

Цифровой метод автоматизированной оценки деформации печатной платы

Н. Куликов¹, О. Хомутская², С. Ванцов, к. т. н.³

УДК 621.3.049.75:658.5.012.14 | ВАК 05.11.14

Повышение плотности монтажа печатных плат, уменьшение размеров монтажных и переходных отверстий, а также размеров контактных площадок приводит к увеличению требований к точности позиционирования элементов печатной платы (ПП). Особенно важным это требование становится в производстве многослойных плат, в которых несовмещение слоев может привести к неисправимому производственному браку. В ходе производственного процесса происходит деформация композитного материала основания печатной платы, которая может привести к существенному смещению элементов ПП. В статье анализируются причины возникновения деформаций оснований печатных плат и предлагается простой метод оценки степени деформации платы.

Деформации ПП могут привести к возникновению ряда неисправимых дефектов, а именно: смещению проводников, уходу контактных площадок и отверстий, изменению геометрии кромки печатной платы, разрыву проводников и других, препятствующих изготовлению плат высокого класса точности. Величина деформации (смещение осей отверстий и центров контактных площадок, изменение расстояния между соседними элементами ПП) регламентированы в ГОСТ Р 53429-2009 «Печатные платы. Основные параметры конструкции» [1].

Помимо названных выше деформаций в плоскости платы, внутренние напряжения в ПП приводят к отклонению от плоскостности в виде прогиба, коробления либо скручивания. Прогиб – это цилиндрическая деформация, коробление – сферическая; скручивание представляет собой изгиб ПП относительно ее диагонали (рис. 1).

Любой вид отклонения от плоскостности создает серьезные сложности при монтаже печатных узлов на автоматических линиях. Для этого типа деформации установлены ограничения: допустимая неплоскостность для односторонних и двухсторонних ПП не должна превышать 5%, для многослойных ПП (МПП) – 2%. Современные сборочные автоматы располагают техническими средствами, позволяющими устанавливать компоненты на ПП, имеющие нарушения плоскостности в этих и даже больших пределах. Однако даже при успешном монтаже печатного узла негативное влияние неплоскостности все равно может проявиться. Это происходит на этапе установки смонтированного печатного узла в корпус изделия: крепежные элементы выпрямляют плату, и в местах пайки возникают напряжения, которые

могут привести к отказам паек или разрушениям внутренних слоев в МПП.

Причиной, делающей плату чувствительной к технологическим воздействиям, является прежде всего материал, из которого она изготовлена. Основанием печатной платы в большинстве случаев является подложка из композитного материала. В настоящее время в этом качестве чаще всего используется стеклотекстолит типа FR-4; однако и значительное большинство других материалов, используемых для изготовления оснований ПП, представляет собой армированные композиты, состоящие из полимерного связующего и армирующих волокон. В таких материалах внутренние напряжения появляются уже в процессе их изготовления вследствие усадки при полимеризации связующего. Далее, в ходе изготовления печатных плат для электронных устройств, к ним добавляются напряжения сдвига, возникающие в результате прессования слоистых пластиков или слоев в пакете МПП из-за разности в коэффициентах

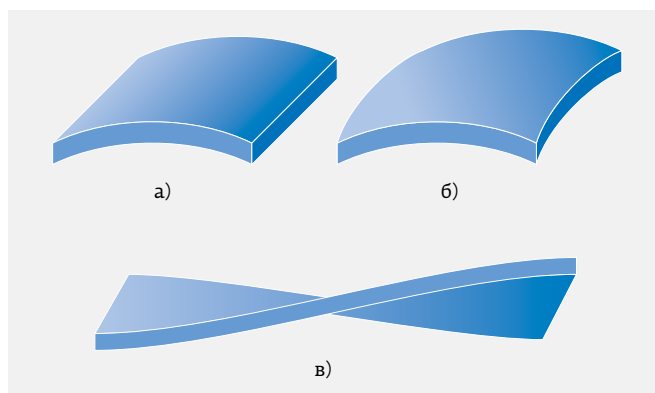


Рис. 1. Отклонения от плоскостности: а – прогиб, б – коробление; в – скручивание [2]

¹ МАИ (НИУ), магистрант.

² МАИ (НИУ), ассистент, khomutskayaov@gmail.com.

³ МАИ (НИУ), доцент, vancov@medpractika.ru.

температурного расширения компонентов слоистых платиков. Величина внутренних напряжений также во многом зависит от вида переплетения армирующего стекловолокна. В большей или меньшей степени свой вклад в деформацию платы вносят также другие воздействия, которым подвергается заготовка по мере превращения в основание печатного узла: термические (экспонирование, нанесение финишного покрытия), механические (сверление, фрезерование), химические (нанесение фоторезиста, травление).

