

УДК 621.396.69

ББК 32.844 К85

Адаптация технического процесса подготовки производства печатных плат высокого класса точности под заданные параметры геометрической стабильности базового материала.

В.А. Можаров, К.В. Шуман

Аннотация

В статье обозначены основные проблемы при производстве современных печатных плат (ПП), выделены доминирующие факторы техпроцесса, влияющие на их качество, а также предложены пути повышения стабильности техпроцесса, которые ведут к снижению издержек и повышению качества выпускаемой продукции. Представлена методика оценки геометрической стабильности базового материала многослойных печатных плат (МПП), методика обработки полученных результатов и использование их для адаптации подготовки производства.

Ключевые слова: геометрическая стабильность; базовый материал; печатные платы; подготовка производства; межслойные соединения; система совмещения.

Введение

Миниатюризация – одно из основных направлений развития современных электронных приборов, которая достигается увеличением количества слоёв МПП и уменьшением толщины слоёв, ширины проводников и диаметров переходных отверстий. Вследствие развития автоматизированных систем проектирования, стала возможна быстрая разработка сложных конструкций, без привлечения значительных человеческих ресурсов. Как результат - возросла потребность производства небольшими партиями МПП высокого класса точности.

В процессе производства МПП изменение размеров пакета при прессовании дает наибольшие расхождения и, как следствие, имеет приоритетное влияние на выход годной продукции (рисунок 1).

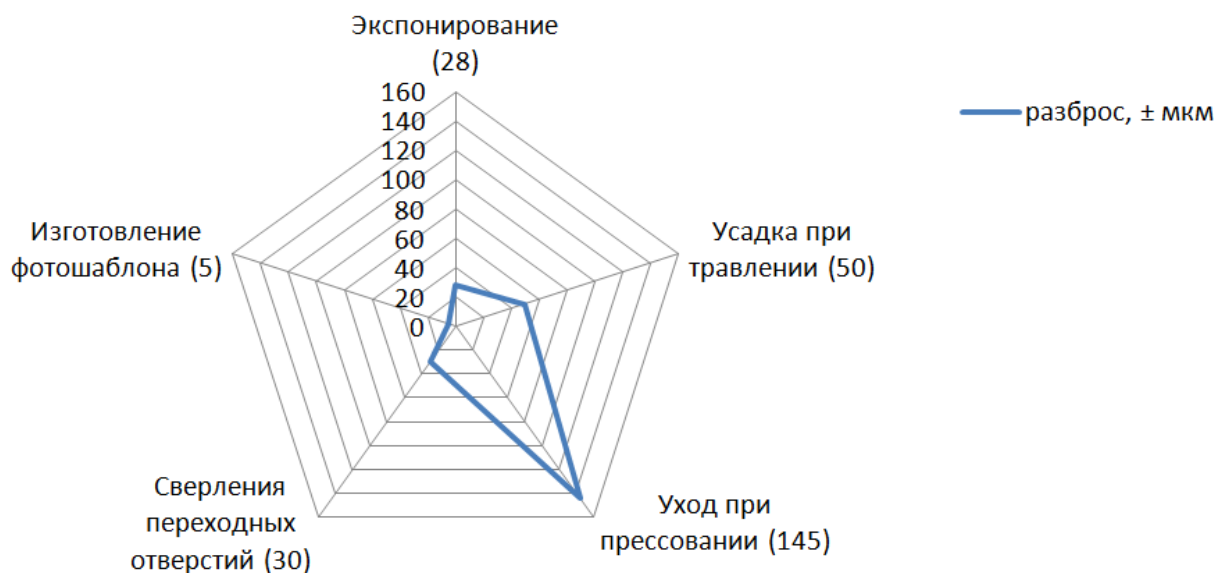


Рисунок 1. Влияние различных техпроцессов на точность производства

Поэтому для обеспечения возможности быстрого производства качественных печатных плат необходимо уметь оценивать геометрическую стабильность базового материала после определённых технологических операций, а также использовать полученную оценку при подготовке производства МПП.

