

# Контроль положения слоев многослойных печатных плат рентгеновским и оптическим методами

Андреев А.А.,  
Петрокоммерц (Санкт-Петербург)

Настоящая статья ставит целью знакомство российских производителей печатных плат со специальными сверлильными станками ф. Schmolл (Германия), которые помимо обычных функций (сверление и фрезерование) обладают возможностью проведения измерений положения внутренних слоев МПП с последующей оптимизацией механической обработки. Такая возможность у оборудования ф. Schmolл существует достаточно давно: уже 10 лет назад станки модели System имели модификации, оснащенные рентгеновской аппаратурой. Однако на российском рынке только в последние годы резко увеличился интерес к подобному оборудованию и уже есть опыт поставки и эксплуатации станков как для рентгеновского, так и для оптического анализа.

Необходимость контроля положения внутренних слоев обусловлена, в первую очередь, возрастающей сложностью рисунка плат и увеличением размеров заготовок. Дополнительно сказывается и фактор малой серийности МПП, при котором у технологов фактически нет возможности корректировать процесс на установившемся режиме. И, несмотря на совершенствование базовых материалов, совершенствование технологий сборки и прессования МПП актуальность контроля внутренних слоев МПП перед последующей обработкой, видимо, будет только возрастать.

Прежде чем приступить к рассмотрению конкретных станков ф. Schmolл, необходимо дать замечания общего характера о методах контроля положения слоев. В настоящее время практическое применение два метода: рентгеновский и оптический. Каждый из них предполагает выполнение на внутренних слоях заготовки МПП специальных меток, расположенных в заранее определенных координатах в технологических зонах слоев.

В зависимости от уровня установки контроля, таких наборов меток может быть 2 (обычно располагаются по длинной оси заготовки), 4 (обычно — по углам заготовки) или более. В зависимости от уровня установки характер набора меток также может меняться: они могут располагаться «стопкой», т.е. одна над другой, или каждый из слоев может иметь метки, расположенные в индивидуальных (для данного слоя) координатах. Основное преимущество рентгеновского метода – неразрушающий характер контроля и высокая скорость проведения проверки. Оптический метод анализа предполагает дополнительную механическую обработку заготовки МПП, вследствие чего процедура контроля занимает больше времени. Реализация каждого из этих методов имеет и дополнительные особенности, о чем пойдет речь ниже.

## Станок XRC

Этот станок, хотя и собран на базе одношпиндельного станка, имеет ряд очень существенных отличий от последнего. Прежде всего, это наличие дополнительной оси для перемещения камеры приема рентгеновского изображения. Эта ось (ось U) размещена в тоннеле гранитного основания станка и имеет собственный привод. Дополнительно она предназначена для перемещения контр-опоры (о ее назначении – несколько позже) Стол станка XRC также имеет существенные отличия: он имеет 4 окна, сделанных в углах стола, и 2 дополнительных окна, в которых и производится вскрытие базовых отверстий. Кроме того, стол снабжен вакуумным прижимом («присосками»), которыми и осуществляется фиксация заготовки при проведении измерения. Источник рентгеновского излучения закреплен на сверлильной головке (ось Z) и имеет возможность менять высоту по командам устройства ЧПУ станка, за счет чего меняется размер просматриваемой зоны (масштаб изображения). Остальные устройства практически идентичны тем, что используются на обычных станках, за исключением конструкции кожуха, который значительно усилен и выполняет функцию защиты персонала от рентгеновского излучения. Станок имеет в составе устройства управления блок питания рентгеновской трубки и дополнительный компьютер для обработки изображения. Этот компьютер имеет канал связи с устройством ЧПУ станка и при проведении анализа корректирует перемещение осей.

Заготовка печатной платы, предназначенная для обработки на станке XRC, должна быть снабжена наборами меток, примерная структура которых показана на Рис.1. Установка заготовки на стол станка производится таким образом, чтобы наборы меток оказались над угловыми окнами стола. Нижняя прокладка при этом не используется, и заготовка фиксируется на столе при помощи вакуумного прижима.

