

Современный подход к выбору стратегии контроля печатных узлов, блоков и систем

А теперь повернись и ступай навстречу ко всем тем, кто думает, будто ты знаешь все. Убеди себя в их правоте — ибо все мы знаем все, просто надо поверить. Верь.

Пауло КОЭЛЬО

Многообразие существующих автоматических систем для инспекции и контроля порождает две мысли.

Для обеспечения качества и надежности выпускаемых изделий, снижения трудоемкости ремонтов в процессе производства необходимо организовать тотальный контроль на всех стадиях технологического процесса для диагностики и локализации максимального количества дефектов сколь можно близко к местам их потенциального возникновения. Системы инспекции и контроля при массовом производстве или выпуске больших партий изделий вовсе не нужны, если печатный узел (ПУ) спроектирован с учетом всех технологических норм и параметры технологического процесса выверены, отлажены и неукоснительно соблюдаются.

Обсуждению основных принципов выбора стратегии контроля посвящена эта статья.

Станислав Гафт

lines@ostec-group.ru

Введение

Современные средства автоматической инспекции и контроля стоят недешево. Стоимость инвестиций, как правило, закладывается в себестоимость выпускаемой продукции, повышая, в конечном итоге, ее стоимость и снижая конкурентоспособность изделий на рынке. Но если не использовать средства инспекции и контроля в процессе производства, а контролировать только готовые изделия, придется смириться с высокими затратами на проведение ремонтов, связанных с повторной разборкой/сборкой и трудностью диагностики и локализации дефектов. Такой подход к выбору стратегии контроля применялся производителями в Юго-Восточной Азии при массовом выпуске недорогих одноплатных изделий: электронных часов, элементов детских игрушек. Производитель в этом случае мирился с тем, что на выходном контроле 5–10% изделий выбраковывались. Ремонт, как правило, не производился, так как его стоимость даже при низких зарплатах персонала в Юго-Восточной Азии была выше стоимости изделий. Кроме того, качество и надежность изделий, изготовленных по указанной технологии, предполагали значительное количество ранних отказов в гарантийный период. Но это не очень смущало продавцов таких товаров, так как потребитель, купивший, скажем, проводной телефон за \$2–3, был психологически готов к низкому качеству товаров, купленных по чрезвычайно низким

ценам, и редко обращался с вопросами их ремонта или замены.

Постоянно возрастающие требования рынка к новым изделиям (функциональность, снижение массо-габаритных показателей, надежность, дизайн) заставляют разработчиков, как правило, усложнять схемотехнические решения. При необходимости снижения габаритов и веса указанные причины приводят к увеличению плотности расположения компонентов в ПУ и применению интегральных микросхем с минимальными размерами корпусов при большом количестве выводов и с малым их шагом. ПУ становятся все более технологически сложными. В настоящее время никому не придет в голову вручную собирать ПУ мобильных телефонов или ноутбуков; для этого будут использовать современное сверхпроизводительное автоматическое сборочное оборудование. Технологический процесс при массовом производстве должен быть отлажен до мелочей, в противном случае уровень дефектных изделий и затраты на их ремонт могут кардинально повлиять на себестоимость выпускаемой продукции и ее конкурентоспособность на рынке.

Почему же ведущие мировые производители при всех указанных выше условиях (увеличение инвестиций, усложнение технологической подготовки производства) широко применяют различные системы контроля на всех стадиях технологического процесса сборки ПУ? Причин несколько, разберем их по порядку.

Критерии оценки эффективности функционирования выбранной стратегии контроля

Выход годных изделий

Обычно говорят о количестве годных изделий в процентах. Определяет качество существующей на производстве технологии и качество проведения технологической подготовки производства на конкретное изделие (ПУ).

Для крупносерийного производства чаще применяется «Выход годных (изделий) с первого прохода». Измеряется этот параметр в середине обработки большой партии.

Для мелкосерийного производства этот показатель может говорить о необходимости увеличения партии запуска для получения на выходе требуемого количества годных изделий.

