

Эффективный метод поиска дефектов монтажа электронных компонентов в корпусах типа BGA

И. Тазитдинов¹

УДК 658.562.3::621.386 | ВАК 05.11.14

Для получения достоверных данных о качестве монтажа компонентов в тех случаях, когда его невозможно оценить посредством визуального исследования – в частности, данных о состоянии выводов и паяных соединений (ПС) микросхем в корпусах типа BGA, – сегодня широко используется рентгеновская инспекция. Однако растущая сложность электронных компонентов, а также плотность их расположения на печатных платах требуют дальнейшего увеличения точности распознавания зрительных образов элементов объекта контроля. В статье рассмотрены методы поиска дефектов в монтаже BGA-компонентов с использованием различных технологий рентгеновского контроля. Даны рекомендации по использованию двухмерной рентгеновской инспекции и компьютерной томографии.

Принцип работы рентгеновского аппарата состоит в том, что рентгеновские лучи, генерируемые в рентгеновской трубке, проходят через анализируемый образец и попадают на приемное устройство – цифровой усилитель изображения (детектор), генерирующий видимый образ (рис. 1).

Информации, полученной с помощью 2D-инспекции при фиксированном угле обзора, может быть недостаточно для полноценного анализа объекта. Для получения максимально подробных данных может быть использована компьютерная томография (КТ).

КТ позволяет получить трехмерную модель объекта, а также его сечения любыми плоскостями. Томографическое исследование состоит из следующих основных этапов:

- получения серии снимков объекта;
- томографической реконструкции, то есть построения трехмерной модели объекта;
- исследования модели объекта.

Для получения снимков исследуемого объекта его помещают между источником излучения и детектором, где он автоматически поворачивается вокруг оси на 360° с заранее заданным шагом (рис. 2); в каждом положении делается снимок объекта.

На этапе реконструкции рентгеновские снимки обрабатываются: для каждой точки (вокселя) трехмерного пространства, в которой производится реконструкция, определяется значение по шкале серого, отражающее ослабление рентгеновского излучения соответствующим

фрагментом инспектируемого объекта; таким образом генерируется трехмерная модель последнего.

Томография существенно расширяет возможности рентгеновского контроля печатных плат, компонентов, паяных соединений. Имея 3D-модель объекта, оператор получает возможность как изучить его со всех сторон, так и исследовать любой двухмерный срез той области,

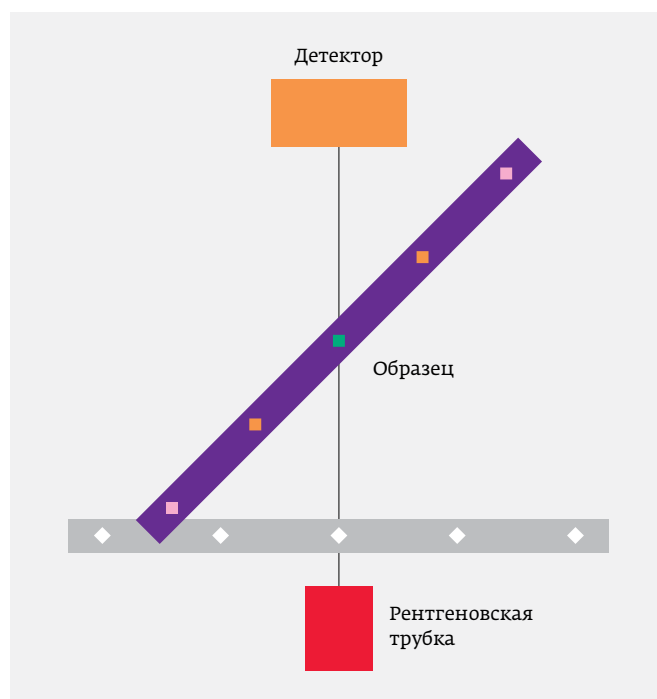


Рис. 1. Принцип действия рентгеновского аппарата

¹ МАИ (НИУ), аспирант, itazitdinov@protonmail.com.

