



# Выбор стратегии контроля

## в условиях перехода к бессвинцовым технологиям

**При переходе к бессвинцовым технологиям сборки печатных узлов технологи предприятий электронной промышленности столкнулись с наиболее существенными за последние десятилетия проблемами. Это произошло в связи с фундаментальными физическими и химическими изменениями, вносимыми в процесс оплавления. Указанные выше изменения затронули не только процесс пайки, но и операции контроля качества паяных соединений.**

**Станислав Гафт**  
**Евгений Матов**

test@ostec-smt.ru

**П**ереход к бессвинцовым технологиям в настоящее время является событием, актуальным для всех предприятий, связанных с производством электронных модулей на печатных платах. Если еще год назад технологи считали, что их это не касается: «Поставка продукции, выпускаемой нашим предприятием, на европейский рынок не планируется», — в настоящий момент на предприятия начали поступать электронные компоненты с бессвинцовыми покрытиями выводов, и в связи с этим начались проблемы с качеством паяных соединений.

Для обеспечения качества паяных соединений в условиях перехода к бессвинцовым технологиям необходимо:

- изменение температурных профилей оплавления (рис. 1);
- применение технологического оборудования (печей оплавления), обеспечивающего реализацию новых температурных профилей при минимальной разнице температур по всей площади печатного узла;
- применение новых припоев;



**Рис. 1.** Изменение температурного профиля при переходе от традиционной технологии (кривая синего цвета) к бессвинцовой (кривая зеленого цвета)

- применение новых базовых материалов для печатных плат с повышенной температурой стеклования.

Все бессвинцовые припои, предлагаемые в качестве замены традиционным, добавляют технологам проблемы при их внедрении на всех этапах технологического процесса сборки печатных узлов, увеличивая риск появления дефектов.

Ремонт печатных узлов, собранных с применением бессвинцовых припоев, также усложнен из-за более высокой температуры плавления, так как повышается риск разрушить компонент или повредить печатную плату.