Оценка стабильности базового материала.

Усадка заготовки после технологического этапа прессования зависят от геометрической стабильности базового материала. Оценка этой стабильности в общих чертах описана в стандарте Международной электротехнической комиссии (МЭК) IEC-61189-2, пункт 2X02. Метод оценки геометрической стабильности базового материала создан в 2006, и представляет собой набор общих правил и определяет лишь основные этапы. Для применения в конкретном производстве при тестировании определенного материала необходимо дополнять метод, согласно параметрам технологического процесса и свойствам ламината. В общем виде, процедура испытания, разработанная МЭК, представлена ниже:

Образцы для испытаний.

Образцы должны быть вырезаны из листа на расстоянии не менее 25 мм от края. Образцы должны быть из испытываемого материала, и вырезаны в различных областях листа тестируемого материала, как показано на рисунке 2. Одна сторона образца должна быть вырезана параллельно основе стеклоткани испытываемого материала, и помечена для дальнейшей идентификации.

Размер образцов должен быть согласован заранее, но образцы должны быть, как минимум 300 мм в длину и в ширину. Должны испытываться три образца.

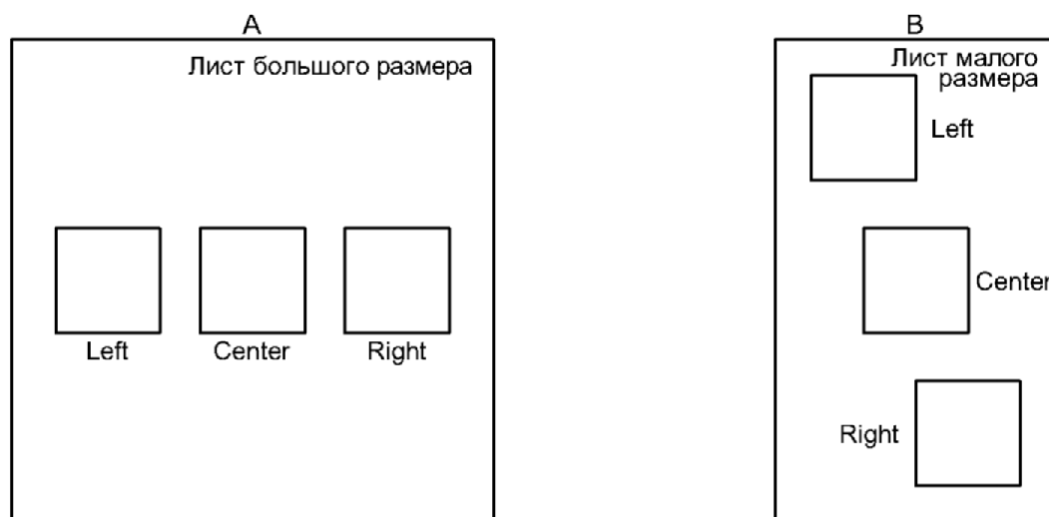


Рис.2. Расположение образцов на листе для проведения испытания на стабильность размеров (Left/Center/Right – левый/центральный/правый образцы)

Испытательное оборудование и материалы.

Должны использоваться следующие испытательные оборудование и материалы:

- Средства нанесения соответствующей маркировки (оборудование для сверления, маркировочные чернила);
- Оптический или механический измерительный прибор с погрешностью измерения не более 13 мкм;
- Печь с циркуляцией воздуха, способная поддерживать температуру $(150 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Порядок испытания.

Порядок испытания включает в себя маркировку образцов, стабилизацию и кондиционирование перед измерением, измерения в начале и в конце процесса изготовления МПП и непосредственно процесс изготовления.

Нанести соответствующие маркировки (реперные знаки, просверлить отверстия) в каждом углу образца, на расстоянии не менее 20 мм от краев, так, чтобы они сформировали

квадрат со сторонами (260 ± 5) мм. Нанесенные метки должны быть пронумерованы 1-2-3-4 (см. рисунок 3).

