

# РЕНТГЕНОВСКИЙ КОНТРОЛЬ

## КАЧЕСТВА ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ

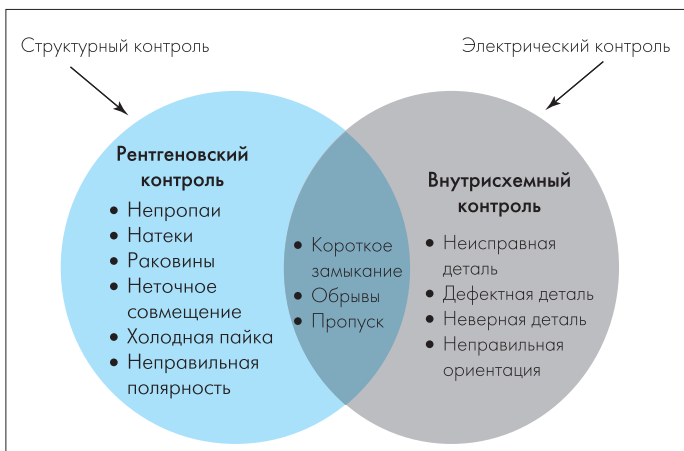
Э.Рувинова

**Несмотря на высокую стоимость рентгеновского контроля, его применение в электронной промышленности быстро расширяется. Обнаружение дефектов, не доступных никакому другому способу, самое высокое покрытие неисправностей, независимость от наличия доступа делают рентгеновский метод незаменимым для контроля сложных печатных узлов.**

С ростом плотности монтажа печатных узлов (ПУ), применения в них ИС с перевернутым кристаллом и корпусами с ультрамалым шагом выводов (менее 0,5 мм) и BGA доступ для визуального и внутрисхемного контроля сильно снижается. Чтобы обойти нехватку “визуального доступа” к BGA, конструкторы стараются провести множество соединений к доступным электрическим контрольным точкам, которые, однако, отнимают полезную площадь у печатных плат (ПП) и тем самым усугубляют проблему экономии пространства ПУ. Производственная же реальность говорит о том, что ограничение доступа – это сигнал к расширению стратегии контроля за пределы визуального, внутрисхемного и функционального.

Быстро развивающимся методом контроля, который адресован именно к ограниченному доступу, является рентгеновский контроль, и его использование в электронной промышленности растет. При этом покрытие дефектов рентгеновским контролем дополняет и частично дублирует традиционные методы внутрисхемного контроля (рис.1).

Для полного понимания потенциальных преимуществ рентгеновского контроля важно рассмотреть некоторые его возможности:



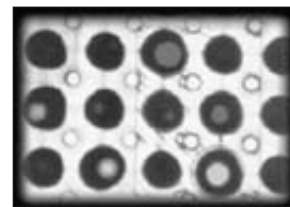
**Рис.1. Взаимное дополнение внутрисхемного и рентгеновского контроля**

- высокое покрытие технологических дефектов – обычно 97%, независимо от доступа;
- малое время разработки теста – от двух до трех часов;
- отсутствие контактного приспособления;
- обнаружение дефектов, которые ни один другой тест не может надежно установить, – раковин, непропаев, холодных паяных соединений и др.;
- автоматические системы используются на производственной линии;
- тестирование одно- и двухсторонних ПП за один проход;
- обеспечение информации о производственном процессе;
- точная локализация дефекта до уровня вывода, точечного дефекта, что обеспечивает быстрый и недорогой ремонт.

Преимущества рентгеновского контроля для различных видов электронного производства представлены в табл.1.

До недавнего времени рентгеновская аппаратура находила большее применение в лабораториях, чем в производстве. Сегодня же она оказалась средством исследования невидимых соединений в ПУ. В частности, рентгеновская аппаратура обеспечивает единственный практический способ контроля паяных соединений между BGA и ПП, позволяя обнаружить следующие дефекты:

- пропущенные соединения из-за неправильно размещенного припоя на площадке, пропущенного шарика припоя на BGA или на перевернутом кристалле. Электрический контроль в конечном счете обнаружит пропуск припоя, но рентгеновское изображение покажет его отсутствие немедленно в виде светлого участка;
- перемычки припоя между контактами, т.е. короткое замыкание. Образуются из-за избытка припоя или неправильного его нанесения на один или оба соседних контакта. Выявляются в рентгеновском изображении как темные соединения между контактными площадками ПП. В процессе испытаний ПУ при электрической нагрузке перемычки могут вызвать выход из строя изделия;
- раковины в паяльной пасте, которые возникают из-за нагрева летучих соединений, проникших внутрь припоя. Проявляются как светлые пятна внутри темного участка шарика припоя в рентгеновском изображении (рис.2). Допустимая норма: площадь раковин не должна превышать 20% площади BGA;
- обрывы соединений. Это холодная пайка, происходит из-за недостаточного расплавления припоя между BGA и контактной площадкой. Имеет иную структуру в отличие от соединений с правильным расплавлением припоя;
- неточное совмещение паяльной маски, BGA и паяльной пасты. Приводит к тому, что выводы ком-



**Рис.2. Рентгеновское изображение раковин внутри припоя**

**Таблица 1. Преимущества использования рентгеновского контроля для производителей электронных устройств**

Особенности производства	Преимущества	Обоснование
Любое производство, где желательно получение выгоды от снижения объема ремонта	Снижение числа ПУ, бракуемых после внутрисхемного и функционального контроля. Пониженная стоимость диагностирования и ремонта после этих видов контроля	Высокое покрытие технологических дефектов. Использование рентгеновского контроля до внутрисхемного и функционального позволяет отбраковывать технологические дефекты, что приводит к снижению неисправностей, сокращению объема ремонта и диагностирования
Производство изделий с низкими эксплуатационными отказами	Снижение числа эксплуатационных отказов	Обнаружение дефектов, которые не могут быть определены никаким другим методом
Любое производство, нуждающееся в гибкой стратегии контроля	Высокое тестовое покрытие для всех ПУ, независимо от наличия электрического и визуального доступа	Не требует доступа. Чем выше плотность монтажа ПУ, тем лучше рабочие характеристики системы рентгеновского контроля
Опытное производство, расходующее на данном этапе большие средства на контактирующие приспособления и тестовую программу для внутрисхемного контроля	Меньшая стоимость контроля опытных образцов при более высоком тестовом покрытии и потенциально сокращенном времени контроля	Разработка теста может быть очень быстрой и не требует приспособлений
Опытное производство ПУ смешанных технологий монтажа	Снижение числа дефектов в отправляемых конструктору опытных образцах ПП	Повышенное тестовое покрытие на стадии опытного производства
Опытное производство, использующее внутрисхемный контроль и долго, до интелктивных недель, ожидающее контактирующего приспособления	Ускорение выхода продукции на рынок	Более быстрый контроль опытных ПУ и большее тестовое покрытие обеспечивают ускорение отправки опытных образцов, что сокращает время выхода на рынок
Производство, где внутрисхемный и функциональный контроль – узкие места	Более стабильный технологический поток	Пониженное число дефектов в ПУ “расширяет” узкие места потока на участках внутрисхемного и функционального контроля
Производство, намеренное получить экономию от снижения стоимости незавершенного производства или материально-технических запасов	Сокращение объема незавершенного производства	Выравнивание технологического потока способствует планированию и сокращению общего числа незавершенных ПУ
Крупносерийное производство	Повышение выхода годных	Данные изображений и измерений могут быть использованы для повышения выхода годных
Конкретное производство с высокими требованиями надежности	Отгрузка ПУ высокой надежности	Взаимное дополнение рентгеновского, внутрисхемного и функционального контроля
<i>Телекоммуникационное оборудование:</i> большое смешение технологий; сложные ПУ малых и средних партий; важнейшая проблема – ограничение доступа к ПУ; критичен срок выпуска на рынок	Снижение числа отказов при внутрисхемном и функциональном контроле на 50%	100%-ный рентгеновский контроль в сочетании с внутрисхемным
<i>Производство ноутбуков:</i> крупные партии; низкое смешение технологий; ограниченный доступ или его отсутствие; критичен срок до выхода на рынок; очень высокая годовая интенсивность отказов компьютеров – около 35%, огромная часть которых была обусловлена технологическими дефектами	Значительное снижение эксплуатационных отказов; сокращение числа дефектов, обнаруживаемых при внутрисхемном и функциональном контроле на 80%, что привело к большой экономии и сокращению незавершенного производства	Использование 100%-ного рентгеновского контроля в сочетании со 100%-ным внутрисхемным
<i>Производство по небольшим контрактам:</i> большое смешение технологий; крупные серии. Ключевой фактор успеха в данном производстве – поставка высококачественных ПУ при низкой стоимости. ПУ часто имеют ограниченный доступ для внутрисхемного или визуального контроля	Поставка заказчику высококачественных ПУ, независимо от наличия или отсутствия доступа; ускорение поставок продукции; повышение выхода годных ПУ на стороне заказчика до 90–99,5%	Использование стратегии 100%-ного рентгеновского контроля
<i>Аэрокосмическое производство:</i> малые серии; высокое смешение технологий; наиболее критичен фактор качества, поскольку отказы обходятся чрезвычайно дорого	На стадии электротермотренировок происходит 70%-ное снижение отказов ПУ	Добавление рентгеновского контроля к современной стратегии внутрисхемного, визуального и функционального контроля