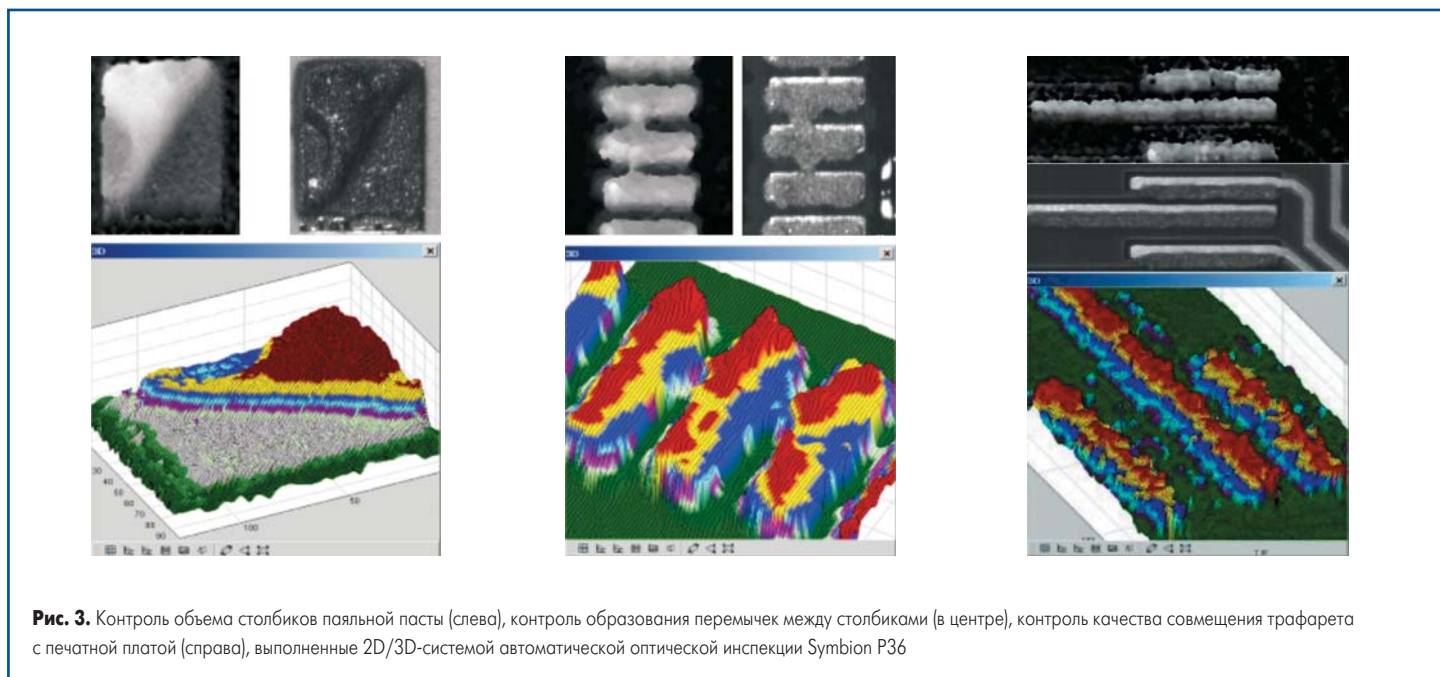
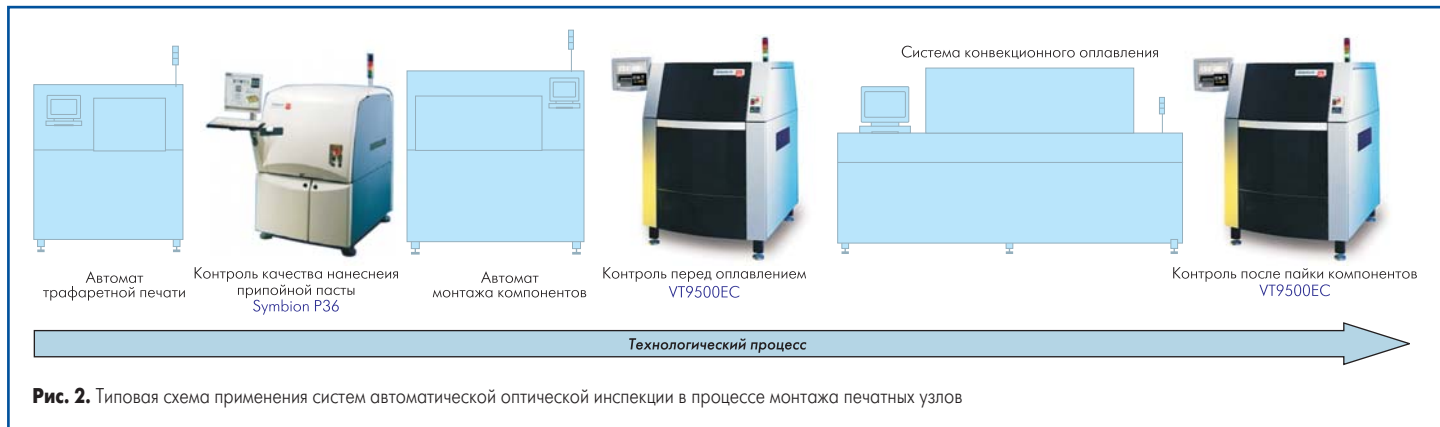
В этих условиях стратегия контроля, ориентированная на предупреждение дефектов, получает дополнительные и весьма весомые стимулы к развитию по сравнению с традиционной, ориентированной только на диагностику и локализацию. Указанная стратегия контроля предполагает многоступенчатую идеологию организации автоматической оптической инспекции.

### Применение автоматической оптической инспекции в технологическом процессе сборки электронных модулей на печатных платах

Автоматическая оптическая инспекция (АОИ) в настоящий момент уже завоевала прочные позиции как эффективное средство диагностики, локализации и предупреждения дефектов (современные представления об организации контроля в процессе сборки представлены на рис. 2).