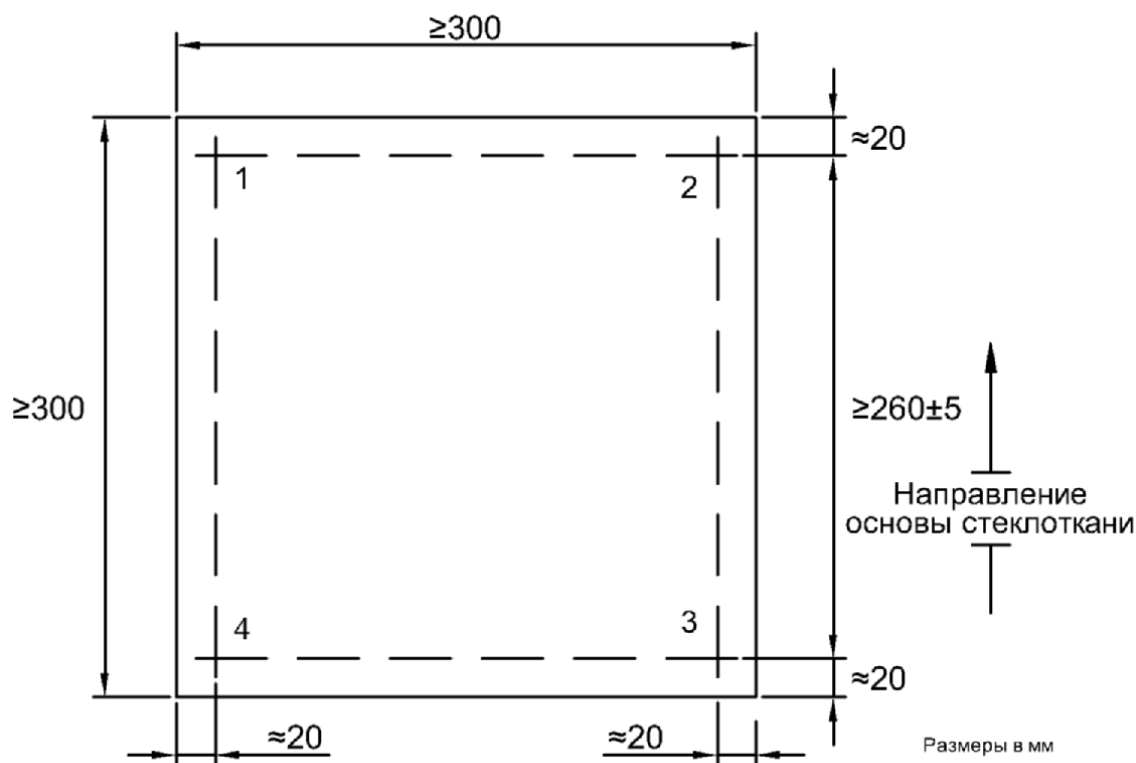


Рис.3. Расположение меток на образцах при проведении испытания на стабильность размеров

Стабилизировать образцы в печи в течение (180^{+10}_0) минут при температуре $(150 \pm 5)^\circ\text{C}$ и затем кондиционировать в течение, по крайней мере, 3 часов, при температуре $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$ и относительной влажности $(50 \pm 2)\%$.

Измерить начальные длины расстояния между метками (рисунок 3) 1-2, 2-3, 3-4, 4-1.

Стабилизировать образцы в печи в течение (180^{+10}_0) минут при температуре $(150 \pm 5)^\circ\text{C}$ и охладить до комнатной температуры.

Защитить измерительные метки квадратами из материала, устойчивого к следующим стадиям процесса, с длиной стороны не более 13 мм.

Произвести травление оставшейся области, очистить, оксидировать согласно соответствующему процессу изготовления.