Уровень дефектности

Обычно определяют уровень дефектности по конкретным технологическим операциям, для того чтобы на основе анализа дефектов и обработки статистических данных определить причину и место их наиболее вероятного возникновения. Измеряется в количестве дефектных изделий на миллион, ppm (Parts Per Million). Для крупно- и среднесерийного производства замеры проводятся в середине обработки большой партии.

Скорость реакции на отклонения

Этот критерий чрезвычайно важен для массового производства: чем быстрее будет остановлен процесс при обнаружении отклонений, тем меньше дефектных изделий будет смонтировано, соответственно, тем меньше будут затраты на ремонт.

Для мелкосерийного производства гораздо важнее сам факт диагностики и локализации максимального количества потенциальных дефектов и необходимые для этого трудозатраты.

Коэффициент тестового покрытия

Определяет тестопригодность изделия (ПУ). Как правило, применяется для оценки качества функционирования программы для автоматического тестового оборудования. В значительной степени зависит от соблюдения схемотехником и конструктором принятых правил и ограничений при проектировании ПУ. Может применяться для оценки функционирования всех применяемых программно-аппаратных комплексов, используемых при производстве конкретного изделия.

Время восстановления изделия (ПУ)

Среднее время (с учетом квалификации задействованного персонала — трудоемкость), необходимое для диагностики, локализации дефекта и проведения ремонта. Позволяет оценить затраты на проведение ремонтов в процессе производства на основании статистики трудоемкости проведения ремонтов. Этот критерий дает возможность принимать экономически обоснованное решение о необходимости совершенствования существующих тестовых программ для конкретного изделия и стратегии контроля в целом.

Контроль параметров технологического процесса

Даже в условиях массового производства при отлаженной устоявшейся технологии и выверенных параметрах технологического процесса для каждого изделия невозможно застраховаться от отклонений.

Пример 1

Вследствие естественного износа/искривления штока установочной головки сборочного автомата смещение при установке чип-компонентов увеличилось на 200 мкм. Если в этот момент собираются ПУ с компонентами 01005 (размеры 400×200 мкм), указанное отклонение обеспечит систематический дефект. Вопрос состоит в том, когда такой дефект будет обнаружен, сколько дефектных изделий будет изготовлено до момента признания этого дефекта систематическим (и произойдет остановка процесса) и какова будет цена восстановления дефектных изделий. Можно применять технологию, широко исполь-



Рис. 1. Тотальный визуальный контроль ПУ после пайки

зуемую ранее в Китае (рис. 1), когда после каждой сборочной линии 5–10 человек проводили визуальный контроль. Такой метод, безусловно, обеспечивает высокую занятость населения, но не гарантирует высокое качество контроля и быструю реакцию на отклонения.

Как результат — значительное количество дефектов (по статистике 5–10%), пропущенных на следующий этап производства, и большое время реакции (15–45 мин.). Представим себе, что на линии с производительностью 100 000 компонентов в час 10% чип-резисторов были установлены с указанными отклонениями. В течение 30 минут (до остановки процесса) было установлено 5000 компонентов с отклонениями. Потери будут складываться из следующих составляющих:

- дополнительная трудоемкость ремонта;
- простой линии после остановки (анализ причин возникновения дефекта, ремонт, калибровка);
- повторный запуск партии.

А если эта же головка устанавливала микросхемы в корпусе QFP с шагом 0,5 мм (ширина вывода — 200 мкм), необходимо учитывать и стоимость компонентов, поврежденных при ремонте, и вероятность повреждения ПП (отслоение контактных площадок при перегреве), и необходимость выбраковки всего ПУ по этой причине.

Потенциальные дефекты

Пример 2

А каковы результаты монтажа компонентов с шириной вывода 400 мкм (например, чип-компоненты в корпусе 0201)? Они будут смещены относительно контактных площадок ПП на ~50%. В соответствии с IPC-A-610D максимальное допустимое боковое смещение вывода компонента от края контактной площадки ПП для классов 1, 2 составляет 50%, а для класса 3 — 25%. При этом торцевое смещение не допускается.