Традиционными доводами в пользу применения систем АОИ для контроля качества нанесения паяльной пасты являются:

- уменьшение размеров монтируемых компонентов и, как следствие, уменьшение объемов паяльной пасты в столбиках;
- увеличение плотности компонентов на единицу площади печатной платы;



• увеличение количества выводов, расположенных под корпусами компонентов.

В условиях перехода к бессвинцовым технологиям необходимость автоматической инспекции для контроля качества нанесения паяльной пасты диктуется также и дополнительными причинами:

- увеличение вязкости паяльных паст и, как следствие, повышение вероятности засорения отверстий в трафарете;
- ухудшение условий для формирования столбиков паяльной пасты;
- повышение трудоемкости устранения технологических дефектов;
- увеличение вероятности повреждения печатного узла в процессе ремонта.

Все перечисленные выше причины повышают экономическую эффективность применения систем АОИ для контроля качества нанесения паяльной пасты как средства предупреждения возникновения потенциальных (скрытых) технологических дефектов. При этом повышаются требования к функциональности самой системы АОИ. Если еще недавно считалось необходимым и достаточным использование 2D-метода (контроль качества заполнения паяльной пастой контактных площадок), то при переходе к бессвинцовым технологиям все чаще рекомендуется применение 2D/3D-метода, позволяющего

контролировать реальный объем паяльной пасты в каждом столбике (рис. 3).

Учитывая указанные выше обстоятельства и оправдывая ожидания пользователей, один из лидеров в области производства и разработки систем автоматической оптической инспекции компания ORBOTECH в начале этого года выпустила на рынок новую систе-



**Рис. 4.** Новая высокопроизводительная 2D/3D-система автоматической оптической инспекции качества нанесения паяльной пасты Symbion P36

му 2D/3D-контроля Symbion P36 (рис. 4), обеспечивающую стопроцентный контроль объема столбиков паяльной пасты. Отличительной особенностью этой системы, наряду с высокой точностью измерений и достоверностью результатов контроля, является высокая производительность, позволяющая встраивать ее в современные автоматические сборочные линии.

Учитывая то обстоятельство, что силы поверхностного натяжения для бессвинцовых припоев больше, чем у традиционных сплавов, требования по точности установки SMD-компонентов в современных условиях постоянно ужесточаются. Поэтому использование современных устройств для автоматического монтажа (например, производимых компанией Philips/Assembleon), обеспечивающих высокую производительность при повышенной точности установки компонентов, позволяет снизить возникновение технологических дефектов монтажа.

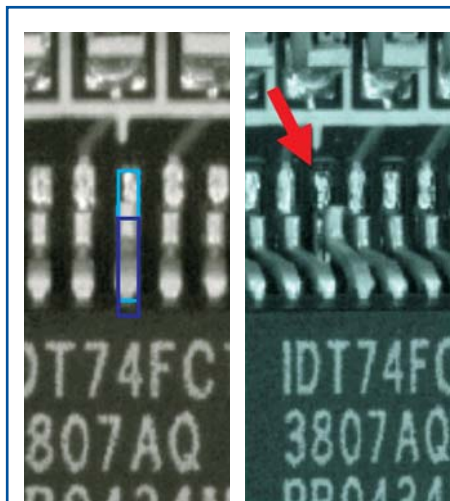
Проведение АОИ печатных узлов перед оплавлением (особенно в условиях крупносерийного производства) резко снижает стоимость проведения ремонтов, связанных с дефектами монтажа (неустановленный компонент, установленный со смещением компонента, подъем одного края компонента). Приподнятый угол компонента может быть



обнаружен с большой степенью достоверности при проведении операции АОИ. При этом предупреждение пайки компонентов с выводами, расположенными под корпусом (LLP, BGA, CSP, Flip Chip), существенно снижает риск повреждения печатной платы электронного модуля при проведении ремонта.