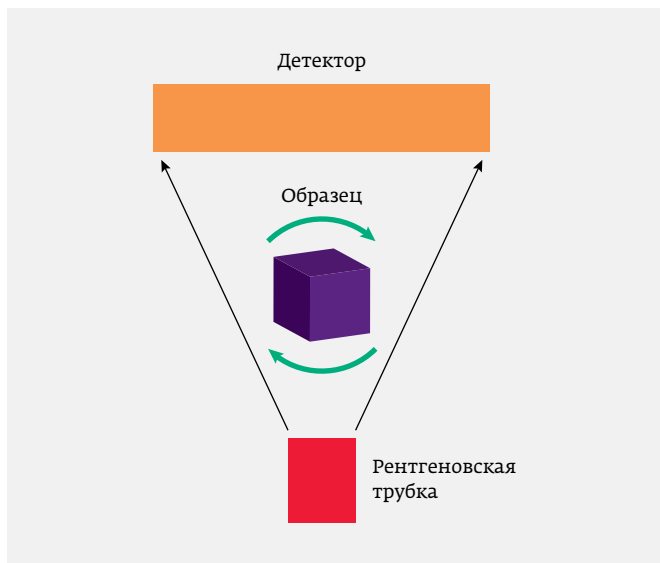


Рис. 2. Принцип компьютерной томографии

которая представляет для него интерес. Таким образом, в отличие от снимков, полученных с помощью 2D-рентгенографии, различные слои и различные области в печатном узле могут быть рассмотрены отдельно друг от друга, без затемнения другими компонентами, что сильно облегчает задачу распознавания деталей строения анализируемого объекта, в нашем случае – поиска дефектов в паяных соединениях BGA.

К сожалению, КТ не является универсальным решением задачи рентгеновского контроля. Препятствующими факторами являются размер изучаемого объекта и время получения модели, пригодной для анализа. Максимальный размер объекта определяется конструктивными особенностями рентгеновских аппаратов и для большинства из них обычно не превышает 50×50 мм. Время получения модели зависит от количества снимков объекта – на практике их обычно бывает от 90 до 720 – и выбранного алгоритма реконструкции (FDK, SART, MLEM и т. п.).

Значительная длительность исследования, характерная для КТ, обуславливает ограничение области применения этого метода в промышленности. Очевидно, что КТ может служить эффективным средством локализации дефекта, выявленного в ходе других проверок, – например, причины отказа, зафиксированного при функциональном тестировании электронного узла. Другое возможное применение – контроль качества ПС пробных образцов в ходе отладки технологического процесса сборки.

Однако применение КТ становится проблематичным, если обязательный рентгеновский контроль ПС на каждом собранном экземпляре требуется при серийном производстве. В этом случае оптимальным решением может стать 2D-рентгеновская инспекция с возможностью получения снимков с разных углов. Это достигается