Необходимо отметить, что при указанных условиях (неисправность оборудования, создающего дополнительное смещение компонента относительно контактных площадок в 200 мкм) количество паяных соединений с отклонениями после пайки будет значительным. При этом электрический контакт для большого количества паяных соединений, скорее всего, будет нормальным. Но надежность паяных соединений указанных компонентов будет ниже расчетного (запланированного) уровня. Кроме того, изменение расстояний между компонентами может изменить расчетные значения пробивных напряжений в высоковольтных цепях и взаимное влияние в высокочастотных. В результате может значительно ухудшиться повторяемость технических характеристик выпускаемых ПУ и, как следствие, потребуются непредсказуемые затраты на их наладку и регулировку.

Пример 3

Как определить соответствие (или несоответствие) изделия (полуфабриката) заявленным требованиям? Определение наличия или отсутствия в том числе и потенциальных дефектов путем сравнения

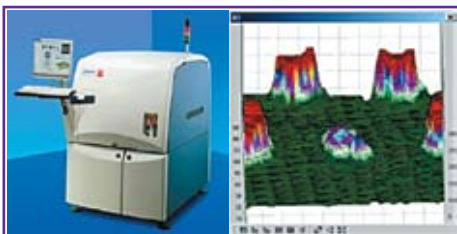


Рис. 2. Система АОИ контроля качества нанесения паяльной пасты

с соответствующими нормами, стандартами и рекомендациями. Например, для операции нанесения паяльной пасты рекомендуемый коэффициент заполнения контактных площадок пастой составляет не менее 70%.

Величину максимального отклонения объема пасты в столбиках рекомендовать сложнее, так как она зависит и от толщины трафарета (а ведь можно применить и рельефный трафарет). Однако если оценивать максимально допустимое отклонение количества паяльной пасты в столбике от расчетного при производстве сложных ПУ для ответственных изделий, вряд ли кто-либо из опытных технологов утвердит отклонение более 30%. Давайте представим реальный современный сложный ПУ, на который устанавливаются микросхемы в корпусах μ BGA с общим количеством шариковых выводов около 10 тысяч и шагом 0,5 мм. Совершенно очевидно, что гораздо выгоднее предупредить дефект, проведя контроль качества нанесения паяльной пасты (рис. 2), чем в дальнейшем проводить трудоемкий ремонт с риском повреждения дорогостоящего компонента и всего ПУ в целом.

Пример 4

На предприятие поставлена партия многослойных керамических конденсаторов с отклонениями (допуск по номиналу вместо 10 составляет 30%). В данном случае опасность состоит в диагностике дефекта ука-



Рис. 3. Система автоматического внутрисхемного и функционального контроля с «летающими» щупами SPEA 4040

занного типа: он может быть не выявлен в процессе производства вообще (и проявится у потребителя в процессе эксплуатации) либо не выявлен на этапе проведения приемо-сдаточных испытаний приборов и/или систем. Этот дефект потребует дополнительных затрат на проведение ремонтов, только в первом случае эти затраты будут, по крайней мере, на порядок выше, так как будут включать командировочные расходы. Эффективным средством диагностики и локализации дефектов подобного типа является система внутрисхемного и функционального контроля (рис. 3).

По указанным причинам все ведущие производители ПУ, как правило, широко используют системы автоматического контроля в технологическом процессе (рис. 4).

Скрытые дефекты

Пример 5

При броске питающего напряжения температура в зоне оплавления изменилась на 20 °С.

Указанное изменение параметра процесса может повлечь за собой весьма серьезные последствия:

- снижение качества паяных соединений;
- выход из строя электронных компонентов, чувствительных к температуре.

Для предупреждения прохождения ПУ, оплавленных по несоответствующему температурному профилю, необходимо:

- остановить процесс настолько быстро, насколько это возможно;
- скорректировать параметры процесса и запустить его с использованием существующей на производстве процедуры;
- выявить все ПУ, оплавленные по некорректному профилю;
- провести диагностику качества паяных соединений и сохранности электронных компонентов;
- на основании данных исследований принять решение о дальнейшей судьбе ПУ;
- разработать и внедрить корректирующие и предупреждающие действия, предотвращающие возникновение указанной ситуации (например, установка системы бесперебойного питания).