пунктов не соприкасаются с припоем или контактной площадкой. Рентгеновское изображение не точно совмещенных элементов демонстрирует темные шарики припоя, слегка сдвинутые относительно более светлых контактов ПП.

Рентгеновские системы могут обнаруживать и другие технологические дефекты, например пропущенные компоненты. О неверном компоненте, размещенном на ПП, они, правда, сообщить не могут, но зато способны проверить ориентацию конденсаторов. В зависимости от сложности систем и программного обеспечения с помощью рентгеновских методов можно также проводить количественные измерения, например диаметра шарика припоя, круглости, плоскостности, толщин и т.п.

При принятии решения об использовании рентгеновского оборудования следует учесть все приведенные факторы, а также экономическую эффективность. Если, например, большое число отказов обусловлено дефектными компонентами, то рентгеновский контроль не будет эффективен. Но если крупнейшую проблему представляют отказы соединений, то рентгеновский контроль может

быть очень выигрышным и обеспечит большую прибыль на инвестированный капитал.

Вообще рентгеновские системы контроля идеальны для предприятий с малым тактом производства и опытным производством, и сегодня быстро растет число фирм, использующих сочетание внутрисхемного и рентгеновского контроля.

### ТИПЫ РЕНТГЕНОВСКИХ СИСТЕМ

Простой способ классификации рентгеновских систем контроля состоит в делении их на ручные и автоматические, просвечивающие и ламинографические (томографические). Просвечивающие хорошо подходят для односторонних ПП, а томографические для контроля как односторонних, так и двухсторонних ПП, однако они дороже, чем просвечивающие. Преимущества и недостатки различных типов рентгеновских систем представлены в табл.2.

В просвечивающих (двумерных) системах рентгеновское излучение источника направлено перпендикулярно вниз к поверхности ПУ и проходит через все изделие, в результате чего одновременно

Таблица 2. Преимущества и недостатки рентгеновских систем различных типов

Изображение	Автоматические системы		Ручные системы	
	Преимущества	Недостатки	Преимущества	Недостатки
Просвечивающее	Высокая пригодность для односторонних ПП	Не могут оперировать с двухсторонними ПП	Высокая пригодность для одно- или двухсторонних ПП	Низкое быстродействие
	Наивысшее тестовое покрытие для односторонних ПП	Требуют квалифицированного персонала для работы с комплексом программ	Наименьшая стоимость среди рентгеновских систем	Решение субъективно и зависит от квалификации и опыта оператора
	Полностью автоматическое, рассчитанное на использование в производственной линии	Высокая стоимость	Гибкость, простота в использовании	Результаты обычно невоспроизводимы из-за субъективности
	Высокая производительность	—	—	Большая трудоемкость, особенно при проверке всех ПУ
	Тестовое решение объективно	—	—	—
	Низкая стоимость для опытных образцов в сравнении с внутрисхемным	—	—	—
Ламинография	Пригодны для одно- или двухсторонних ПП	Наивысшие капитальные затраты	Пригодны для одно- или двухсторонних ПП	Низкое быстродействие
	Полностью автоматическое, рассчитанное на использование в производственной линии	Требует высококвалифицированного персонала	Средняя стоимость	Результаты субъективны и зависят от квалификации и опыта оператора
	Высокая производительность	—	Гибкость, простота в пользовании	Результаты обычно невоспроизводимы из-за субъективности
	Тестовое решение объективно	—	—	Высокая трудоемкость, особенно при проверке всех ПУ