Практика применения профессиональных систем автоматической оптической инспекции компании ORBOTECH серий VT8000, TRION 2340, VT9300 после оплавления уже давно доказала их эффективность «на поле сражения» с технологическими дефектами и повышения надежности выпускаемых печатных узлов за счет обеспечения стопроцентного контроля каждого паяного соединения. Однако в условиях перехода к бессвинцовым технологиям изменяются форма (углы смачивания), цвет и отражающие свойства поверхностей паяных соединений, что может привести к увеличению количества обнаруживаемых ложных дефектов. Кроме того, в условиях повышения температуры в зоне оплавления повышается вероятность коробления печатных плат.

Для повышения достоверности контроля, улучшения повторяемости результатов и снижения количества ложных дефектов в условиях перехода к бессвинцовым технологиям необходима возможность получения изображений компонентов и паяных соединений под углом к объекту. В этих условиях только многокамерные системы АОИ позволяют получать в одном окне захвата изображение объекта под разными углами, использовать направленные источники освещения с нужной в каждый конкретный момент стороны. Указанная технология проведения автоматической оптической инспекции позволяет надежно диагностировать и локализовать



**Рис. 5.** Локализация приподнятых выводов интегральных микросхем в условиях плотного монтажа и бессвинцовой технологии системой АОИ VT9500 производства компании ORBOTECH. Надежная локализация приподнятого вывода указанного дефекта возможна только боковой камерой с направленным источником освещения (снимок справа).



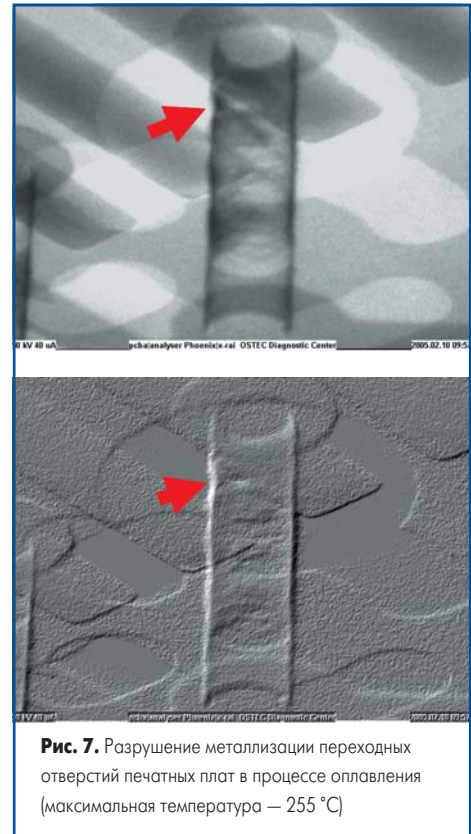
**Рис. 6.** Автоматическая оптическая инспекция качества монтажа и паяных соединений компонентов, частично закрытых соседними конструктивными элементами возможна только с использованием угловых камер и направленных под углом источников освещения.

вать дефекты монтажа и паяных соединений (рис. 5).

Кроме того, многокамерные системы имеют еще одно неоспоримое преимущество перед своими однокамерными «экономичными» младшими братьями: возможность проведения инспекции в условиях высокой плотности монтажа, когда компонент частично закрыт монтируемым по соседству разъемом или высокочастотной рамкой (рис. 6).

В связи с этими обстоятельствами в начале текущего года компания ORBOTECH разработала и выпустила на рынок новую серию систем VT9500, специально ориентированную на работу в условиях высокой плотности монтажа компонентов с использованием бессвинцовых припоев. Необходимо также отметить, что системы компании ORBOTECH используют средства самообучения и статистической обработки результатов инспекции, это позволяет проводить контроль качества изменяющейся в условиях реального производства формы и объема галтелей и полностью исключить вмешательство оператора в процесс корректировки управляющих программ и предотвратить ослабление уровня контроля.