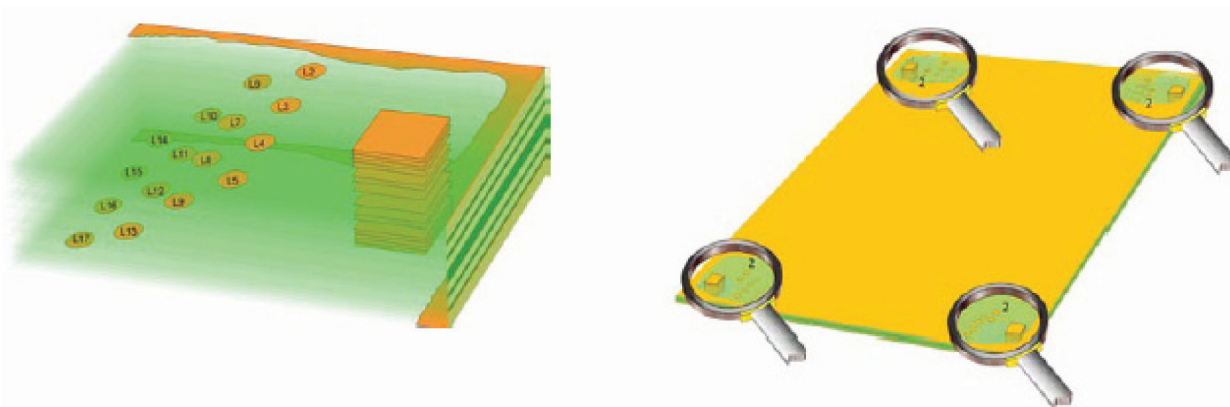


Рис. 1. Структура меток рентгеновского анализа

Процедура измерения в общем виде выглядит следующим образом:

После запуска программы станок должен выполнить согласование координат заготовки и собственных осей. Для этого обычно производится поиск меток предварительного выравнивания, в качестве которых выступают прямоугольные метки набора. Обычно станок самостоятельно производит этот поиск; при значительном начальном смещении заготовки оператор может взять управление на себя и по изображению на экране монитора произвести выравнивание. После предварительного выравнивания поиск и измерение координат меток конкретных слоев заготовки выполняется автоматически и для платы с количеством внутренних слоев равным 8 занимает менее минуты. Сразу же готов и результат измерения, который предполагает оценку. Критерии оценки, также как и необходимые поправки для сверления базовых отверстий, задаются заранее. При удовлетворительном качестве заготовки станок автоматически производит вскрытие базовых отверстий; причем возможные искажения их координат вследствие изгиба заготовки устраняются контр — опорой, которая автоматически выдвигается в зону сверления и поддерживает заготовку снизу. В качестве дополнительного результата измерения выдаются данные об оптимальном изменении масштаба осей станка при последующем рабочем сверлении, которые позволяют очень эффективно устранить такие характерные искажения, как усадка слоев при прессовании. Эти же данные удобно использовать и при изготовлении фотошаблонов наружных слоев.

#### **Преимущества станка Schmolл XRC:**

1. Неразрушающий контроль заготовки
2. Высокая скорость работы
3. Оценка положения слоев по двум осям заготовки
4. Проведение измерений одной камерой, что исключает необходимость согласования параметров камер
5. Возможность проведения измерения, как по отдельным слоям, так и по групповым меткам (быстрый режим измерения)
6. Возможность проведения измерений до прессования (после сборки пакета бондированием) с целью предварительной оценки качества сборки; возможен также выборочный (ручной) просмотр результатов рабочего сверления .
7. Наличие на столе станка калибровочной метки для автоматической проверки параметров измерения
8. Возможность менять параметры и состав наборов меток
9. Возможность набора статистики по партии заготовок с целью коррекции технологического процесса (фотошаблонов и режимов прессования)
10. При отсутствии необходимости в проведении измерения положения слоев может использоваться как обычный сверлильный станок.

#### **Недостатки станка Schmolл XRC:**

1. Ограничения по минимальному размеру (заготовки МПП не могут быть меньшими, чем 305 x 420 мм)
2. Процедура измерения заканчивается сверлением базовых отверстий; для дальнейшей обработки плата должна быть собрана в пакет с прокладками. Это требует наличия устройства для точного штифтования. Если предполагается последующее сверление пакетов производить на станке XRC, то необходимо произвести дополнительную подготовку станка (установить стальные пластины на окна стола)
3. Высокая стоимость.

**Вывод:** станок модели XRC может быть рекомендован для производств со средним и крупным объемом выпускаемых МПП.

### Станок ССD

Отличие станка этой модели от обычного одношпиндельного станка заключается только в наличии телевизионной камеры и дополнительного компьютера, встроенного в устройство ЧПУ. Однако эти два устройства позволяют реализовать две важные функции: контроль положения внутренних слоев МПП, обработка по меткам наружных слоев и определение данных для сверления глухих отверстий. Далее — несколько подробнее об этих функциях.