Термостабилизация заготовок ПП способствует снижению внутренних напряжений, главным образом тех, которые связаны с усадкой материала, из которого они изготовлены. Однако это лишь одна из составляющих многофакторного явления, которое представляет собой деформация композитной ПП. Существует множество других способов уменьшения величины деформаций (например, симметрирование внутренних напряжений при помощи специально для этого вводимых элементов медного рисунка платы) либо нивелирования их влияния на возможность изготовления исправной ПП или МПП (применение методик и технических средств усреднения смещений и т. п.). В любом случае, и проектировщику печатной платы, и технологу необходимо знать, с чем они столкнутся при разработке топологии и изготовлении ПП. Для этого надо рассчитать возможную деформацию или измерить ее на реальных прототипах платы.

Существует несколько способов определения величины деформации:

1. Прогнозирование деформации печатной платы средствами компьютерного моделирования, где моделируются механические и термические воздействия при изготовлении платы, например, с помощью пакета Ansys [3].
2. Измерение деформации ПП с использованием электронного микроскопа.
3. Определение деформации с помощью зажимных аппаратов механического тестирования положений отверстий и кромки печатной платы (рис. 2).

Каждый из этих методов имеет свои недостатки.

При компьютерном моделировании в пакете Ansys игнорируется ряд параметров, таких как изменение расстояния между дальними отверстиями и смещение внутренних слоев печатной платы. Как следствие, метод неприменим к исследованию реально протекающих термических и механических процессов при производстве, а дает лишь общее представление об уровне деформации.

К недостаткам измерения при помощи микроскопа можно отнести длительность проведения измерений

в случае детального исследования ПП либо неполное покрытие ее поверхности, если на работу выделено ограниченное время. Кроме того, в этом случае высока вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором.

Минусами метода, в котором применяются зажимные аппараты механического тестирования, являются значительные механические воздействия на испытуемый образец и большие затраты времени и средств на его реализацию, обусловленные необходимостью разработки и изготовления индивидуального аппарата для каждого типа печатной платы. К тому же, в силу конструктивных ограничений аппарата, точек снятия отсчета может оказаться недостаточно для получения практически значимой картины локальных деформаций по всей площади ПП.

В основном преодолеть эти недостатки позволяет разработанный авторами метод оценки величины деформации, который дает возможность:

- ускорить процесс оценки деформации платы, по крайней мере по сравнению с традиционными методами 2 и 3;
- в значительной степени исключить человеческий фактор – в отличие от метода анализа с помощью электронного оптического микроскопа;
- определить направление деформации в локальных областях поверхности ПП и дать ей количественную оценку;
- выявить очаги наибольшей деформации.

Метод позволяет оценить деформацию ПП после любого этапа технологического процесса посредством сравнения ее изображения после проведения этого этапа с эталонным, за которое принято изображение ПП после этапа сверления сквозных отверстий.

В качестве исходной информации используются:

- отсканированное изображение печатной платы после этапа сверления сквозных отверстий;
- отсканированное изображение печатной платы после любого этапа производства – по усмотрению заинтересованного лица;
- диаметры просверленных отверстий;

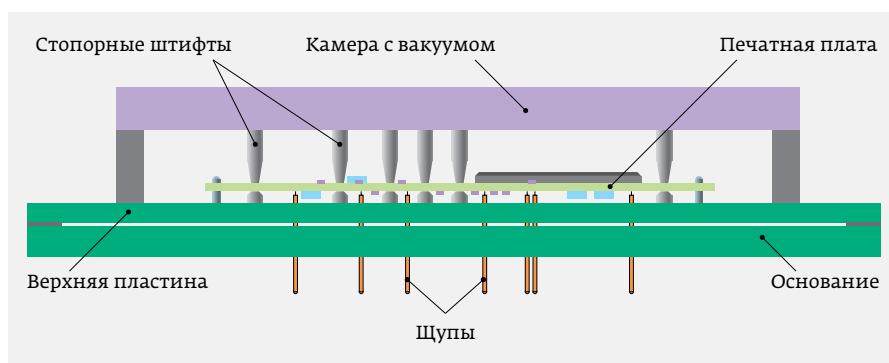


Рис. 2. Устройство зажимного аппарата [4, 5]

- количество точек (пикселей) на дюйм в отсканированных изображениях (параметр DPI – dots per inch).