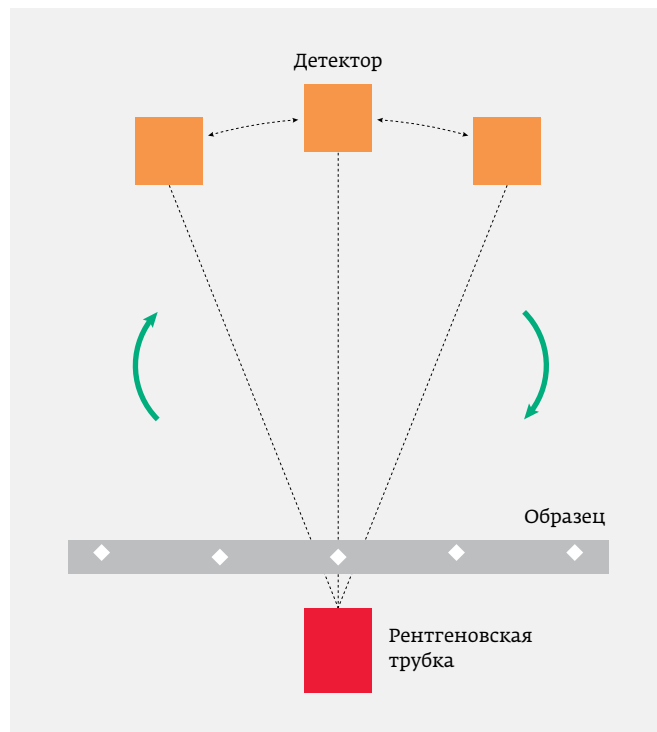


Рис. 3. Инспекция образца с разных углов

перемещением приемного устройства по окружности с центром, совпадающим с некоторой точкой в объеме исследуемого образца (рис. 3). Такая функция реализована в множестве моделей современных рентгеновских аппаратов. Ниже мы рассмотрим, как она работает применительно к ряду дефектов выводов BGA-компонентов и их паяных соединений.

На рис. 4 показан снимок, который можно увидеть при исследовании шариков BGA. Для лучшего

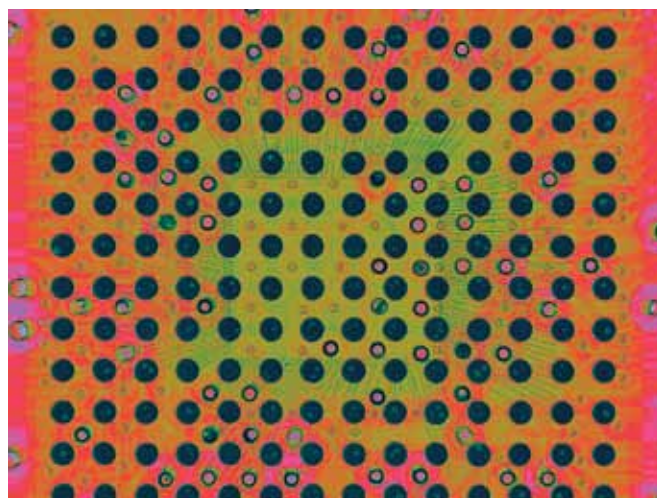


Рис. 4. Пустоты в шариках BGA, окрашенные с помощью цветофильтров

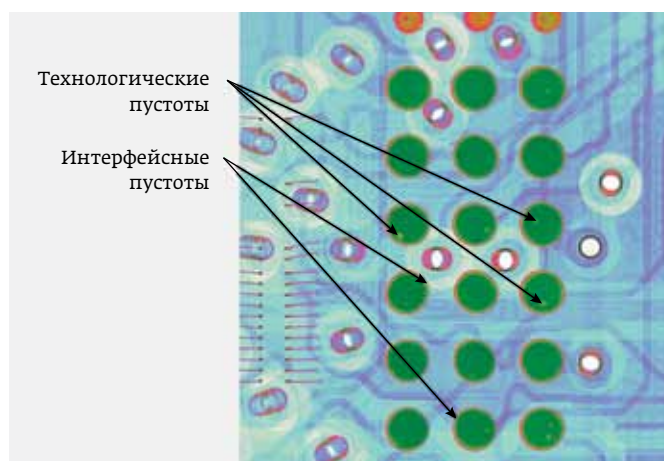


Рис. 5. Типичный вид интерфейсных и технологических пустот в шариках BGA

восприятия изображение пустот было окрашено при помощи цветового фильтра. Пустота представляет собой участок объема, в котором плотность материала значительно меньше, чем в окружающих участках. В шариках BGA пустоты вызваны наличием воздушных пузырьков в их объеме.

Пустоты изучают с точки зрения их фактического размера, поскольку их допустимый уровень регламентируется требованиями IPC-610D: в соединениях структур типа BGA (для классов I, II и III) доля пустот не должна превышать 25% объема.

