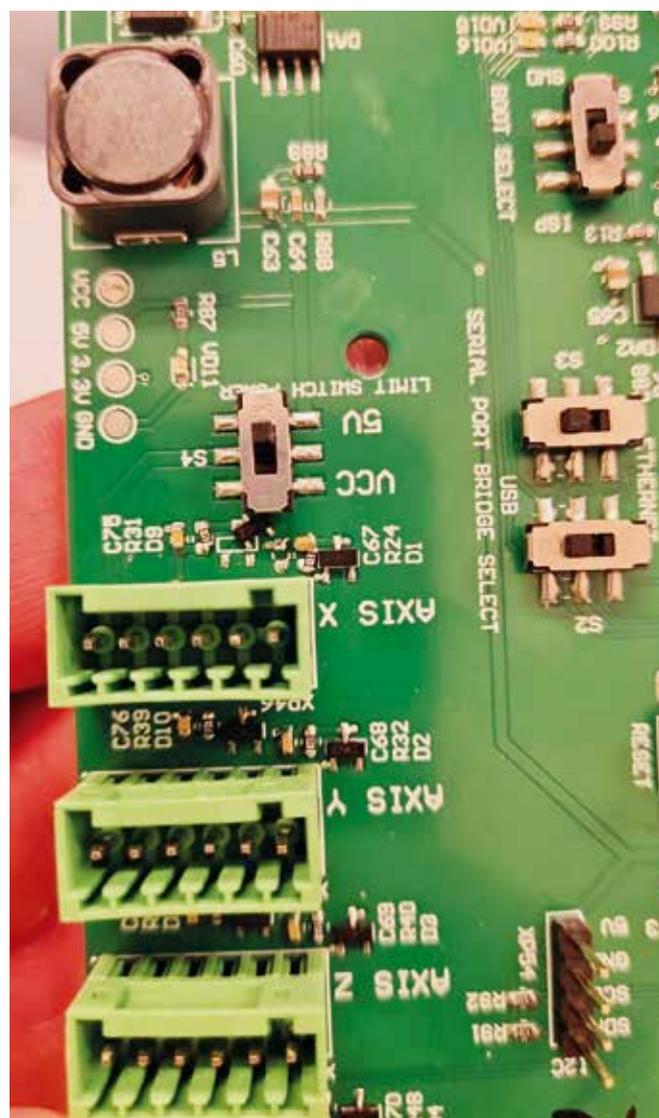
### Визуальный контроль

Это один из традиционных и одновременно самых простых методов, при котором сотрудник проводит контроль качества визуально. Данный способ относится к основным методам входного и производственного контроля, позволяет легко обнаруживать невооруженным глазом многие дефекты, в том числе:

- отсутствие компонентов;
- несоответствие маркировки;
- механические повреждения;
- смещение компонентов.

Сейчас основные инструменты операторов, выполняющих визуальный контроль, – оптические и видеомикроскопы (рис. 3). Во-первых, они помогают выявить более мелкие дефекты: непропаянные соединения, недостаток/избыток припоя, перемычки, загрязнения, малые смещения компонентов, холодную пайку, окисление контактов от перегрева и др.

Во-вторых, современные микроскопы эргономично устроены, обладают хорошей оптикой и большим выбором вспомогательных опций (возможность установки камеры и вывод изображения на монитор, электронное управление, дополнительные источники освещения, возможность наклона и поворота, антистатическое исполнение, измерительные функции и возможность сохранять снимки). Эти опции облегчают работу опера-



**Рис. 2.** Пример брака изделия по причине нарушения технологии производства



**Рис. 3.** Цифровой микроскоп для проведения визуального контроля Inspex HD 720p/HD 1080p производства ASH Technologies

тора и экономят силы, которые он может сосредоточить на процессе инспекции, а не на удобстве посадки за рабочим местом.

Несмотря на очевидные достоинства, такие как низкая стоимость оборудования и простота использования, визуальный метод контроля имеет определенные недостатки: большие временные затраты, необходимость в достаточно высокой квалификации оператора, невозможность обнаруживать скрытые дефекты. Поэтому визуальный контроль не должен являться единственным методом контроля качества, однако может активно применяться при входном контроле, а также как промежуточный метод контроля, позволяя оперативно обнаруживать явные крупные дефекты и снижая нагрузку на последующие методы контроля.