Наиболее распространенным и эффективным средством диагностики «скрытых» дефектов — качества паяных соединений и внутреннего состояния интегральных микросхем — являются системы рентгеновского контроля (рис. 5).

Указанная ситуация (изменение температуры в зоне оплавления) может произойти и без броска питающего напряжения. Часто в конце обработки большой партии ПУ начи-

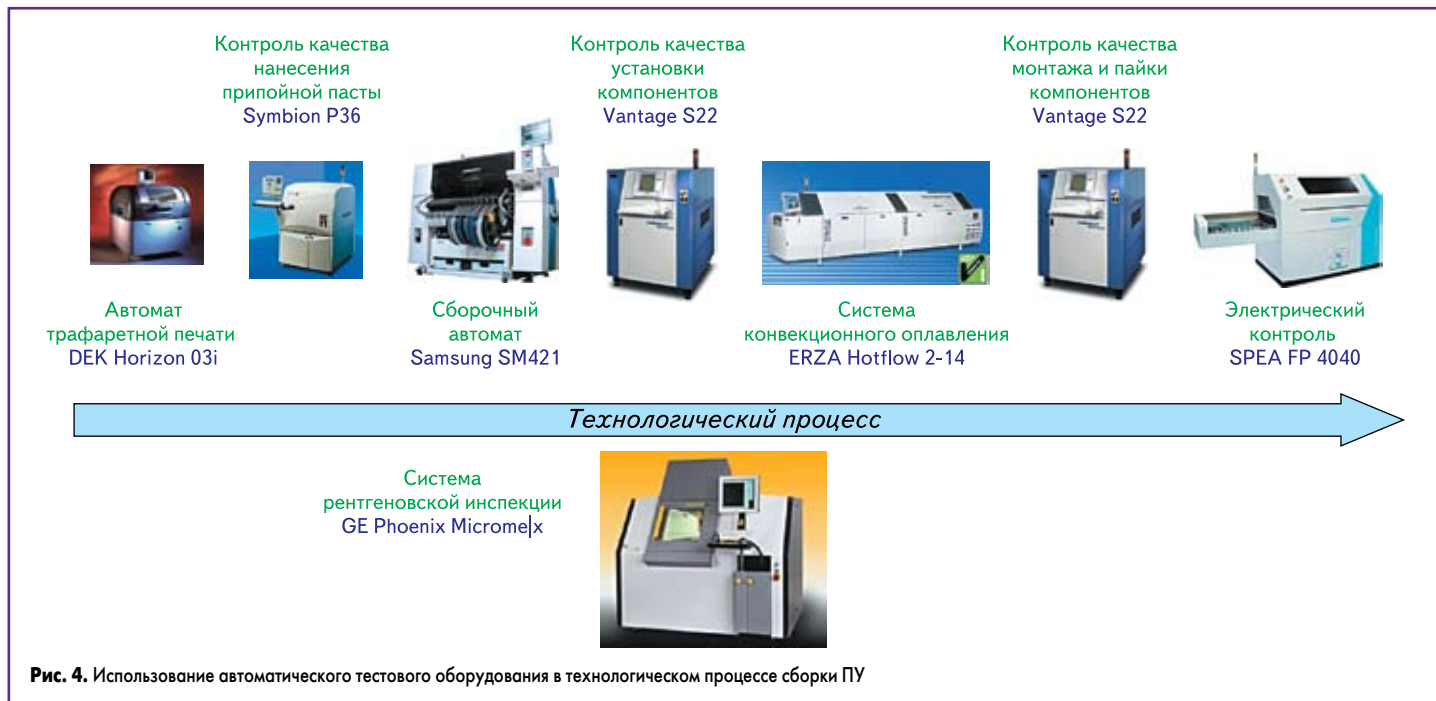


Рис. 4. Использование автоматического тестового оборудования в технологическом процессе сборки ПУ