Последовательность действий при реализации метода следующая:

1. Получить эталонное компьютерное изображение печатной платы – после окончания этапа сверления сквозных отверстий.
2. Получить анализируемое компьютерное изображение – изображение печатной платы по завершении интересующего технологического этапа.
3. Выводить изображения относительно реперных точек, расположенных по углам.
4. Перевести изображения в полутоновый формат.
5. Распознать отверстия как окружности и определить местоположение их центров на обоих изображениях.
6. Ввести дополнительную (в отличие от исходной, в которой выполнен проект ПП) систему координат на изображениях, за начало которой принять одно из отверстий на ПП.
7. Позиционировать все центры отверстий относительно введенной системы координат.
8. Подсчитать в точках (пикселях) смещения между центрами отверстий на эталонном и анализируемом изображениях.
9. Перевести полученные результаты в миллиметры.
10. Для каждого отверстия анализируемого изображения рассчитать величину смещения относительно соответствующего отверстия на эталонном изображении.
11. Рассчитать интегральную оценку – суммарную среднюю модульную величину смещения.

Для проверки работоспособности метода было изготовлено 12 тестовых образцов, представляющих собой односторонние ПП со сплошным фольгированием размером 291 × 210 мм, толщиной 0,5 мм. Сверление отверстий

в образцах производилось сверлом диаметром 1,1 мм с шагом 10 мм.

Предварительно была произведена термостабилизация заготовок в печи при 60 °С в течение 24 ч. В качестве анализируемой использовалась плата после травления (рис. 3). Для получения изображений был применен сканер Epson Perfection 3170 с разрешением 1800 DPI. Чтобы избежать искажения изображений вследствие сжатия, использовался формат BMP. Размер полученных изображений – 12000 × 14000 точек.

Для обработки изображений применяется разработанная авторами программа, написанная на языке Python 3 с использованием библиотеки компьютерного зрения Open CV [6]. С ее помощью осуществляется поиск окружностей на изображениях печатных плат со сквозными отверстиями. В качестве нулевой точки дополнительной системы координат было использовано верхнее левое отверстие (рис. 4).

Далее были рассчитаны смещения центров отверстий на эталонном и анализируемом изображениях:

$$AB_i = \sqrt{(X_{B_i} - X_{A_i})^2 + (Y_{B_i} - Y_{A_i})^2}, \quad (1)$$

где AB_i – величина в точках (пикселях) смещения центра i -го отверстия на анализируемом изображении по отношению к эталонному; X_{A_i} , Y_{A_i} – координаты положения i -го отверстия на эталонном изображении; X_{B_i} , Y_{B_i} – координаты положения i -го отверстия на анализируемом изображении.

Перевод результатов расчета смещений отверстий в миллиметры:

$$L_i = \frac{AB_i \cdot k}{DPI}, \quad (2)$$

где L_i – величина смещения центра i -го отверстия в мм; DPI – разрешение изображения в точках на дюйм; k – коэффициент для пересчета дюймов в миллиметры.

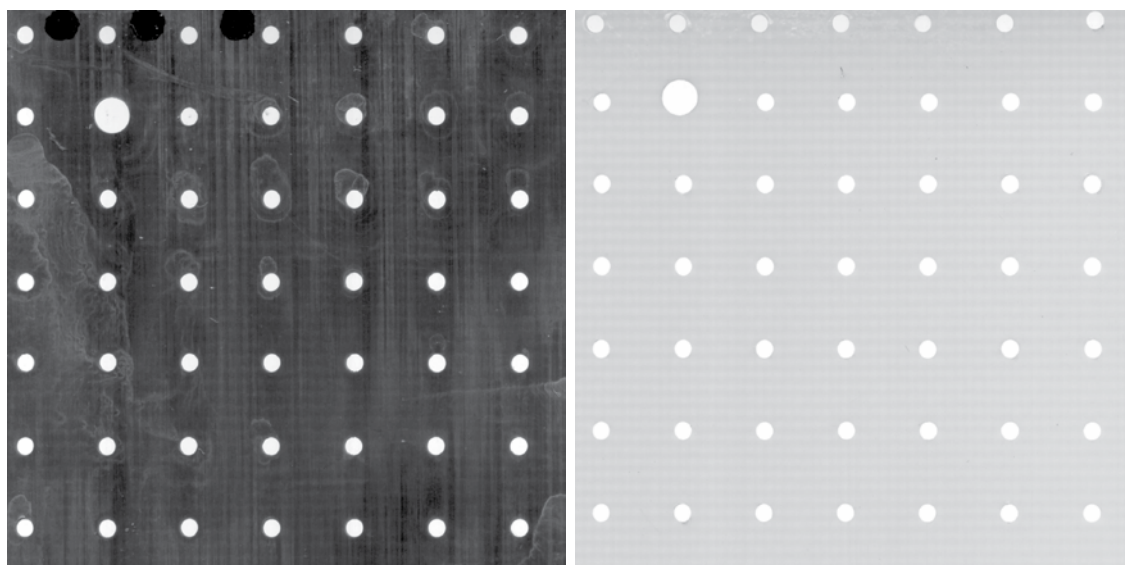


Рис. 3. Изображения плат: слева – эталонное, справа – после этапа травления. Из-за большой величины изображений на рисунке представлена лишь их часть