Провести прессование образцов, используя два слоя препрега и один слой медной фольги или односторонний слоистый материал, фольгированный медью, чтобы

сформировать МПП с четырьмя слоями. Одна пресс-форма должна содержать, по крайней мере, три МПП, разделенные между собой разделительными стальными пластинами, прокладочными пленками и термобуфером (рисунок 4).

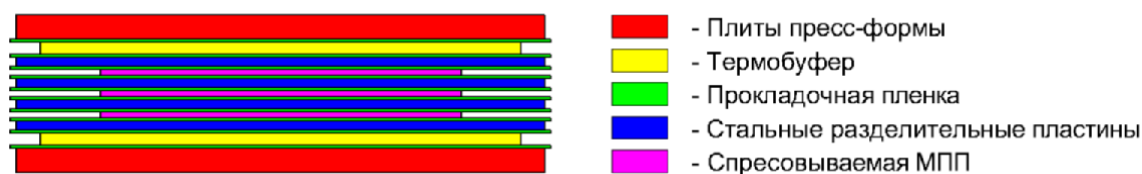


Рис.4. Схема пресс-формы при проведении испытания на стабильность размеров

Тип препрега (например, стеклоткань 2112 или 7628), тип внешнего медного слоя (фольга или слоистый материал) и параметры цикла прессования должны быть установлены в соответствии с техпроцессом, принятым на производстве.

Разобрать пресс-формы, удалить разделительные пластины, прокладочную пленку и термобуфер. Обрезать облой по первоначальному размеру образца и произвести травление медной поверхности.

Кондиционировать в печи в течение (180^{+10}_0) минут при температуре $(150 \pm 5)^\circ\text{C}$ и затем кондиционировать, по крайней мере, в течение 3 часов, при температуре $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$ и относительной влажности $(50 \pm 2)\%$.

Измерить конечные длины расстояний между метками (рисунок 3): 1-2, 2-3, 3-4, 4-1.

В данной методике не отражены некоторые моменты, которые имеют серьезное влияние на конечный результат, а, следовательно, и на достоверность данных.

Первым из них является размер контрольных меток. Т.к. в процессе измерения используется оптический измеритель, то, например, при сверловке контрольных меток, диаметр просверленного отверстия не может быть слишком мал или велик. Поэтому, после нескольких тестовых прогонов методики был выбран диаметр 2 мм, т.к. он вносит наименьшие погрешности при измерении при использовании оптического измерителя.

Вторым существенным моментом является способ фиксации и совмещения элементов межсоединений собранного пакета МПП перед прессованием. В общем, способы совмещения можно разделить на штифтовые (PIN-LAN) и бесштифтовые (MAS-LAM). Штифтовые способы подразумевают под собой жесткую (внатяг) или нежесткую (слотовую) фиксацию пакета МПП относительно пресс-формы при помощи штифтов. Самые распространенные способы штифтового совмещения представлены на рисунке 5.

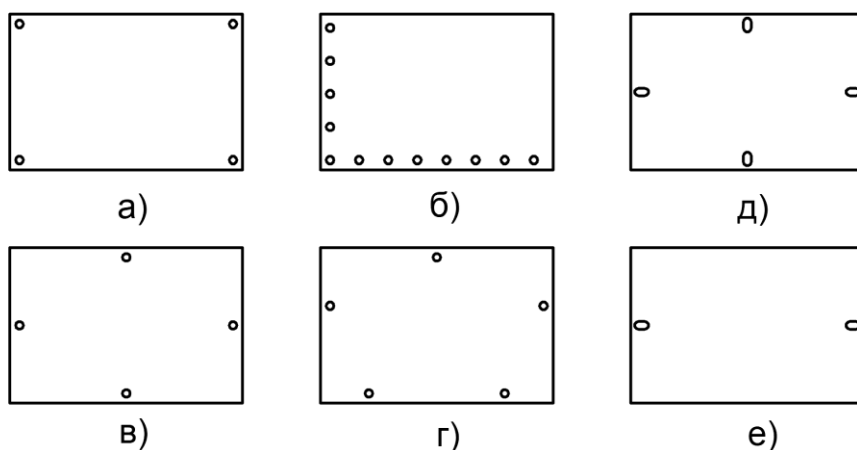


Рис.5. Штифтовые способы совмещения межслойных соединений в пакете МПП: а) по углам; б) L-конфигурация; в) по четырём точкам; г) по пяти точкам; д) и е) слотовые системы по четырём и двум точкам соответственно

