

Обзор методов предупреждения деформаций печатных плат на этапе конструирования

Елизавета Бегер, зам. нач. инженерного отдела, ООО «НКАБ-ЭРИКОН»

Проблема появления деформаций печатных плат (ПП) не нова, и уже наработано множество способов, предупреждающих или уменьшающих эти дефекты на различных этапах технологического процесса производства. Статья адресована в первую очередь конструкторам и посвящена выявлению причин возникновения такого рода дефектов. В ней даются рекомендации по устранению деформаций на стадии проектирования ПП, рассматриваются различия в допустимых отклонениях от нормы при подготовке проекта платы к производству как на отечественных, так и на зарубежных заводах.

Деформации могут возникнуть по следующим причинам.

1. Несоответствие исходных материалов требованиям производителей печатных плат. Например, для стеклотекстолитов большое значение имеет перпендикулярность и равномерность плетения волокон стеклоткани; если стекловолокна не перпендикулярны и расположены неравномерно, это может привести к деформации материала при его нагреве и, как следствие, к деформации готовой печатной платы.

2. На этапе производства ПП; например, из-за воздействия высоких температур и влажности могут возникнуть такие виды деформаций как изгиб и скручивание.

3. Ошибки при проектировании ПП.

Почему об этом стоит задуматься? Появление деформаций может привести к разрыву проводников, существенно осложнить процесс монтажа SMD на печатную плату.

В основном, по сложившейся традиции, бороться с деформациями приходится технологам, хотя существует ряд приемов, способных если не предупредить совсем, то существенно уменьшить деформацию плат еще на этапе разработки конструкции.

Ситуация осложняется тем, что в настоящее время существуют различные пути реализации проектов плат. Имеются следующие два самых распространенных способа превращения проекта собственно в плату.

1. Плата разрабатывается и производится в России.

2. Плата разрабатывается в России, а производится за рубежом (чаще всего в азиатских странах, реже — в Европе).

Какие трудности возникают в этом отношении? По логике, если плата разрабатывается и производится в России, разработчик, конструктор и технолог должны руководствоваться требованиями ГОСТ. Трудности возникают при разработке плат в соответствии с требованиями ГОСТ и производстве на заводе, сертифицированном по международным стандартам. Такие предприятия, ориентированные на международные стандарты, находятся не только в зарубежных странах, но все чаще появляются и в России. В этих условиях между стандартами могут обнаружиться несоответствия, которые очень важно учесть еще на стадии разработки конструкции печатной платы.

На данный момент большинство поставщиков плат в странах Азии и Европы (а в последнее время и России) руководствуется требованиями стандартов IPC. Для того чтобы плата получилась такой, какой ее задумал конструктор, необходимо учитывать требования уже двух различных стандартов! Ниже описываются требования ГОСТ и IPC к деформациям печатных плат.

Выясним, что же собой представляют деформации изгиба и скручивания.

ДЕФОРМАЦИЯ ИЗГИБА

Изгиб — отклонение от плоскости ПП, характеризующееся близкой к цилиндрической или сферической форме кривизной при условии, что если изделие имеет прямоугольную форму, все его четыре угла лежат в одной плоскости (см. рис. 1).

ДЕФОРМАЦИЯ СКРУЧИВАНИЯ

Скручивание — деформация, характеризующаяся спиральным ис-

кривлением противоположных кромок основания печатной платы. Деформация проходит по диагонали таким образом, что один угол платы находится не в плоскости, в которой лежат три остальных угла. На рисунке 2 точки А, В и С лежат в одной плоскости.