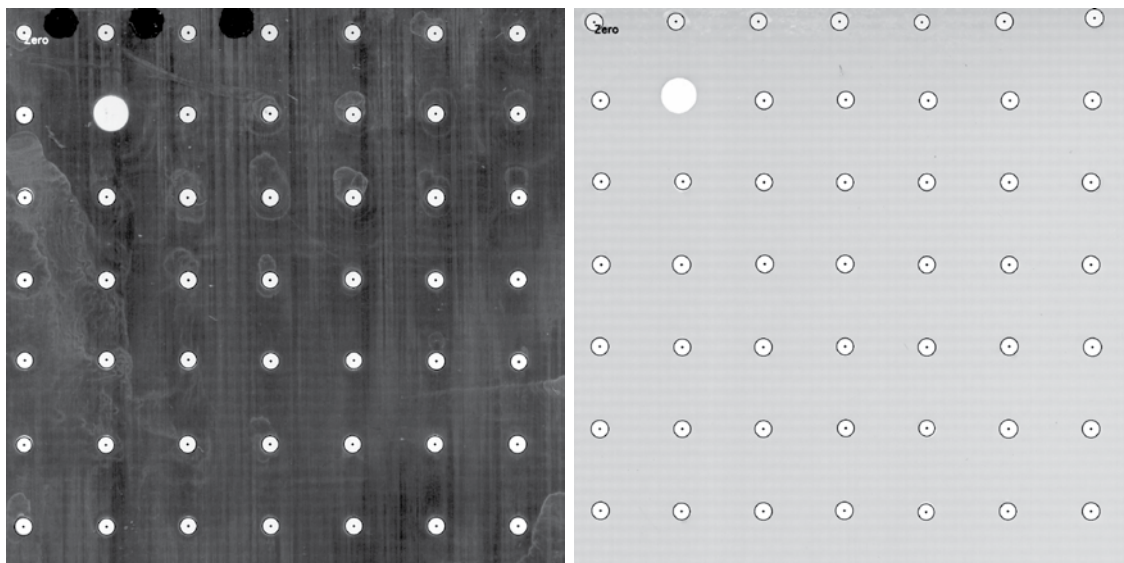


Рис. 4.
Позиционирование нулевого отверстия: слева – эталон, справа – после этапа травления

На рис. 5 приведено графическое представление результатов, полученных по формулам 1 и 2, показывающее как величину, так и направление смещения.

В ходе проведенного эксперимента была получена статистика по 12 заготовкам с более чем 28 тыс. успешно распознанных отверстий. Статистическая обработка результатов выявила среднее значение модуля вектора деформации, равное 0,172 мм.

Экспериментально полученные значения величины модуля вектора деформации для каждой из 12 плат, а также среднее значение модуля приведены на рис. 6.

Разброс значений модуля вектора деформации в каждой из плат относительно среднего значения не превышает

5% (рис. 7), что свидетельствует о достоверности полученных данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный метод позволяет определить и оценить уровень деформации печатной платы без применения физических воздействий на нее. Метод предполагает работу на реальных печатных платах, в отличие от методов расчета математической модели деформации печатной платы в САЕ-системах. Несомненным достоинством метода является низкая стоимость реализации и высокая скорость обработки анализируемых данных.