Бесштифтовой способ совмещения заключается в предварительной склейке и последующего свободного размещения пакета в пресс-форме. У каждого способа имеются свои преимущества и недостатки, и каждый по своему влияет на итоговое изменение геометрии базового материала после технологического этапа прессования. В представленной выше методике об этом не говорится ни слова, поэтому было решено использовать тот метод фиксации, который принят на производстве. И положено, что результаты полученные при определенном способе фиксации пакета не верны при использовании другого.

Методы обработки результатов

В результате выполнения методики оценки геометрической стабильности, с учётом вышеописанных дополнений, мы получаем следующие данные для n-го количества экспериментов:

- Длины изначальных расстояний 1-2, 2-3, 3-4, 4-1 (L).
- Длины расстояний 1-2, 2-3, 3-4, 4-1 после этапа прессования (L').

Для последующей обработки необходимо вычислить коэффициент усадки, который численно равен отношению длины расстояния после определённого технологического процесса к изначальной длине расстояния между метками. Длины расстояний 1-2 и 4-3 – это длины по оси утка (условно обозначим X), а 4-1 и 2-3 по оси основы соответственно (условно обозначим Y). При последующем расчете коэффициенты группируются согласно оси, на которой они расположены.

Коэффициент усадки после прессования (p) рассчитывается следующим образом:

$$p_x = \frac{L_{1-2}'}{L_{1-2}} \text{ или } p_x = \frac{L_{4-3}'}{L_{4-3}},$$
$$p_y = \frac{L_{4-1}'}{L_{4-1}} \text{ или } p_y = \frac{L_{2-3}'}{L_{2-3}},$$

В результате расчета коэффициентов, получаем два набора данных, в каждом из которых $2n$ элемента: $P_x = \{p_{x1}, \dots, p_{x2n}\}$ и $P_y = \{p_{y1}, \dots, p_{y2n}\}$.

Принимая во внимание, что большинство технологических погрешностей подчиняются нормальному закону распределения, рассчитываем математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение для множеств P_x и P_y .

В результате получаются параметры, используемые в дальнейшем для регулирования техпроцесса производства МПП, параметры:

1. m_x – математическое ожидание коэффициента усадки по оси утка после этапа прессования (рассчитывается из множества P_x);
2. m_y – математическое ожидание коэффициента усадки по оси основы после этапа прессования (рассчитывается из множества P_y);
3. σ_x – среднеквадратичное отклонение коэффициента усадки по оси утка после этапа прессования (рассчитывается из множества P_x);
4. σ_y – среднеквадратичное отклонение коэффициента усадки по оси основы после этапа прессования (рассчитывается из множества P_y).

Способы использования полученных параметров базового материала

Как было упомянуто в начале, существенно возросла потребность в производстве МПП высокого класса точности. Размеры элементов конструкции МПП оговариваются в ГОСТ Р 53429-2009, и наименьшие номинальные размеры элементов проводящего рисунка ПП в зависимости от класса точности приведены в таблице 1, а ряд предпочтительных диаметров монтажных, переходных металлизированных и неметаллизированных отверстий в мм выглядит следующим образом: 0,05; 0,075; 0,1; 0,2; 0,3 и т.д. с шагом 0,1 мм.