### Автоматический оптический контроль

По сравнению с визуальным контролем система автоматической оптической инспекции (рис. 4) имеет следующие преимущества:

- частично исключаются риски человеческого фактора;
- повышается производительность за счет автоматизации;
- может применяться не только для итогового контроля качества пайки компонентов, но и на других этапах технологического процесса для межоперационного контроля операций – нанесения паяльной пасты, позиционирования компонентов, нанесения влагозащитных покрытий и др.

Методика проведения инспекции сводится к тому, что рабочая область (так называемое поле зрения) анализируется системой машинного зрения и в последующем обрабатывается компьютерными алгоритмами,

сравниваемыми полученными параметрами с эталонными. Самым важным в этих установках является точность замера параметров и количество ложных срабатываний (когда машина из-за неточных измерений делает ошибку в алгоритме «годное изделие/брак»). Наиболее простые 2D- и 2,5D-системы используют RGB-метод (несколько разноцветных кольцевых подсветок, расположенных на разном уровне, поочередно засвечивают область инспекции, а камера делает снимки и строит свои предположения на основе процентного соотношения различных цветовых отблесков). Это самые бюджетные системы, но погрешность их измерений может выходить за пределы допусков настройки. Например, допуск по объему галтели составляет 60–70%, а погрешность системы – более 15%, в этом случае система может принять брак за хороший показатель, а хороший за брак (ложное срабатывание).

В более современных полностью 3D-системах риск ложных срабатываний сводится к минимуму благодаря тому, что на inspected поверхность при помощи аналоговых проекторов (не путать с DLP – digital light projector) накладывается рисунок, который позволяет системе вычислять точные объемы в 3D. Нередко такие системы называют уже не оптическими, а измерительными, так как они определяют геометрию объекта в числовом значении, которое система легко может сравнить с заданным. Пример такой системы Koh Young Zenith (см. рис. 4).

Описанные методы позволяют контролировать ряд объектов и параметров:

- отсутствие компонентов;
- любые дефекты размещения компонентов (сдвиг, поворот, компланарность, смещение выводов и др.);
- перемычки между контактами;
- уровень заполнения контролируемых областей припоем;
- посторонние включения.

Системы автоматической оптической инспекции обычно имеют дополнительные программные опции, благодаря которым, с одной стороны, можно повысить точность и скорость проведения контроля, а с другой – проводить анализ причин возникновения дефектов, вести статистику и хранить данные.

Эти системы пользуются большой популярностью при изготовлении электроники, поскольку на их основе строятся сложные, многозадачные системы машинного зрения, тесно интегрирующиеся в технологический процесс и участвующие не в одном, а в целой серии основных этапов производства. Однако, являясь логическим развитием средств визуального контроля они не способны обнаруживать все возможные дефекты. В частности, оптическим системам физически недоступны дефекты, расположенные под корпусами элементов (в BGA-компонентах, многоконтактных разъемах), а также внутренние дефекты, как изначально имеющиеся внутри

компонентов, так и возникшие в результате нарушения технологии монтажа.

### Электрический контроль

Электрический метод контроля основан на измерении параметров цепей при пропускании электрического тока через систему контактирования установки контроля с тестируемым образцом. Метод применяется как для проверки несмонтированных печатных плат с целью контроля качества их изготовления, так и для смонтированных печатных плат. Данный подход позволяет определять короткие замыкания, отсутствие соединений, измерять основные электрические параметры, производить программирование, а также проверять функциональность активных и пассивных компонентов. Недостатки метода – сложность подготовки управляющей программы и определенные квалификационные требования к оператору. Метод нашел успешное применение при изготовлении печатных плат, позволяя с высокими скоростью и степенью автоматизации выполнять контроль качества их изготовления. Электрический контроль находит применение и при инспекции готовых изделий, но вследствие высокой стоимости оборудования редко встречается на производствах.

### Рентгеновский контроль

Рентгеновский контроль (рис. 5) является наиболее глубоким методом неразрушающего контроля качества при

производстве электроники, с помощью которого можно находить наибольшее количество дефектов. Это единственный метод обнаружения дефектов, локализованных



Рис. 4. Система автоматической оптической инспекции Zenith UHS



Рис. 5. Промышленная система рентгеновского контроля СРК-1000 производства «Диполь»

в визуально недоступных местах изделия (под компонентами, внутри корпусов).