Для реализации функции анализа МПП каждый из слоев должен быть снабжен специальной меткой. Вид и характер расположения меток показан на Рис. 2. Для реализации метода также необходимо располагать информацией о ожидаемой (расчетной) глубине расположения слоев. Кроме того, станок должен быть укомплектован сверлом (обычно — диаметром 5 мм) для вскрытия меток, которое несколько отличается от стандартного углом при вершине.

Принцип измерения положения слоя заключается в «надсверливании» центральной части крестообразной метки; при этом на конусообразном углублении становятся отчетливо видны медные сегменты, оставшиеся от креста (см. рис. 3). Измерение взаимного расположения этих сегментов однозначно определяет разницу между координатами метки и координатами сверления, а также фактическую глубину расположения слоя.

Процедура измерения положения слоев представляет собой следующее:

- Калибровка инструмента вскрытия меток. При этом станок (в указанной в программе точке заготовки) выполняет несколько (обычно — четыре) сверлений на разную глубину, каждый раз измеряя диаметр наружного края углубления. После этой процедуры управляющая программа получает все необходимые данные о геометрии режущей части инструмента.
- Вскрытие меток внутренних слоев. В соответствии с координатами и глубинами расположения слоев, указанными в программе, станок производит последовательное вскрытие и измерение положения меток каждого из слоев (за исключением наружных) Полученные при этом данные используются для оценки качества заготовки.
- Результаты измерений готовы практически сразу и на основании заранее запрограммированных показателей качества, станок принимает решение о целесообразности рабочего сверления заготовки. Рабочее сверление предполагает выполнение всех отверстий на заготовке с учетом поправок на смещение, поворот и масштабирование координатных осей станка с целью оптимизации положения отверстий относительно рисунка слоев.

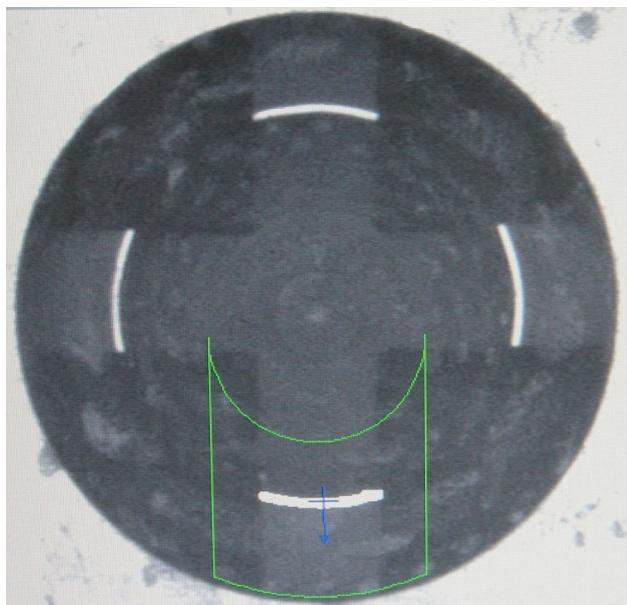


Рис. 3. Вид метки оптического анализа (яркие элементы — остатки «креста» анализируемого слоя; на просвет виден «крест» нижнего слоя)



Рис. 2. Структура меток оптического анализа

Как и при измерении на станке XRC, оператор может взять управление процессом на себя и выполнять отдельные стадии (включая принятие решения о целесообразности сверления) вручную, если по каким-либо причинам автоматическое выполнение измерений затруднено.

Для реализации функции обработки по меткам наружных слоев необходимо либо заранее сформировать метки на рисунке наружного слоя, либо выбрать в качестве меток какие-либо характерные элементы имеющегося рисунка (контактные площадки, отверстия и т.п.) По командам программы станок выполнит поиск этих меток и произведет коррекцию координатной системы станка. Эта функция особенно практична при обработке контура гибких плат, или при сверлении прецизионных крепежных (не металлизированных) отверстий на готовой плате и т.п.



Функция сбора данных для сверления глухих отверстий предполагает наличие дополнительных меток на 1-м внутреннем слое, вскрывая которые станок определяет отклонение фактической глубины 1-го слоя по всей площади заготовки (топология слоя). Эти данные учитываются при сверлении глухих отверстий с верхнего на 1 внутренний слой.