Наименование параметра	Наименьшие номинальные значения размеров для класса точности						
	1	2	3	4	5	6	7
Ширина проводника	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10	0,075	0,050
Расстояние между проводниками	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10	0,075	0,050
Гарантийный пояс контактной площадки	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025	0,020	0,015

Как видно, размеры элементов конструкции ПП имеют порой очень малые размеры, сопоставимые по величине с размером погрешности, вносимой технологическим оборудованием и геометрической нестабильностью материала. В этом и заключается основная проблема увеличения плотности межсоединений в многослойных печатных структурах, особенно плотности межслойных соединений.

Для обеспечения надежности межслойных соединений в МПП обычно размер контактной площадки рассчитывают по следующей формуле [3] (так же см. рисунок 6):

$$J_{min} = M + 2G + 2T,$$

где J_{min} – минимальный диаметр контактной площадки, мм; M – диаметр сверления, мм; G – минимальная ширина пояса охвата металлизированного отверстия контактной площадкой, мм; T – величина суммарной погрешности технологического характера, мм.

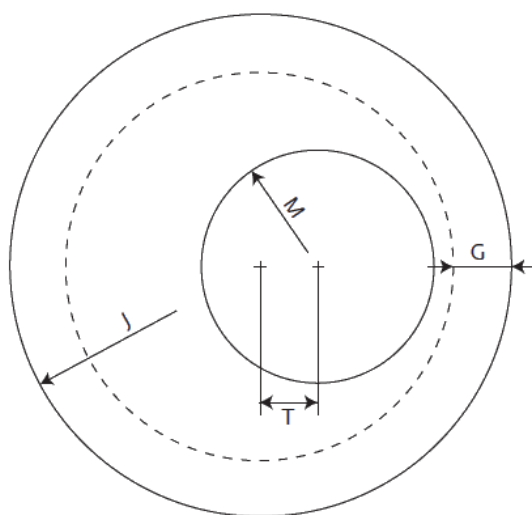


Рис.6. Схема контактной площадки с переходным отверстием

Погрешности технологического характера возникают по разным причинам: погрешность при позиционировании инструмента, неточности при воспроизведении

оригинала, биение рабочего инструмента и т.д. Сюда же относят погрешности, вызванные геометрической нестабильностью базового материала МП (пример влияния стабильности материала на размер контактной площадки показаны на рисунке 7). В общем виде, величина суммарной погрешности технологического характера рассчитывается по следующей формуле [5]:

$$T = \sqrt{\sigma_1^2 + \dots + \sigma_n^2},$$

где σ_n – среднеквадратичное отклонение погрешности, вносимой тем или иным оборудованием или технологическим процессом в мм.

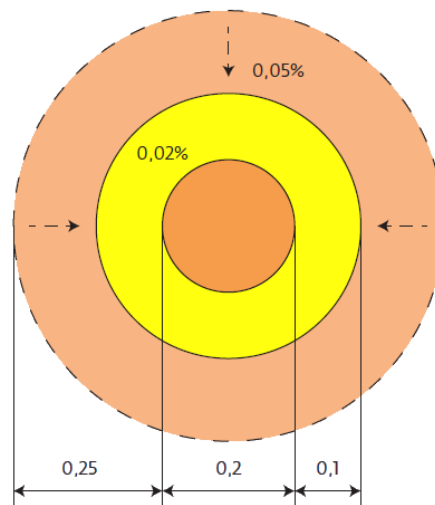


Рис. 7. Пример влияния геометрической стабильности базового материала в % на выбор размера контактной площадки в мм.

В работах к.т.н. Иевлева В.И. по анализу точности производства [1], так же было показано, что разброс технологической погрешности увеличивается с ростом размера обрабатываемой заготовки.

Из рисунка 8 следует допустимость предположения о том, что фактическую величину среднеквадратичного отклонения на заготовке определённого размера нужно рассчитывать из среднеквадратичного отклонения коэффициента усадки материала, из которого будет изготавливаться слой МПП.