**Примечание.** Другие преимущества автоматических систем: рассчитаны на 100%-ный контроль ПУ, низкая стоимость для опытных образцов в сравнении с внутрисхемным, высокая воспроизводимость и надежность результатов, данные измерений пригодны для улучшения технологического процесса и управления им.

“видно” обе стороны. Любой элемент ПУ, относительно непрозрачный для рентгеновских лучей, в изображении будет иметь темную конфигурацию. При просмотре двухсторонних ПУ изображение компонентов одной стороны накладывается на компоненты другой, что затрудняет поиск неисправностей при одновременной индикации компонентов.

Ламинография, или трехмерный метод, исследует горизонтальные слои ПП на требуемой высоте по оси Z.

Мнения сторонников каждого из методов сходятся, по крайней мере, по двум моментам – двумерное оборудование дешевле и программирование может занять значительно меньше времени. Сторонники двумерных систем утверждают помимо этого, что, поскольку сконструированное изображение ПУ включает всю глубину по оси Z, краевой контраст и разрешение могут быть выше, чем у изображений, получаемых трехмерным методом.

Двумерный метод обеспечивает время контроля вдвое короче, чем трехмерный, поскольку в последнем нужно конструировать множество изображений – по одному на каждый “слой” сквозь ПУ. Лучшая сфера для двумерного контроля – автомобильная промышленность. Двумерные системы также хорошо подходят для контроля объединительных плат ПК и другой коммерческой продукции. Они легко могут различать индивидуальные свойства, определяющие неисправное состояние.

Двумерный контроль способен идентифицировать неисправность соединений, возникающую из-за непропаев или дефектов копланарности на поверхности ПП, указать ее причину и соответствующее средство устранения (рис.3). Принцип поиска и идентификации неисправностей с помощью двумерных систем основывается на возможностях программ правильно анализировать информацию от фиксированного изображения. Даже трехмерные дефекты, такие как раковины в паяных соединениях, можно обнаружить с помощью просвечивающей аппаратуры, а по утверждению сторонников дву-

мерных систем – даже проще. Ведь трехмерная система исследует слои по Z-оси, поэтому она должна выбрать высоту сечения, которое пройдет через раковину. Еще сторонники двумерных систем утверждают, что из-за необходимости исследования слоя ПП на определенной высоте сечения трехмерная система не способна обнаружить неисправность, которую программатор недостаточно хорошо знает.

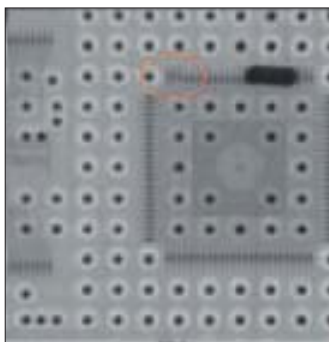
Кроме того, сторонники двумерных систем порицают трудность программирования трехмерных систем и то, что их стоимость, по крайней мере, вдвое выше, чем аналогичной двумерной.

При таких возможностях двумерного контроля зачем же, казалось бы, обращаться к более дорогому трехмерному? Однако аргументы защитников трехмерных систем таковы: современные ПУ высокой плотности