#### **Достоинства станка MX1 CCD:**

1. Низкая стоимость и отсутствие необходимости защиты от рентгеновского излучения
2. Отсутствие ограничений на размеры заготовки, на место расположения и количество наборов меток (на больших многоместных заготовках каждая из плат может иметь собственные наборы меток)
3. Оценка положения каждого из внутренних слоев по двум осям заготовки
4. Проведение измерений одной камерой, что исключает необходимость согласования параметров камер
5. Возможность использования станка в качестве высокоточной измерительной системы
6. Рабочее сверление может выполняться непосредственно в цикле проведения измерений, что исключает необходимость в оборудовании для точной сборки пакетов;
7. Возможность менять параметры и состав наборов меток
8. Возможность набора статистики (в том числе и по фактической глубине расположения слоев) по партии заготовок с целью коррекции технологического процесса (фотошаблонов и режимов прессования)
9. При отсутствии необходимости в проведении измерения положения слоев может использоваться как обычный сверлильный станок.

#### **Недостатки станка MX1 CCD:**

1. Разрушающий метод контроля (это означает, что при необходимости повторных измерений и на случай сбоя при проведении измерений необходимо иметь резервные наборы меток в служебной области заготовок)
2. Невысокая скорость проведения измерений (время проведения измерения 1 заготовки-3..4 минуты)
3. Необходимость установки заготовки на стол станка с точностью  $\pm 0,5$  мм. Если сборка и прессование заготовки производилось на штифтах, то оставшиеся после штифтов отверстия обеспечивают установку заготовки с требуемой точностью; при безштифтовом методе сборки и прессовании необходимо либо формировать метки на наружном слое (это допускается некоторыми технологиями), либо производить механическое удаление части медной фольги в зоне расположения специальных выравнивающих меток.
4. Процесс измерения предполагает указание расчетной глубины внутреннего слоя от поверхности. При ошибке или большой разнице глубин по площади заготовки (более 100 мкм) автоматическое выполнение измерения становится малоэффективным и возникает необходимость частой ручной коррекции измерения.

**Вывод:** станок модели CCD может быть рекомендован для производств с малыми партиями выпускаемых МПП;

Станки XRC и CCD фактически используют одну и ту же программу обработки изображения. Эта программа производит анализ телевизионного изображения и согласует его с данными о координатах осей станка, в которых эти изображения были получены. Результаты измерения могут быть просмотрены в виде таблиц и графических изображений как в исходном (первоначальном) виде, так и с учетом внесенных программой поправок. Результаты измерения, изображения меток и итоговые протоколы могут быть сохранены в памяти компьютера и в дальнейшем использованы при коррекции технологии производства МПП. Программа содержит все необходимые инструменты для создания новых моделей меток и для формирования критериев сортировки заготовок. Программа согласует свою работу с устройством ЧПУ станка. Исходные данные с координатами расположения меток встраиваются в рабочую программу сверления (совместимы с языком программирования EX2) и могут редактироваться оператором или конструктором так же, как и другие команды сверления.

## **Отличия оборудования ф. Schmolл от установок контроля положения внутренних слоев других фирм**

При создании этих моделей был применен наиболее рациональный путь: используя прецизионную координатную систему сверлильного станка, фирма Schmolл путем сравнительно небольших изменений добилась качественного изменения функций своей традиционной продукции. При этом для обеих моделей сохранены и функции сверления.

Другие производители идут по пути создания специализированных установок (Vista XR фирмы Pluritec, XRT-1000 фирмы Multiline, Targomat-III фирмы Printprocess и т.п.). Как правило, эти установки производят измерение по одной оси заготовки (попытки снабдить эти установки возможностью контроля заготовки по 2-м осям приводят к их чрезмерному усложнению и удорожанию), они снабжены несколькими камерами и имеют сравнительно низкокачественные шпиндели для сверления базовых отверстий. Все они нуждаются в дополнительном оборудовании для штифтования, а также и для удаления меди (Targomat-III) с наружных поверхностей заготовки- и при этом их цены вполне соизмеримы со стоимостью сверлильного станка.

Таким образом, можно сделать вывод: при сегодняшней ситуации с производством МПП в России (большая номенклатура при малых партиях) станки ф. Schmolл с функцией измерения положения внутренних слоев – точное и практичное решение.