Данный метод похож на визуальный или оптический, когда оператор проводит анализ изображения изделия или его отдельных частей. Основное отличие – использование изображения, полученного за счет просвечивания объекта контроля рентгеновским излучением с регистрацией изображения на цифровом детекторе. Такой подход позволяет просматривать объекты контроля насквозь и обнаруживать максимально широкий спектр дефектов в местах, недоступных для контроля при использовании других методов (под корпусами компонентов, внутри корпусов компонентов и изделий, в промежуточных слоях многослойных печатных плат, в переходных и монтажных отверстиях):

- пустоты внутри соединений;
- дефекты при монтаже BGA-компонентов;
- разрыв или отсутствие проволочных соединений в чипе;
- дефект или отсутствие чипа в корпусе;
- дефекты внутренних слоев и переходных отверстий печатных плат.

Рентгеновский контроль находит свое применение на всех этапах производства электроники: входном, межоперационном, выходном контроле, при ремонте и анализе неисправностей в процессе эксплуатации изделий.

Несмотря на огромные возможности и универсальность применения, данный метод также не лишен недостатков: невысокая скорость, зависимость от квалификации оператора, высокая стоимость оборудования. Все это

препятствует широкому распространению систем рентгеновского контроля, в связи с чем их покупка и использование становятся прерогативой либо крупных производственных компаний, либо компаний, выпускающих продукцию, к качеству которой заказчиком или нормативной документацией предъявляются особенно высокие требования.

### Общие принципы организации контроля при монтаже электронных компонентов

Учитывая особенности и недостатки существующих методов контроля, можно заключить, что ни один из них не является универсальным. В связи с этим обеспечение необходимого уровня качества требует комплексного подхода с использованием нескольких способов проверки.

Например, хорошо зарекомендовала себя схема двухступенчатого контроля, когда «быстрыми» методами проводится сплошной контроль продукции, а «медленными», но более эффективными – выборочный контроль партии. В любом случае, для организации эффективного и экономически целесообразного контроля необходимо учесть большое количество факторов: номенклатуру изделий, объем производства, требования заказчика и нормативной документации, а также посчитать и сравнить стоимость контроля продукции и появления брака. Все это непростые задачи, но их необходимо решать. Правильно организованный контроль повышает экономическую эффективность производства и существенно снижает риски при выпуске электронных устройств. ●

## КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 3700 руб.  
за два тома

### ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ. СПРАВОЧНИК. В 2-х КНИГАХ.

Под ред. К. Кумбза

В издании рассматриваются все процессы создания и применения печатных плат: проектирование и выбор базовых материалов, изготовление, обеспечение качества и оценки надежности печатных плат и печатных узлов, монтаж плат, включая особенности бессвинцовых технологий пайки, а также методы и средства испытаний применительно к специальным требованиям. Шестое издание дополнено информацией по ценообразованию, количественной оценке технологичности плат, управлению производством и решению экологических проблем.

Справочник рассчитан на широкий круг специалистов-технологов, конструкторов, схемотехников и специалистов по надежности, поскольку печатные платы являются фундаментом проектирования и производства изделий электроники.

Данная книга может служить учебным пособием для студентов и аспирантов вузов соответствующих специальностей.

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2023. – 2032 с.,  
ISBN 978-5-94836-258-8  
Т. 1. – 1016 с. Т. 2. – 1016 с.

#### КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

☎ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; [knigi@technosphera.ru](mailto:knigi@technosphera.ru), [sales@technosphera.ru](mailto:sales@technosphera.ru)

# ИСПЫТАНИЯ

## ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РЕЗОНАНСНЫХ ЧАСТОТ КОНСТРУКЦИИ

ВИБРОСТЕНД EMIC



воспроизводимая  
частота: 5-32 000 Гц



воспроизводимое  
ускорение: до 29 g



Одним из важнейших этапов проектирования радиоэлектронных систем (РЭС) является прогнозирование ресурса электронных компонентов.

Ранее при проведении расчетов надежности РЭС использовали низшую резонансную частоту электронного компонента, либо системы. Однако вместе с миниатюризацией современной электронной базы резонансные частоты

сдвинулись в высокочастотную область. В связи с этим уменьшился эффект разрушающего действия изгибных деформаций и увеличился эффект многоциклового нагружки, который является не менее разрушительной для РЭС.

Таким образом уже на этапе проектирования узла важно проводить испытание по определению резонансных частот ЭКБ.