Использование новых программных продуктов YIELD ADVISER компании ORBOTECH позволяет осуществлять эффективное управление процессом автоматической сборки на основании статистической обработки сведений об обнаруженных дефектах. Например, при обнаружении систематических дефектов монтажа компонентов, производимых одной и той же головкой определенного автомата, можно оперативно принять решение о прочистке насадки, а при постоянном дефекте монтажа определенного компонента — решение о замене поставщика компонентов с отклонениями по геометрическим размерам. Кроме того, данный программный продукт позволяет оценить реальную загрузку сборочного оборудования, ритмичность его работы, время простоев. Анализируя эти данные, можно оптимизировать технологический процесс с целью достижения максимальной производительности при запланированном уровне качества и надежности выпускаемой продукции.



**Рис. 7.** Разрушение металлизации переходных отверстий печатных плат в процессе оплавления (максимальная температура — 255 °С)

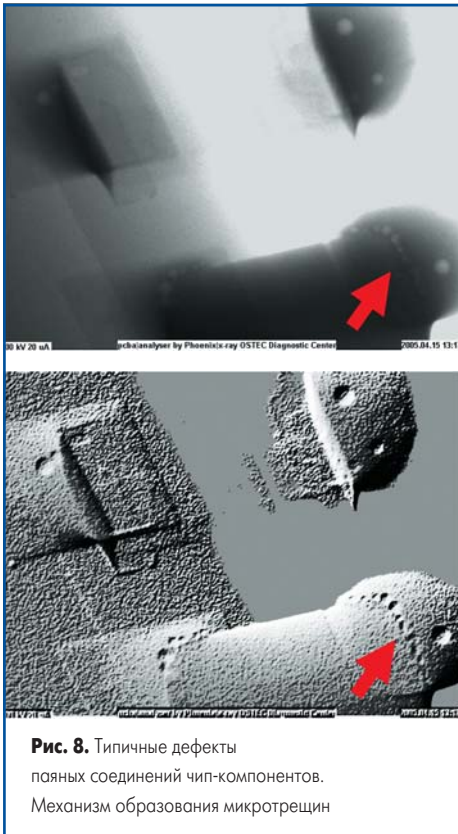
#### Рентгеновская инспекция печатных узлов

Повышение температуры плавления припоя с 183 до 217 °С при переходе к бессвинцовым технологиям приводит к необходимости увеличения максимальной температуры в зоне оплавления на 40 °С до уровня 245–260 °С.

В начале 2005 года в диагностическом центре Предприятия ОСТЕК на установке рентгеновского контроля *pcb|analyzer* производства компании *Phoenix|x-ray* (Германия) были проведены многочисленные исследования образцов печатных узлов от различных российских производителей электроники, столкнувшихся с ухудшением качества продукции в процессе перехода к бессвинцовым технологиям. Анализ, проведенный на основании данных исследований, позволил выявить характерные дефекты.

Под воздействием повышенной температуры происходит разрушение металлизации переходных отверстий. На рис. 7 представлены снимки, наглядно иллюстрирующие этот тип дефекта в процессе оплавления при температуре 255 °С. Наиболее вероятная причина представленного дефекта — различие в коэффициентах теплового расширения смолы и металла; предупреждение дефектов указанного типа — использование базовых материалов с повышенной температурой стеклования.

Анализ качества паяных соединений проводился по критерию процентного содержания пустот и их расположения. Типичные дефекты паяных соединений чип-компонентов, представленные на рис. 8, наглядно иллюстрируют образование микротрещин по границе раздела вывод компонента — галтель припоя. Наиболее вероятные причины:



**Рис. 8.** Типичные дефекты паяных соединений чип-компонентов. Механизм образования микротрещин

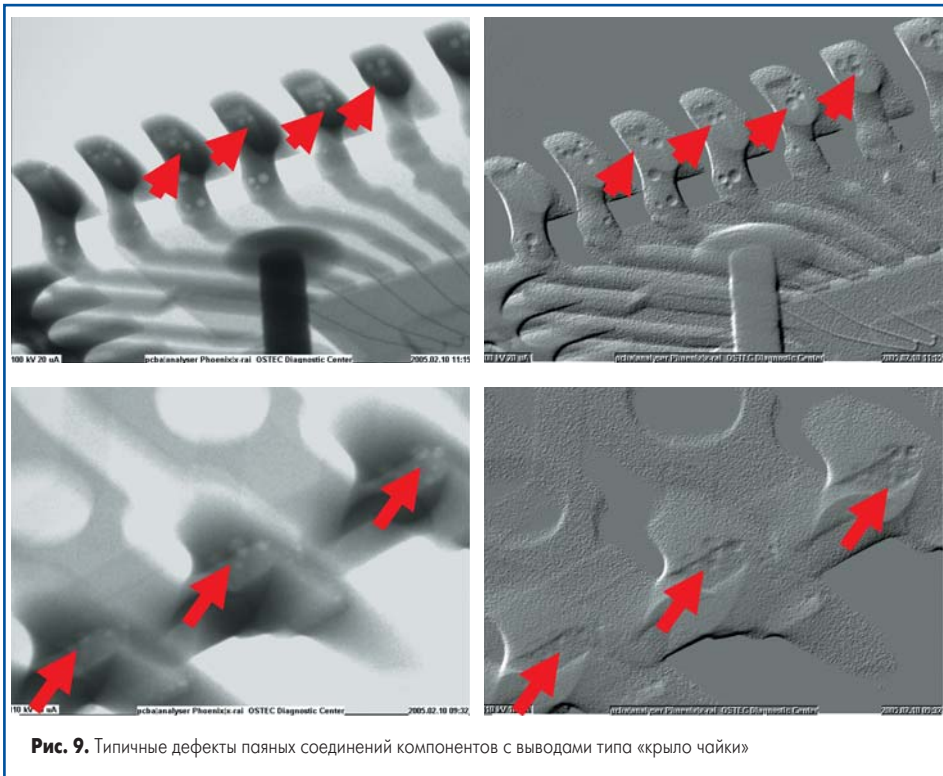
неудовлетворительная паяемость выводов компонента, неполное разрушение окисной пленки, высокая скорость нарастания температуры. Методы устранения и предупреждения указанного дефекта — тщательный подбор материалов для пайки, отладка параметров технологического процесса оплавления (температур в зонах и скорости конвейера).

Типичные дефекты паяных соединений компонентов с выводами типа «крыло чайки» представлены на рис. 9. На нижней паре снимков отчетливо видны пустоты на границе раздела вывод — галтель припоя. Наиболее вероятные причины: неудовлетворительная паяемость выводов компонента, неполное разрушение окисной пленки, высокая скорость нарастания температуры. Методы устранения и предупреждения указанного дефекта — тщательный подбор материалов для пайки, отладка параметров технологического процесса оплавления (температур в зонах и скорости конвейера).

Представленные дефекты паяных соединений (рис. 7 и 8) относятся к разряду «скрытых» и совершенно недопустимы для изделий, работающих в условиях повышенных уровней вибрации и расширенного диапазона температур.

#### Оборудование для контроля качества паяных соединений

В предыдущих разделах были продемонстрированы снимки дефектных бессвинцовых паяных соединений (рис. 8 и 9). Как уже отмечалось выше, наиболее опасные «скрытые» дефекты, приводящие к появляющимся отказам, могут быть успешно диагностированы и локализованы методами рентгеновской инспекции. Основные требования к оборудова-