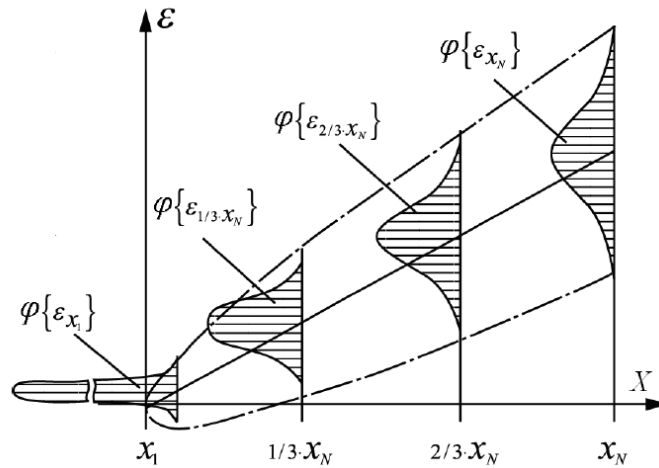


Рис.8. Теоретическая точностная диаграмма размерной нестабильности базового материала, где ε – смещение измеряемой метки, X – размер заготовки по оси x , φ – плотность вероятности распределения смещения измеряемой метки

Предлагается, на этапе расчета размера контактных площадок слоев ПП, учитывая данные о геометрической стабильности материала, использовать контактную площадку не круглой, а эллипсоидной формы (рисунок 9). Это обусловлено тем, что в базовых материалах в качестве армирующей основы зачастую используют стеклоткань, и следовательно в зависимости от направления волокон (ось утка или ось основы) проявляется различная величина стабильности геометрических размеров.

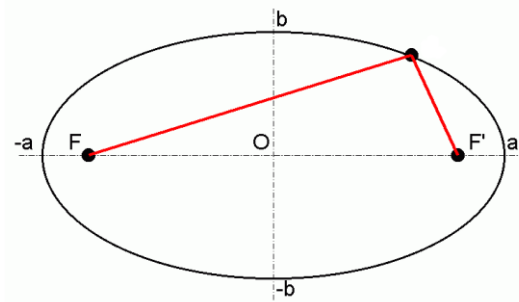


Рис.9. Схема эллипса

Эллипс описывается двумя параметрами: a и b , где a – большая (совпадает с осью утка), а b – малая (совпадает с осью основы) оси. Для контактных площадок эти параметры предлагается рассчитывать по следующим формулам:

$$a = M/2 + G + [2,3]\sigma_x \cdot X + T,$$

$$b = M/2 + G + [2,3]\sigma_y \cdot Y + T,$$

где σ_x – среднее квадратичное отклонение коэффициента усадки по оси утка после этапа прессования; σ_y – среднее квадратичное отклонение коэффициента усадки по оси основы после этапа прессования; X – размер заготовки по оси x ; Y – размер заготовки по оси y .

Среднее квадратичное отклонение следует использовать, умножая на 3, для МПП 1÷5 класса точности, и умножая на 2 для МПП 6,7 класса точности, т.к. такой подход позволит увеличить надежность межсоединений до максимально возможного уровня. На рисунке 10 наглядно показано, какой процент вероятности попадания дает двойная и тройная σ для нормального распределения.

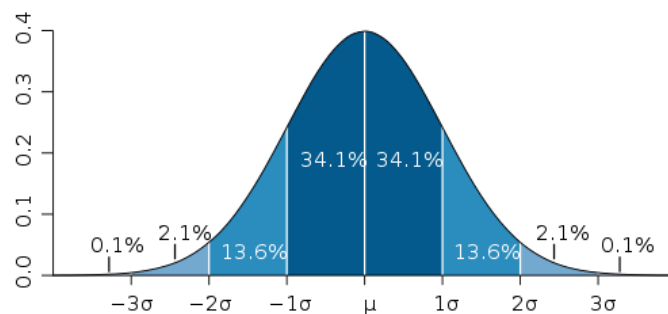


Рис.10. График плотности вероятности нормального распределения и процент попадания случайной величины на отрезки равные среднее квадратическому отклонению.

На рисунке 11 представлен пример контактных площадок стандартной и предлагаемой формы в виде эллипса.