Еще более существенно исследование расположения пустот внутри шарика припоя; по этому признаку их делят на две разновидности (рис. 5). Технологические (объемные) пустоты находятся в самом теле шарика (в середине); эти пустоты часто имеют относительно большие размеры. Интерфейсные пустоты – пустоты на стыке поверхностей – обычно меньше по размеру, чем объемные, и располагаются в зоне соприкосновения

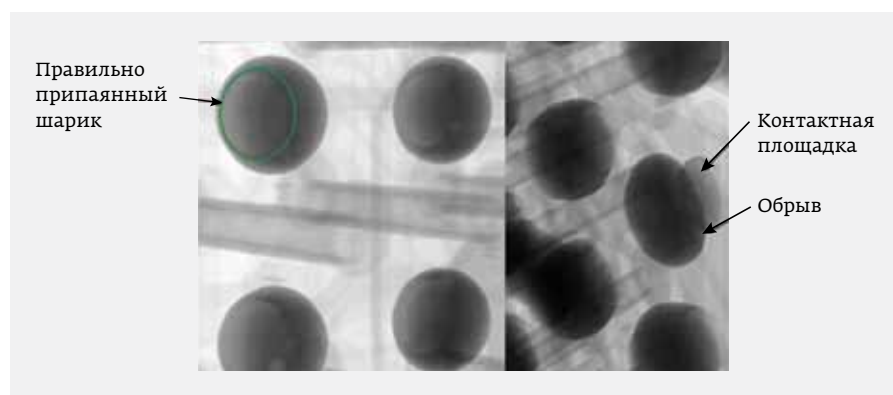


Рис. 6. Обзор под наклоном позволяет рассмотреть относительное расположение шарика и площадки

шарика либо с контактной площадкой платы (наиболее часто), либо с компонентом. Технологические пустоты также могут выходить в ту или другую контактирующую зону вывода BGA, но площадь этого выхода незначительна по сравнению с общей площадью каверны в объеме шарика.

Максимальный уровень образования пустот в отдельном шарике на рис. 5 оценен на уровне <10% и, следовательно, соответствует требованиям IPC-610D.

Изображения на рис. 4 и 5 получены при параллельном расположении детектора и образца, то есть представляют собой результат обычной рентгеновской 2D-инспекции. Понятно, что по ним можно зафиксировать факт наличия пустот, которые могут находиться либо в припое, соединяющем выводы BGA с контактными площадками, либо в теле самих выводов. Установить же точное расположение этих пустот в объеме вывода или паяного соединения можно при помощи рентгеноскопии под различными углами обзора, наблюдая, как смещаются эти пустоты относительно остальной части шарика и контактной площадки. Кроме того, такая инспекция позволяет выявить целый ряд других разновидностей дефектов ПС.

При инспекции паяного соединения под наклоном необходимо выбрать угол для обзора, позволяющий провести изучение шарика и интерфейсных зон таким образом, чтобы тело шарика и контактирующие поверхности были четко видны на снимке. Чем больше угол, тем легче провести различие между телом шарика и прилегающими к нему интерфейсными зонами (рис. 6).

На рис. 7 приведены типичные снимки шариков BGA, сделанные под углом. Относительно светлые участки не большого размера – это пустоты. В данном случае наблюдаются технологические пустоты, выходящие к поверхности выводов. Такое заключение достаточно уверенно можно сделать по правому кадру рис. 7, приняв во внимание тот факт, что все пустоты видны вблизи светлых эллиптических участков правильной формы и большого размера, отображающих контактные поверхности шариков BGA.

При необходимости определения точного положения пустот придется воспользоваться компьютерной томографией. На рис. 8 четко видны пустоты в шариках BGA.