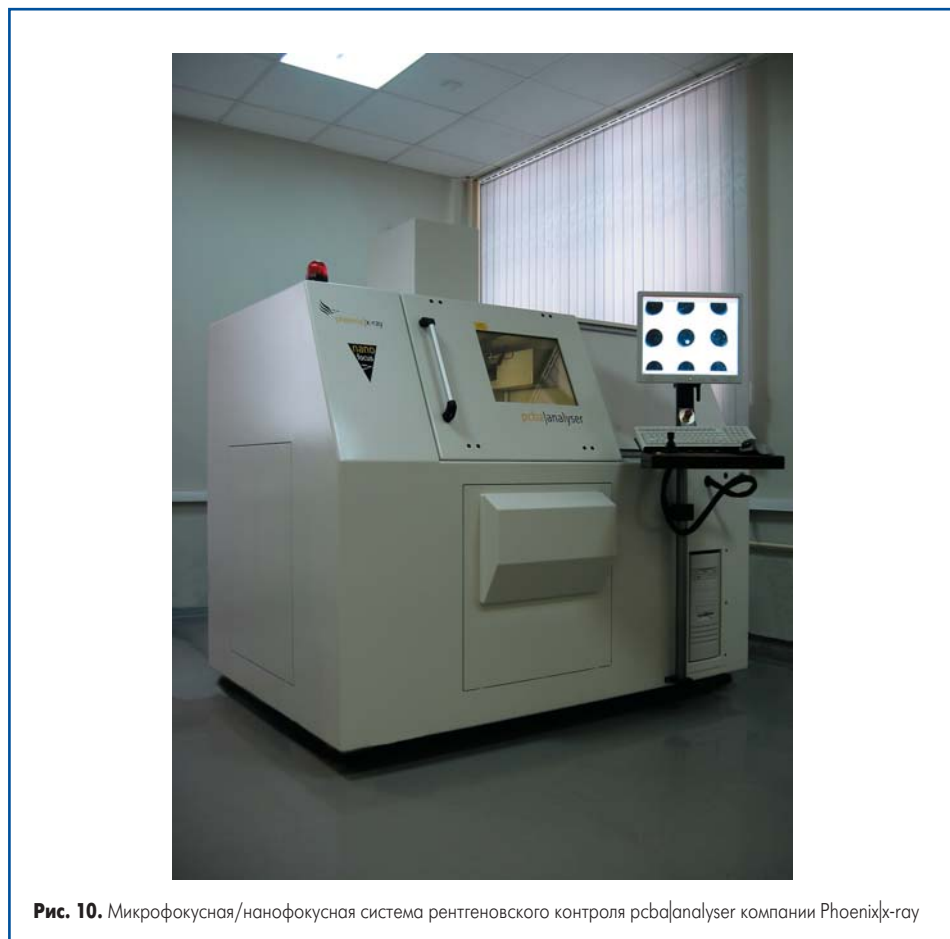
**Рис. 9.** Типичные дефекты паяных соединений компонентов с выводами типа «крыло чайки»

нию рентгеновского контроля, позволяющему проводить инспекцию и анализ бессвинцовых паяных соединений, следующие:

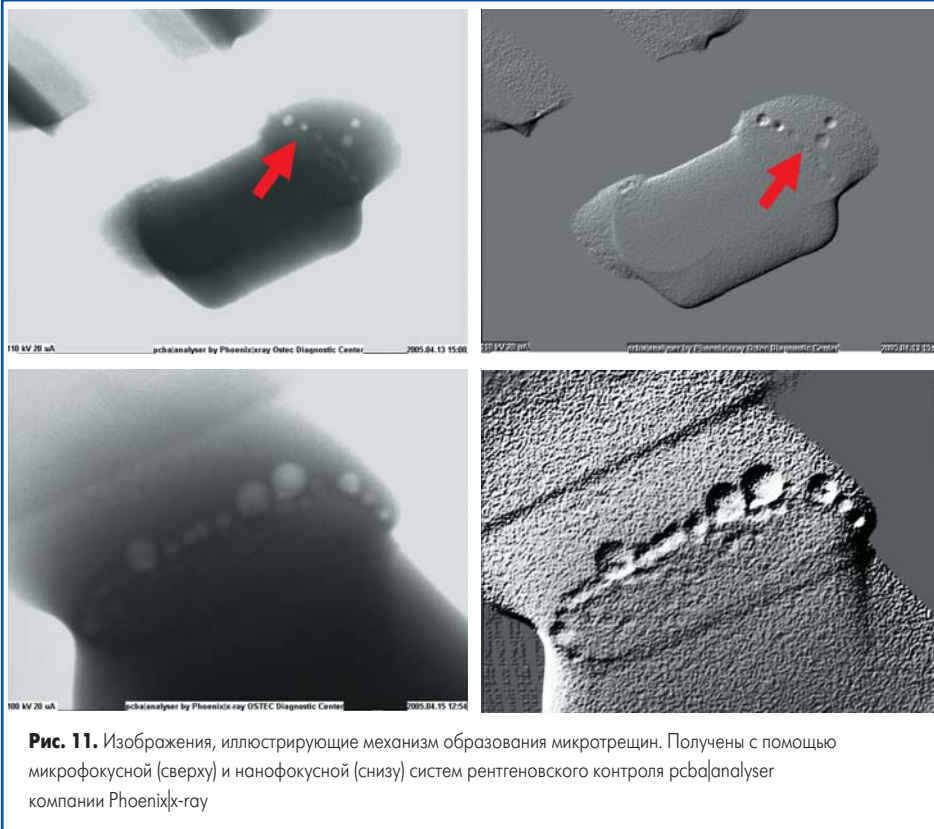
- максимальное напряжение — до 160 кВ;
- максимальный ток — до 500 мкА;
- максимальная мощность излучения — 20 Вт;
- разрешение — не хуже 1 мкм;
- максимальное геометрическое увеличение — не менее 300;