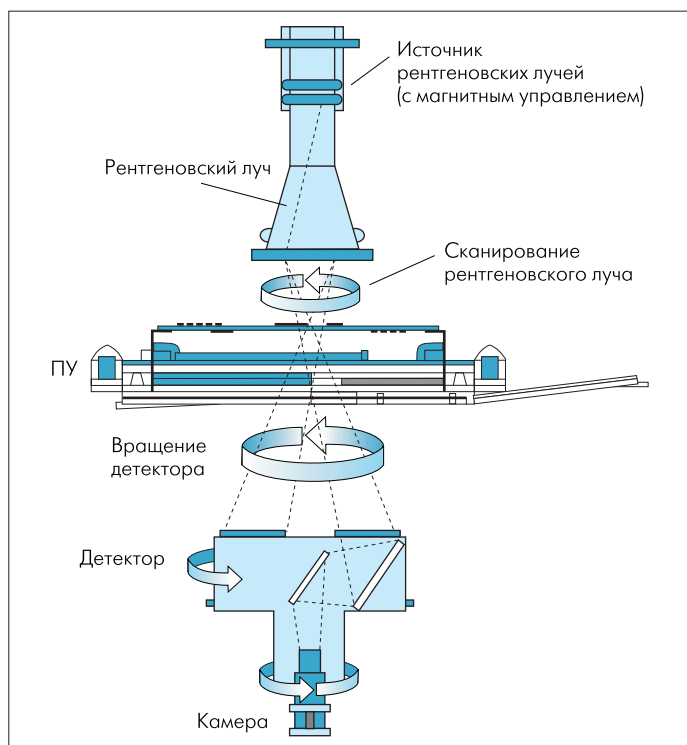
монтажа на многослойных двухсторонних ПП не поддаются двумерному контролю. Когда элементы на верхней и нижней сторонах ПУ перекрываются, различить их особенности становится трудно или невозможно. В этом случае независимое исследование двух сторон ПП становится настоятельным.

В трехмерной системе при ламинографии относительно ПУ движется либо детектор, либо рентгеновский луч. Это движение снова и снова повторяется, обеспечивая множество изображений одной и той же части ПУ с различных позиций. Далее система, используя эти последовательные изображения, компилирует одно. В различных трехмерных системах в создании изображения соответствующие их компоненты участвуют по-разному. В системе HP-5DX фирмы Hewlett-Packard, например, детектор движется вокруг центра сечения ПУ, а рентгеновским лучом система управляет механически (рис.4). А система MV-6000 фирмы Nicolet использует шесть неподвижных детекторов вдоль пути сканирования рентгеновского луча.

Поскольку ПП не имеет абсолютно плоской поверхности, система должна учитывать различие в высоте платы по всей ее поверхности. В системе HP коробление ПП компенсируется первоначальным ее сканированием лазерным лучом для точного отображения высоты ее поверхности. Затем проводится подстройка ПУ в плоскости изображения для правильного контроля паяных соединений. В



**Рис.3. Типичное двумерное рентгеновское изображение ИС с выводами типа “крыло чайки” на ПП автомобильного устройства. Большая темная область отображает компонент на противоположной стороне ПП**



**Рис.4. Схематическое изображение системы HP-5DX фирмы Hewlett-Packard**

системе фирмы Nicolet применен метод динамического отображения поверхности без использования лазерного сканирования.

Сторонники трехмерного контроля утверждают, что многие дефекты требуют именно этого уровня анализа. Например, обрыв припоя на VGA, вызываемый, вероятно, отсутствием копланарности ПП, можно увидеть, только если провести послойное рассмотрение, поскольку на двумерном изображении обрыв скрыт тенью самого шарика припоя. Подчеркивается также более высокое покрытие неисправностей при трехмерном методе.

Кроме того, трехмерная система способна проводить количественные измерения паяного соединения, определяя его геометрические характеристики (высоту и длину галтеля припоя). Используя обратную связь с процессом расплавления припоя, можно повысить выход годных. Двумерный способ не способен найти такие дефекты, как недостаточный галтель припоя.

Собственно говоря, производители могут выбрать трехмерную систему просто потому, что она универсальна, даже если функционирование двумерной системы вполне удовлетворительно в конкретных условиях.

Многие изготовители рентгеновских систем объединяют возможности двух- и трехмерных методов в одной установке. Такое решение позволяет вначале находить дефекты, доступные двумерной системе. Затем применяют трехмерный анализ для тех участков ПП, где это требуется. Такой алгоритм минимизирует влияние трехмерного метода на время контроля.