Следует отметить, что информация, полученная в ходе описанного в статье этапа исследования, дает возможность лишь общей оценки величины деформации,

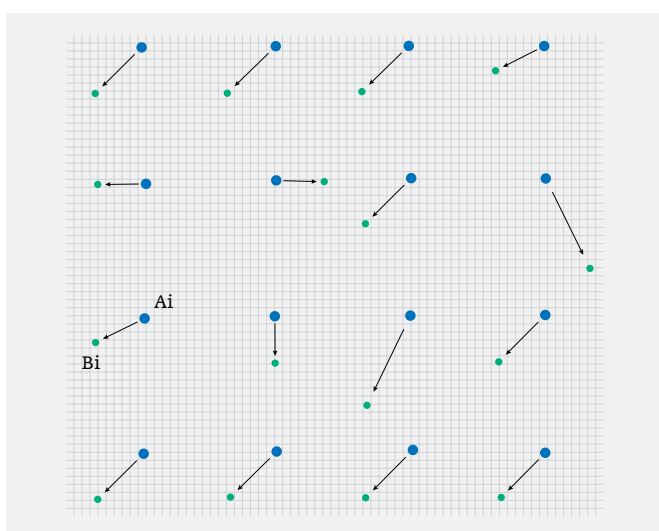


Рис. 5. Отображение смещения отверстий на печатной плате: стрелки показывают направление смещения центров отверстий на анализируемом изображении относительно эталонного

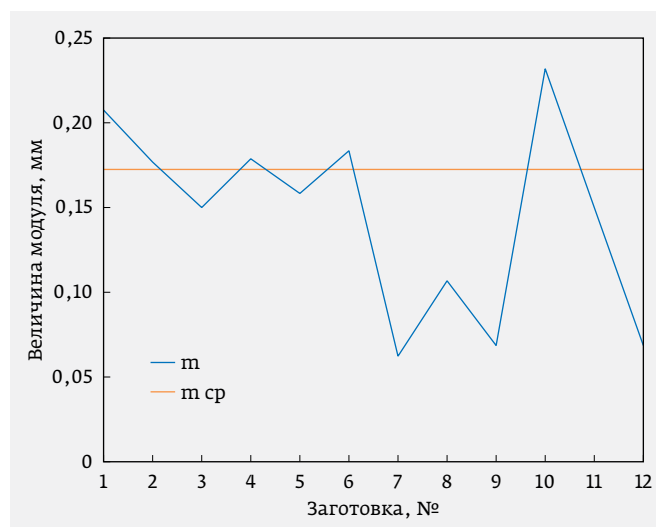


Рис. 6. Средние значения величины модуля вектора деформации

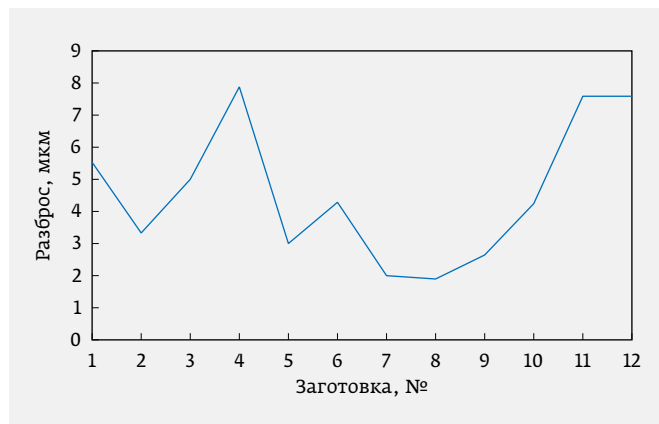


Рис. 7. Разброс относительно среднего значения модуля вектора деформации

получаемой в результате проведения выбранного этапа технологического процесса. Так, по приведенным здесь данным можно сделать вывод, что использованный в эксперименте базовый материал со средним значением модуля вектора деформации, равным 0,172 мм, непригоден (или ограниченно пригоден) уже для изготовления ПП 4 класса точности.

Эта информация определенно полезна сама по себе, поскольку позволяет предотвратить материальные

и временные потери, связанные с попыткой изготовления ПП из неподходящего материала. Но на ее основании можно также сделать вывод о необходимости принятия мер по ограничению деформаций еще на этапе проектирования печатной платы. Продолжая работу, часть которой описана в статье, авторы планируют, во-первых, доработать свою методику для получения более детализированных данных о деформациях печатной платы и их распределении по ее поверхности и, во-вторых, предложить разработчику ПП средство для их минимизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 53429-2009. ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ. Основные параметры конструкции. – М.: Стандартинформ.
2. **Бегер Е.** Деформации печатных плат: как их предотвратить на этапе конструирования // Печатный монтаж. 2009. № 1. С. 14–17.
3. **Ronen A.** Predicting Deformation and Strain Behavior in Circuit Board Bend Testing // Army Research Laboratory. 2012.
4. IPC/JEDEC-9704. Printed wiring board strain gage test guideline. 2005.
5. IPC/JEDEC-9702. Monotonic bend characterization of board-level interconnect. 2004.
6. **Mordvintsev A., Abid K.** OpenCV-Python Tutorials Documentation. Release 1.