Проверка паяных соединений под углом должна начинаться с середины матричной структуры BGA, поскольку из-за особенностей распределения температуры в процессе оплавления именно здесь находится последняя оплаваемая точка. Следовательно,

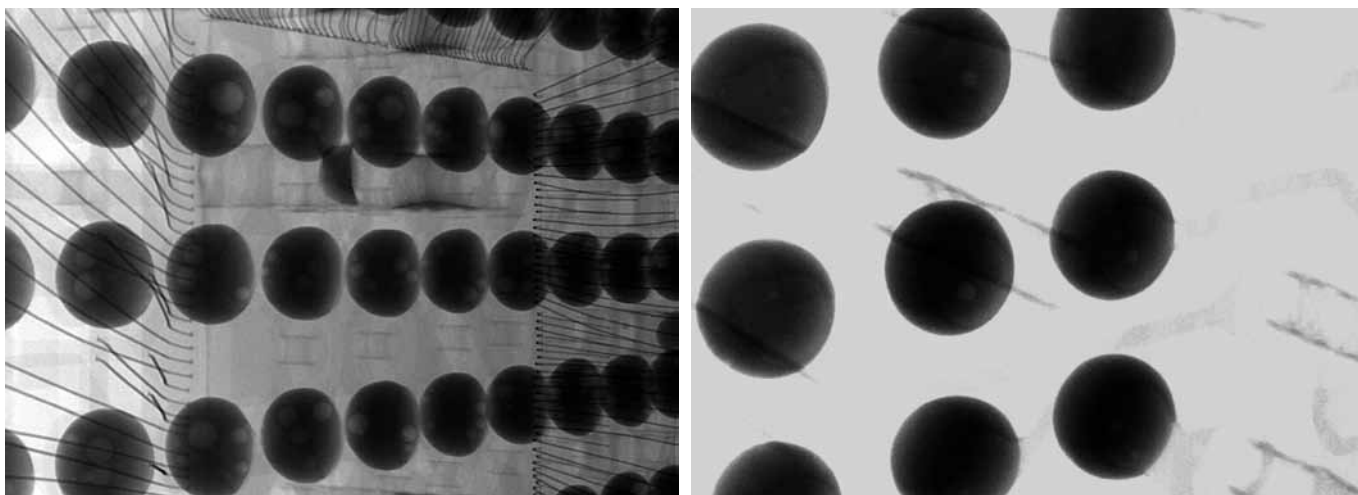


Рис. 7. Снимки паяных соединений BGA под наклоном с разными углами и при разном увеличении

на этом участке вероятнее всего образуются пустоты, неоплавленные участки и расслоение в соединении.

При качественной пайке все точки соединения должны быть округлыми по форме и однородными по размеру. Для того чтобы удостовериться в полноте оплавления, необходимо сравнить диаметры шариков в центральной части и в четырех внешних рядах. Отсутствие равномерности шариков с высокой степенью вероятности означает плохое качество пайки (рис. 9).

Для подтверждения качественного оплавления и определения наличия обрывов во время инспекции ПС микросхем в корпусах типа BGA полезно при проектировании печатной платы сформировать площадки для выводов таким образом, чтобы они содержали

«индикаторы смачивания» (wetting indicators), которые иногда называют еще «индикаторами оплавления» (reflow indicators). Для добавления индикатора смачивания требуется лишь слегка изменить форму площадки BGA – например, придать ей эллиптическую, а не круглую форму. Можно и совсем не менять контактную площадку, а при нанесении паяльной маски просто оставить открытым примыкающий к ней участок печатного проводника.

Конечным результатом любой модификации должен быть контролируемый процесс, при котором припой в ходе оплавления преднамеренно смачивает поверхность вне рабочей зоны площадки, образуя ПС определенной формы, которые можно сравнить с некоторым