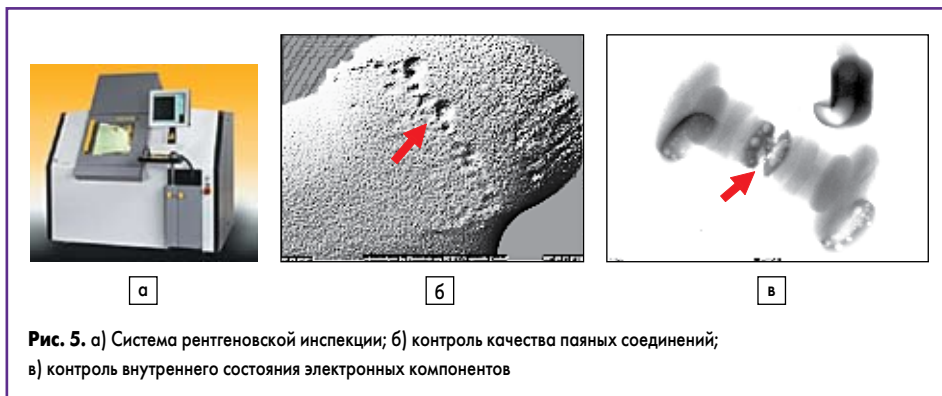


Рис. 5. а) Система рентгеновской инспекции; б) контроль качества паяных соединений; в) контроль внутреннего состояния электронных компонентов

нают заканчиваться компоненты в питателях. Собранные ПУ накапливаются на месте визуального контроля и доустановки перед печью оплавления. Начинается поиск недостающих компонентов, включая проверку емкостей, куда сборочные автоматы сбрасывают элементы, забракованные системой технического зрения.

После нахождения и ручной установки недостающих компонентов оператор может запустить ПУ на оплавление с малыми промежутками. При этом, особенно в случае многослойных ПП с большим количеством экранных и сигнальных слоев, возможна перегрузка печи и, соответственно, невозможность реализовать заданный профиль оплавления.

Как отмечалось выше, главное — скорость реакции: подобное отклонение необходимо обнаружить как можно быстрее. Ведь оператор может «не заметить» отклонение процесса. Идеальный выход — система прослеживаемости параметров технологического процесса, когда для каждого ПУ известно о параметрах температурного профиля и об отсутствии отклонений в реальном масштабе времени во время оплавления.

Однако наиболее популярным средством объективного контроля качества паяных соединений и внутреннего состояния электронных компонентов является система рентгеновской инспекции. Именно по этой причине на большинстве ведущих европейских предприятий установлена специальная процедура контроля качества методом рентгеновской инспекции, включая:

- Обязательный сплошной (100%) контроль качества паяных соединений под корпусами электронных компонентов.
- Обязательный контроль сигнальных ПУ (первые собранные в партии). Программа контроля включает наиболее критичные к образованию пустот паяные соединения (определяется на этапе технологической подготовки производства при отладке параметров температурного профиля).
- Обязательный контроль 2% собранных ПУ (но не менее 10 штук) из каждой партии.

Экономический эффект от применения систем рентгеновской инспекции заключен в снижении затрат на проведение ремонтов в процессе производства (контроль качества монтажа и паяных соединений) и в гарантийный период, когда стоимость проведения ремонта растет, по крайней мере, на порядок.

Стимулирование персонала

Необходимость повышения зарплат персонала сборочных производств — стимул для максимальной автоматизации технологических процессов сборки и контроля.

Прошли времена, когда зарплата в \$50–100 была голубой мечтой китайских рабочих. В настоящее время для того, чтобы удерживать квалифицированного оператора, бывает недостаточно и \$500. Аналогичная картина наблюдается и в России. Не имеет смысла тратить деньги и время, чтобы через 1,5–3 года потерять квалифицированных сотрудников. Но ведь фонд зарплаты — одна из основных статей расхода, который в значительной мере определяет себестоимость продукции и продажную цену. При повышении зарплаты персоналу, казалось бы, компания ждет крах из-за необходимости установки высокой неконкурентоспособной цены на выпускаемую продукцию, снижения объемов и прибыли. Современный подход заключается в максимальной автоматизации всех производственных процессов. В этом случае удастся снизить численность персонала, повысить производительность труда и увеличить зарплату необходимым высококвалифицированным сотрудникам. Кроме того, при построении современного эффективного производства рабочие и ИТР становятся патриотами своего завода: даже значительной прибавкой к зарплате их переманить удастся далеко не всегда.