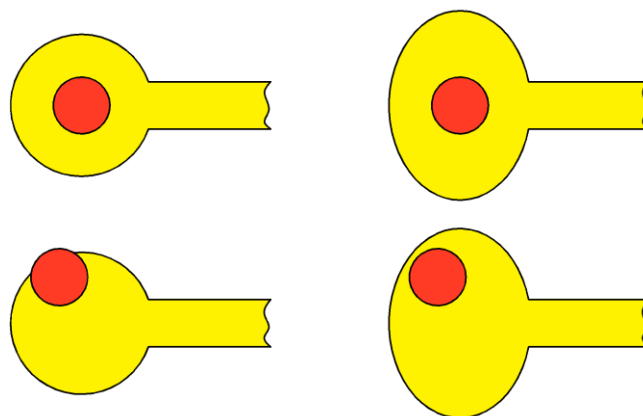


Рис.11. Виды контактных площадок: слева – площадки стандартной круглой формы, справа – контактные площадки эллипсоидной формы. Красным обозначено переходное отверстие.

Параметры контактных площадок эллипсоидной формы должны быть изначально рассчитаны и применены конструктором МПП, т.к. основным их преимуществом по

сравнению с обычными контактными площадками является то, что они при одинаковом уровне надежности обеспечивают улучшения трассировочной способности.

Математическое ожидание коэффициента усадки базового материала показывает величину усадки этого материала после определённого технологического этапа. Следовательно, предупреждая усадку материала, необходимо вводить масштабный коэффициент для соответствующих фотошаблонов. Рассчитывается он для каждой оси (основы или утка) отдельно, по формуле, приведённой ниже:

$$k_x = 1/m_x,$$

$$k_y = 1/m_y,$$

где k – масштабный коэффициент по определенной оси.

Это делается на этапе технологической подготовки производства при помощи специального программного обеспечения, и позволяет избавиться от так называемого ухода слоев в процессе прессования и травления слоёв, как следствие, повышая надежность МПП в целом.

Выводы

Каждая марка и типоразмер базового материала имеет свои характеристики геометрической стабильности, которые к тому же сильно зависят от техпроцесса, используемого на том или ином производстве. Поэтому методика оценки и принципы адаптации техпроцесса – необходимые инструменты технолога, без которых невозможно представить производство дешевой современной электроники высокого класса точности. Увеличение надежности и трассировочной способности, предложенные в статье, будут особенно заметны на платах высокого класса (5-7) точности, и поэтому рекомендуются на производствах высокопроизводительной электроники.

Библиографический список

1. Анализ точности производства электронных средств. Учебное пособие / В. И. Иевлев. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2010. 103 с.
2. П. Семенов. Производство печатных плат. Мифы и реальность. — Технологии в электронной промышленности, № 1/2010.
3. А.М. Медведев, В.А. Можаров. Плотность межсоединений электронных компонентов. — Печатный монтаж (Приложение к Журналу «Электроника. НТБ»), № 3/2011.

4. А.М. Медведев, В.А. Можаров. Многослойные печатные платы. Способы улучшения размерной стабильности материалов слоев. — Производство электроники: технологии, оборудование, материалы, № 5/2011.
5. Основы регистрации данных и планирования эксперимента. Учебное пособие / Л.А. Славутский. Изд-во ЧГУ, Чебоксары, 2006. 200 с.
6. Печатные платы: Справочник. В 2-х книгах / Под редакцией К.Ф. Кумбза. Перевод с английского под редакцией д.т.н., проф. А.М. Медведева — М.: Техносфера, 2011.

Сведения об авторах

Можаров Владимир Александрович, аспирант Московского авиационного института (национального исследовательского университета), тел.: +7(926)565-28-17, e-mail: v.a.mozharov@gmail.com

Шуман Кирилл Вадимович, студент Московского авиационного института (национального исследовательского университета), тел.: +7(909)901-97-73, e-mail: shuman1c@mail.ru