#### **ВЫБОР РЕНТГЕНОВСКОЙ СИСТЕМЫ**

Как видим, рентгеновские системы представляют целое семейство, в котором каждая из них работает более или менее хорошо в конкретной производственной ситуации. Успех зависит от топологии

ПП, технологии сборки и применения. На решение о выборе типа рентгеновской системы влияют следующие факторы:

- выход годных при внутрисхемном и функциональном контроле;
- стоимость ремонта ПУ после внутрисхемного и функционального контроля;
- проблемы доступа сегодня и в будущем;
- назначение оборудования: лабораторные исследования, проверка паяных соединений, надежное обнаружение дефектов;
- стоимость рентгеновского оборудования;
- интенсивность эксплуатационных отказов, диаграмма дефектов Парето и стоимость отказов;
- стоимость внутрисхемного контроля опытных образцов;
- объем партий ПУ и смешение технологий монтажа сейчас и в будущем.

Большинство современных рентгеновских систем основано на электронных устройствах, преобразующих рентгеновские лучи в изображение, которое видит человек или обрабатывает процессор.

Ручные установки во многих случаях могут дать только часть изображения ПУ, так что оператор выбирает интересующий его участок. Изображение демонстрируется на мониторе. В зависимости от сложности системы можно получать основное изображение, метрическую информацию и полную количественную информацию о характеристиках в изображении. Многие ручные системы оснащены компьютером для анализа изображения и прикладными программами. В некоторых системах возможно управление положением ПУ по всем осям координат и под любым углом. В других системах предусмотрено вращение источника излучения и детектора или движение источника относительно объекта, что позволяет изменять увеличение изображения.

В автоматических системах управление осуществляет компьютер. ПО обеспечивает позиционирование ПУ, сообщает, какие части платы исследовать. Оно содержит параметры теста – характеристики недефектных и дефектных соединений, которые оператор устанавливает для данной продукции. После контроля ПУ система создает отчет “годен/не годен” с информацией для использования во время ремонта и для регулировки технологического процесса. Автоматические системы в случае необходимости допускают также полное ручное управление.

В крупносерийном производстве целесообразно использовать автоматические установки как часть производственной линии. В этом случае ПУ поступают непосредственно с линии из картриджей, магазинов или с помощью манипуляторов. В таких системах компьютер управляет загрузкой ПУ и формированием изображения. В зависимости от сложности системы компьютер может также проводить количественные измерения качества, принимая решения “годен/не годен” и передавая данные контроля сетевому компьютеру для статистического анализа. Система содержит библиотеки типов выводов и типичных пределов параметров для различных видов паяных соединений. Гибкие системы позволяют вводить новую информацию о контактах и компонентах. Срок обучения оператора – от нескольких дней до недели в зависимости от сложности аппаратуры.

Широкому распространению рентгеновских систем, между прочим, мешает то, что многие инженеры все еще считают рентгеновский контроль сложным методом и не осведомлены о высокой степени обнаружения скрытых дефектов этими системами. Кроме того, они полагают, что рентгеновские системы слишком дороги. В наши дни их стоимость простирается от 50 тыс. долл. за базовую ручную установку до 500 тыс. долл. за полностью автоматическую производственную систему, причем к этому надо добавить расходы на рабочую плату, оснастку, инфраструктуру и обучение. Дороги, да,

но если проследить их преимущества по всему производственному процессу, можно обнаружить, что они дешевле других, “более дешевых” альтернатив: обнаружение дефектов, которые не находят внутрисхемные тестеры, отсутствие необходимости в контактирующих приспособлениях, пусковой период рентгеновских систем, составляющий несколько дней (внутрисхемных – несколько недель) – все это экономит тысячи долларов на одну тестовую станцию.

### ПРИМЕРЫ СОВРЕМЕННЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ

Рентгеновские системы контроля ПУ всех типов выпускаются множеством фирм, в том числе Agilent Technology (США), Dage Precision Industries Ltd. (Англия), Faxitron X-ray (США), GenRad (США), Macrotron Systems (Германия), Nicolet Imaging Systems/GenRad (Германия), Phoenix X-Ray (Германия), Viscom (Германия), X-Tek Systems (Англия) и др.