Особенности выбора стратегии контроля при мелкосерийном многономенклатурном производстве

Экономическую эффективность применения автоматического тестового оборудования при средне- и крупносерийном производствах оценить несложно. Приведем пример.

В программу производства включено изделие (ПУ) со следующими характеристиками:

- количество компонентов — 500;
- количество точек пайки — 2000;
- плановая производительность — 800 ПУ в смену (100 ПУ в час);
- планируемый уровень дефектности (в пересчете на паяные соединения) — 100 ppm;
- стоимость нормо-часа (с накладными расходами) — \$20.

Количество паяных соединений в час: $100 \times 2000 = 200\,000$.

Из них потенциально дефектных: $200\,000 \times 100 / 1\,000\,000 = 20$.

Количество ПУ с потенциальными дефектами: 20%.

Время восстановления указанного ПУ без использования автоматического тестового оборудования (усредненные данные опроса): 5 часов.

Трудоёмкость восстановления дефектных ПУ в месяц (при двухсменном режиме работы): $800 \times 0,2 \times 5 \times 2 = 1600$ нормо-часов.

Стоимость проведения ремонтов в год: $1600 \times 12 \times 20 = \$384\,000$.

При мелкосерийном производстве экономическая эффективность применения систем контроля обосновывается, как правило, следующими причинами:

- Необходимостью обеспечения высокого качества и надежности выпускаемой продукции.
- Высокой стоимостью проведения ремонтов в процессе производства. Представим себе расчет стоимости проведения ремонта в процессе испытаний прибора или системы, когда потребуются дополнительная разборка/сборка, диагностика без средств автоматизации и локализации дефекта, повторные испытания.
- Высокой ценой отказа в процессе эксплуатации.
- Высокой стоимостью проведения ремонтов у потребителя.
- Снижением репутации изготовителя.

Необходимость постоянной поддержки высокой репутации производителя

Если установленный на предприятии типовой технологический процесс не обеспечивает, например, регулярный контроль качества паяных соединений, можно прогнозировать увеличенное количество отказов в гарантийный период. При этом стоимость проведения ремонтов значительно возрастет с учетом выездов специалистов к заказчику, по крайней мере на порядок. Кроме того, при увеличении количества отказов изделий у потребителя будет снижаться конкурентоспособность продукции и репутация компании-производителя. Указанные обстоятельства, кроме увеличения затрат на проведение гарантийных ремонтов, могут привести к снижению спроса на продукцию компании-производителя и падение объемов продаж, что, в свою очередь, снизит рентабельность производства, а в худшем случае приведет к банкротству.

Ухудшение репутации компании-производителя — серьезная проблема, которая может привести к потере новых выгодных заказов. При этом гарантировано и снижение стоимости торговой марки.

Заключение

Для каждого предприятия в соответствии с характером, областью применения, серийностью и объемом выпускаемой продукции должна быть разработана оптимальная стра-

тегия контроля, направленная на снижение затрат в процессе производства, снижение себестоимости при повышении уровня качества и надежности выпускаемой продукции.

Для массового производства, безусловно, необходима квалификация поставщика и входной контроль компонентов комплектующих и материалов, так как использование, например, компонентов с отклонениями

может привести к резкому повышению трудоемкости ремонтов в процессе производства и снижению качества и надежности выпускаемой продукции.

Необходима квалификация поставщика и входной контроль ПП, так как использование их в производстве с отклонениями (например, по короблению) неизбежно приведет к увеличению количества технологических

дефектов (и, соответственно, к увеличению стоимости ремонтов в процессе производства и гарантийного периода).

Для обеспечения качества ПП для ответственных изделий в целом ряде случаев необходимо собственное производство ПП, способное обеспечить контролируемый процесс, качество и надежность выпускаемой продукции. ■