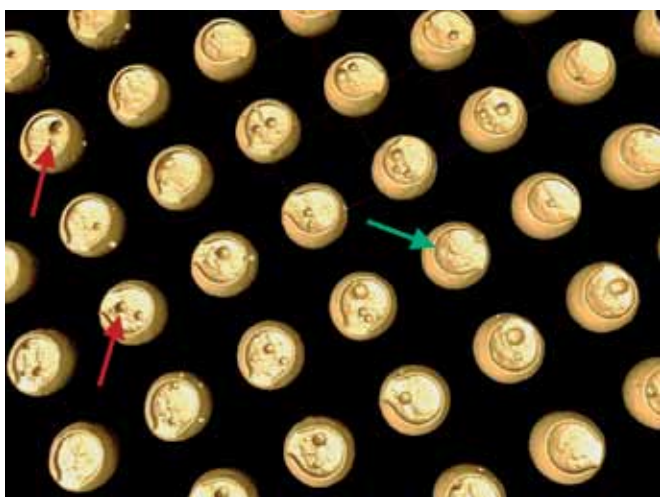


Рис. 8. Срез модели микросхемы BGA, полученной с помощью компьютерной томографии. Зеленая стрелка указывает на пример качественного оплавления, красные – некачественного

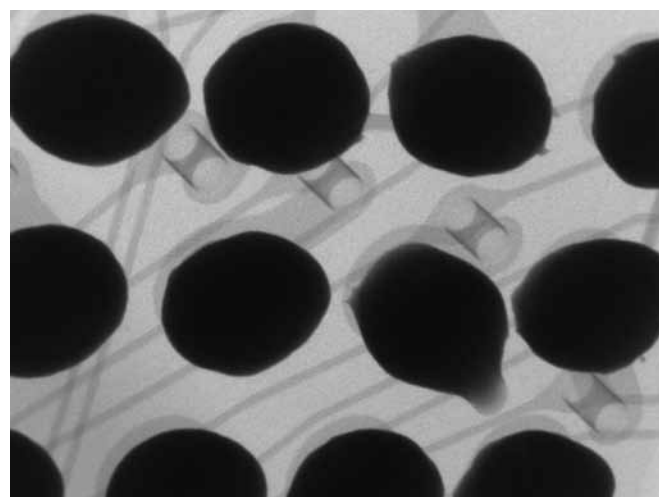


Рис. 9. Снимок микросхемы BGA, сделанный под углом. Отсутствует равномерность шариков припоя. Явно видна разница в размере и форме шариков, что говорит о частичном оплавлении

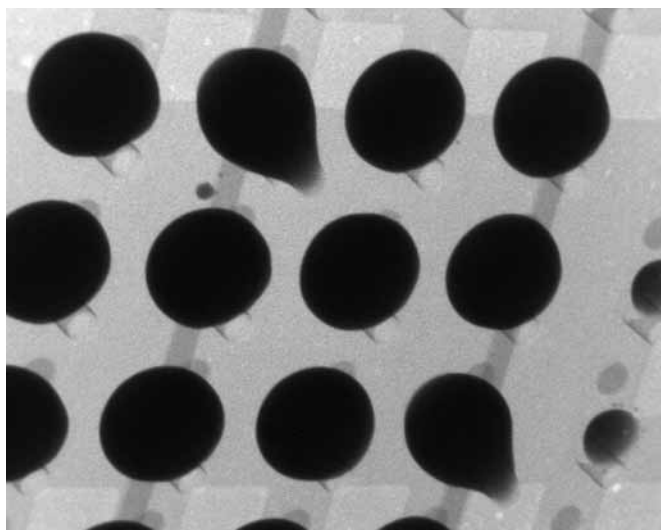


Рис. 10. Фрагмент зоны установки BGA-микросхемы с двумя индикаторами смачивания, полученными путем использования неполной паяльной маски

«стандартом», соответствующим качественному оплавлению. При проведении рентгеноскопии эта форма будет отчетливо различима, и неоплавленные соединения можно будет легко идентифицировать. У двух ПС на рис. 10 имеется характерная «слеза» (tear drop), получающаяся после оплавления в том месте, где часть дорожки от контактной площадки осталась открытой при нанесении маски.

Практика показывает, что большая часть дефектов пайки BGA-микросхем возникает на краях или в центре корпуса компонента. Поэтому нет необходимости снабжать индикаторами смачивания все контактные площадки. Расположив такие индикаторы возле каждого угла микросхемы и несколько – в ее центре, можно обеспечить достаточную степень достоверности проверки качества оплавления выводов BGA.