**Рентгеновская система XL 7000 фирмы Dage Precision Industries Ltd.** разработана для удовлетворения возрастающих требований изготовителей ПУ, обеспечивает круговой обзор объекта с высоким разрешением изображения (2 мкм) и увеличением. Позволяет проверять целостность соединений, находящихся под выводами компонентов, например под BGA. Простота использования и высокая производительность обусловлены мощным ПО, которое осуществляет полное управление системы, включая передвижение образца, анализ и вывод данных. Взаимодействуя с системой через дисплей, оператор способен быстро выбирать, индексировать и сохранять интересующий участок ПУ. Технические характеристики:

Стандартная рентгеновская трубка	.....Dage MediXtec TR160
Напряжение анода	.....30–160 кВ
Мощность мишени	.....менее 5 Вт
Анодный ток	.....0–0,2 мА
Диаметр фокусного пятна	.....менее 2 мкм
Участок контроля	.....макс. 610x508 мм
Размер рентгеновского изображения	.....макс. 610x508 мм
Увеличение	.....до 2400
Вид под углом	.....0–45° вокруг всего образца
Масса образца	.....макс. 8 кг
Дисплей оператора	.....цветная ЖК-панель 2,5x38 мм
Выход данных	.....к сетевому ПК
Безопасность	.....надежный с защитной блокировкой кожух, соответствует техническим нормам ЕС и США.
Габаритные размеры	.....1760x1860x1890 мм
Масса	.....2400 кг

### Трехмерная система 3d|inspector фирмы Phoenix X-Ray

(рис.5) использует инновационный метод цифровой ламинаграфии. Благодаря сочетанию механического и электронного вращения число движущихся частей снижено. Система предназначена для послойного контроля ПУ и несмонтированных ПП.



Рис.5. Система 3d|inspector

Осуществляет анализ отказов соединений под современными ИС, соединений поверхностного монтажа, раковин в припое, анализ целостности слоев ПП, контроль двухсторонних ПП. Технические характеристики:

Размер исследуемого образца ..... 20x20 мм  
 Пространственное разрешение ..... менее 10 мкм  
 Реконструкция изображения ..... по 255 слоям  
 Время сбора данных ..... 20 с  
 Высота образца ..... макс. 10 мм

Следует отметить, что в системах фирмы применен разработанный ее специалистами способ блокирования радиации к исследуемым образцам при их манипуляции внутри рентгеновской системы, благодаря чему отпадает необходимость отключать источник излучения. В результате образцы получают минимальную дозу рентгеновского излучения, при которой невозможно изменение характеристик материалов.



**Рис. 6. Система 43855C**

**Система 43855C фирмы Faxitron X-ray** (рис. 6) пригодна для работы с рентгеновской пленкой и с рентгеновским изображением в реальном времени. Получение изображения достигается благодаря использо-

ванию усилителя изображения, соединенного с ПЗС-камерой высокого разрешения. Модульная конструкция системы при необходимости допускает модификацию. Технические характеристики:

Напряжение анода ..... 110 кВ  
 Диаметр фокусного пятна ..... от 0–20 мкм  
 Таймирование экспонирования ..... от 3 до 60 с с приращением 1 с  
 Размер исследуемой ПП ..... для пленки – макс. 45x40 мм  
 ..... для усилителя – макс. 23x23 мм  
 Безопасность ..... удовлетворяет стандартам  
 21 CFR 1020.40

**Автоматическая система GR X-Station 3D фирмы GenRad** (рис. 7) признана установкой следующего поколения, объединяет запатентованные методы автоматического просвечивания (двумерный) и цифровой ламинографии на одной платформе. Благодаря высокой степени гибкости, высокому разрешению изображения и процессу контроля GR X-Station установила новый стандарт для контроля ПУ.



**Рис. 7. Автоматическая система GR X-Station 3D**

**Таблица 3. Технические характеристики моделей GR-X7010 и GR-X7005**

Характеристика	GR-X7010	GR-X7005
Размеры исследуемой ПП, мм, макс.	558x457	558x457
Размеры исследуемой ПП, мм, мин.	51x51	51x51
Толщина платы, мм, макс.	6,3	6,3
Толщина платы, мм, мин.	0,4	0,4
Размеры контролируемого участка, мм, макс.	559x449	559x449
Число паяных соединений, тыс., макс.	50	50
Производительность контроля, см <sup>2</sup> /с	16,7	6,45
Покрытие неисправностей, %	99	99
Доступ к паяным соединениям, %	99	99
Габаритные размеры с конвейером, см	305x140	305x140
Масса, кг	2955	2955

Программные средства GR Force/Strategist позволяют анализировать конструкцию каждого ПУ, моделировать конфигурацию производственной линии и определять оптимальную стратегию программирования теста и контрольного оборудования. Это ПО дает возможность разработать множество стратегий, которые максимизируют покрытие неисправностей и эффективность контроля. Технические характеристики моделей системы представлены в табл. 3.