- конструкция системы рентгеновской инспекции должна обеспечивать возможность получения изображения под углом до 60 градусов к объекту при максимальном увеличении;
- чувствительность по контрастности — не хуже 2%.

Всем указанным требованиям удовлетворяет микрофокусная система рентгенов-



**Рис. 10.** Микрофокусная/нанофокусная система рентгеновского контроля pcba/analyser компании Phoenix|x-ray



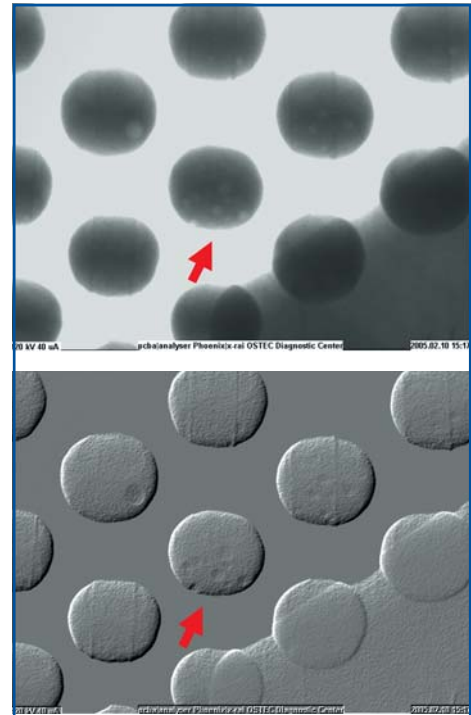
**Рис. 11.** Изображения, иллюстрирующие механизм образования микротрещин. Получены с помощью микрофокусной (сверху) и нанофокусной (снизу) систем рентгеновского контроля **pcb|analyser** компании Phoenix|x-ray

ского контроля **pcb|analyser** компании **Phoenix|x-ray** (рис. 10).

При необходимости получения более детальных изображений паяных соединений, например при проведении исследований паяных соединений интегральных микросхем в BGA-корпусах на предмет образования микротрещин между шариковым выводом и под-

ложкой вследствие коробления печатной платы и/или подложки (рис. 12), максимальный эффект может быть получен при использовании систем с нанофокусной трубкой.

Переход к бессвинцовым технологиям сулит еще немало сюрпризов на пути их освоения. Но выбор корректной стратегии контроля, подкрепленной современным техно-



**Рис. 12.** Изображения, иллюстрирующие механизм образования микротрещин, связанных с короблением печатных плат и подложек интегральных микросхем в процессе оплавления. Получены с помощью микрофокусной системы рентгеновского контроля **pcb|analyser** компании Phoenix|x-ray

логическим оборудованием, делает эту цель безусловно достижимой и позволит обеспечить высокое качество и надежность выпускаемой продукции в новых условиях. ■