Еще одним из сложно распознаваемых дефектов является «голова на подушке» (head-on-pillow, HOP) – когда паяльная паста смачивает площадку, но не полностью смачивает сам шарик BGA. С распространением бессвинцовой пайки HOP стал возникать более часто. Для обнаружения данного дефекта необходимо использовать либо систему, позволяющую рассматривать объект под углом (рис. 11а), либо установку компьютерной томографии (рис. 11б).

* * *

Современные рентгеновские системы являются мощным инструментом по поиску дефектов в печатных платах и узлах. Технология рентгеновской 2D-инспекции в режиме обзора под углом позволяет получить данные, достаточные для детального изучения паяных соединений

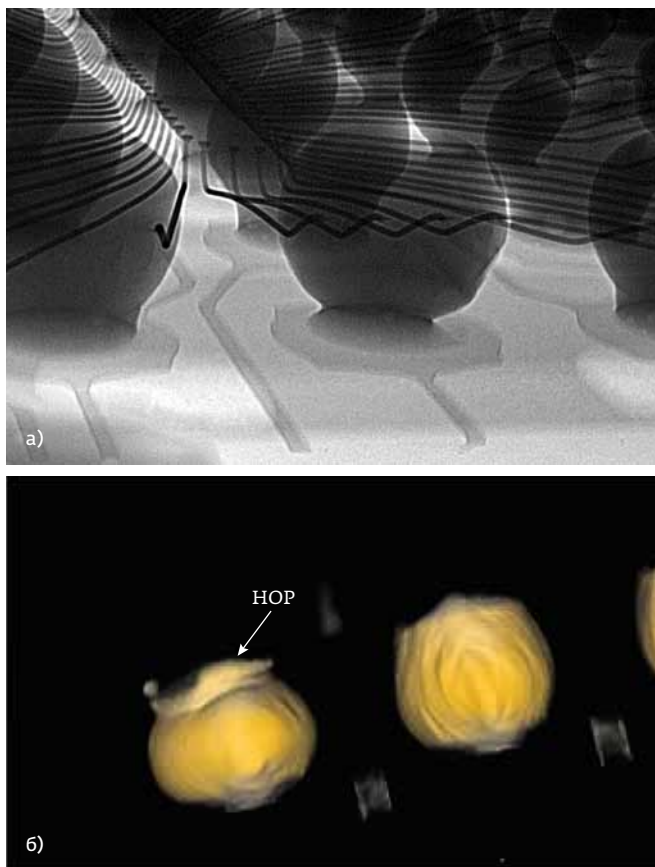


Рис. 11. Дефект типа «голова на подушке» – вместо образования полноценного ПС шарик BGA «лежит» на паяльной пасте: а – 2D-снимок под углом; б – КТ-модель

микросхем в корпусах типа BGA. Для особо сложных случаев возможно использование более затратной по времени компьютерной томографии для получения 3D-модели исследуемого объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Feng Z., Basani J., Kurwa Murad, Bernard D., Krastev E.** Modern 2D X-ray tackles BGA defects. In: SMT Surface Mount Technology Magazine. 2008. Vol. 22. P. 22–24.
2. **Bernard D., Golubovic D.** 3D board level X-ray inspection via limited angle computer tomography. In SMTA International Conference, Orlando, FL, USA, 2012 October. P. 14–28.
3. **Bernard D., Willis B.** A Practical Guide to X-ray. Inspection Criteria & Common Defect Analysis. Nordson DAGE Publications. 2007.
4. **Vaga R., Bryant K.** Recent advances in x-ray technology. 2016 Pan Pacific Microelectronics Symposium (Pan Pacific). 2016. P. 1–10.
5. **Weitao Z., Haibing Z., Xiaole K., Dehong M.** Study on rework process of BGA components. In: 16th International Conference on Electronic Packaging Technology (ICEPT). 2015. P. 681–684.