### КОМБИНАЦИЯ ВИДОВ КОНТРОЛЯ

Современная техника предлагает множество методов и средств контроля ПУ. Для правильного выбора необходимо рассмотреть сильные и слабые стороны основных стратегий контроля на каждом технологическом этапе.

Сегодня обнаружение неисправностей и ремонт ПУ приобретает даже большее значение, чем раньше. Современный сложный ПУ имеет площадь приблизительно 116 мм<sup>2</sup> и 18 слоев, содержит свыше 3 тыс. компонентов наверху и внизу, более 6 тыс. контактных площадок и 20 тыс. паяных соединений, требующих проверки. У новых конструкций приблизительно 11600 контактных площадок, 5100 компонентов и 37800 паяных соединений. Растет число неисправностей. Так, ПП с 15 тыс. паяных соединений и хорошим уровнем дефектности (10<sup>-4</sup>) приводит к выходу годных только 22%, а это означает, что почти каждая ПП требует замены или ремонта.

При создании ВЧ-устройств конструкторы избегают включения контрольных точек, изменяющих характеристики изделия. ВЧ-экраны часто устанавливаются на ПП до расплавления припоя, что делает невозможным визуальный контроль компонентов под экраном.

Для некоторых типов ПУ, таких как устройства в сотовых телефонах, реальный доступ намного меньше 50%. Возрастает стоимость контактирующих приспособлений – контактрон с 6000 выводов стоит 50 тыс. долл. Эти факторы делают невозможным 100%-ный внутрисхемный контроль большинства современных ПУ. Визуальный доступ ограничен, и, собственно, ни один из способов контроля не может перекрыть весь спектр отказов. Необходима их комбинация.

ПУ, у которых превышен предел сетки в 5200 точек, невозможно проверить внутрисхемным методом. Тогда применяется ламинография, которая обеспечивает тестовое покрытие до 99%. Это сокращает число контрольных точек для внутрисхемного контроля в среднем на 40%, что снижает сложность контактрона и его стоимость. В результате ускоряется продвижение ПУ через технологический процесс. Использование рентгеновского контроля повышает также выход годных после внутрисхемного на 20%. Таким образом, вся эта комбинация снижает общие расходы, повышает качество и надежность продукции и ускоряет отгрузку изделий.

В недалеком будущем предполагается принимать решение относительно способа контроля новой конструкции ПУ сразу же после сбора данных о его схеме. Тут-то и будет решено, что следует проверять на внутрисхемном тестере, а что с помощью рентгеновской системы. Идеально ПО сможет генерировать тесты для обоих способов.

[www.tmworld.com/articles/2001/10\\_slice.htm](http://www.tmworld.com/articles/2001/10_slice.htm)  
[www.tmworld.com/articles/2001/02\\_xray.htm](http://www.tmworld.com/articles/2001/02_xray.htm)  
[www.tmworld.com/articles/98articles/](http://www.tmworld.com/articles/98articles/)  
[www.cassembly.com/online/2000/10/](http://www.cassembly.com/online/2000/10/)  
[www.phoenix-xray.com/](http://www.phoenix-xray.com/)  
[www.genrad.com/news/](http://www.genrad.com/news/)  
[www.dageinc.com/news4.html](http://www.dageinc.com/news4.html)  
[www.casassembly.com/db\\_area/archives/top100/](http://www.casassembly.com/db_area/archives/top100/)  
 Test & Measurement Europe/August-September 2000  
[www.faxitron.com/p4c.htm](http://www.faxitron.com/p4c.htm)  
[www.e-insite.net/](http://www.e-insite.net/)