ТРЕБОВАНИЯ ГОСТ В ОТНОШЕНИИ ДЕФОРМАЦИЙ ИЗГИБА И СКРУЧИВАНИЯ

Согласно ГОСТ 23752-79, деформации при изгибе и скручивании печатных плат с жестким основанием, за исключением зоны концевых контактов, на 100 мм длины не должны

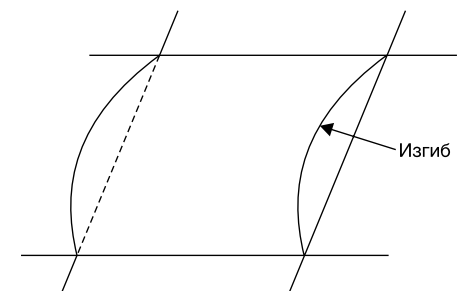


Рис. 1. Деформация изгиба

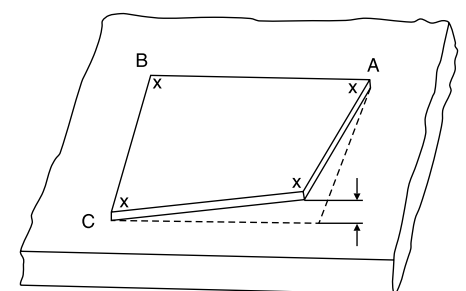


Рис. 2. Деформация скручивания

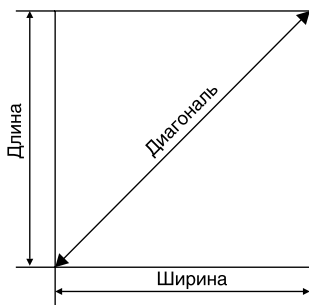


Рис. 3. Размеры печатной платы, необходимые для расчета значения деформации

превышать значений, указанных в таблице 1.

При использовании диэлектрика высшей категории качества на основе стеклоткани деформация не должна превышать 0,4 мм.

Деформация в зоне концевых контактов не должна быть более 0,5 мм, для МПП — 0,4 мм.

Отклонение от перпендикулярности сторон прямоугольной ПП не должно превышать 0,2 мм на 100 мм, если в КД не указаны другие значения.

КАК ОПРЕДЕЛИТЬ ВЕЛИЧИНУ ДЕФОРМАЦИИ ПО ГОСТ?

Проверку деформации на соответствие требованиям стандартов проводят при помощи линейки, вес которой при наложении на испытуемую ПП не изменяет значения ее деформации.

Линейку размером более длины диагонали используемой ПП накладывают на плату, лежащую вогнутой стороной вверх. Определяют место максимального отклонения вогнутой поверхности от линейки и измеряют его с точностью до 0,1 мм. Измеряют расстояние между точками касания линейки с поверхностью ПП с точностью до 0,5 мм. Значение деформации

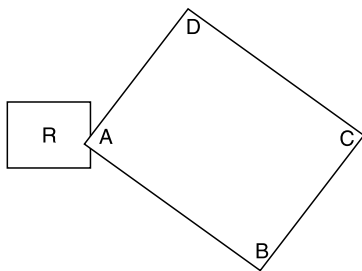


Рис. 5. Измерение максимального отклонения угла платы от плоскости при деформации скручивания

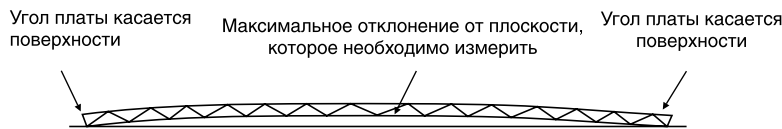


Рис. 4. Измерение максимального отклонения от плоскости

ПП на 100 мм длины, К, определяют по формуле:

$$K = \frac{100^2 \cdot h}{L^2},$$

где h — максимальное расстояние от поверхности ПП до линейки, мм; L — расстояние между точками опоры линейки, мм.

Для измерения значения деформации в зоне концевых контактов линейку располагают над концевыми контактами параллельно краю ПП.

Кроме того, допускается измерять значение деформации при помощи калибровочной щели.

Проверку отклонения от перпендикулярности сторон прямоугольной ПП на соответствие требованиям стандартов проводят путем сравнения ПП с калиброванными угольниками, один из которых выполнен с верхним предельным отклонением от перпендикулярности, другой — с нижним.

ТРЕБОВАНИЯ ИРС

Согласно требованиям ИРС-А-600G, для печатных плат, на которых используются поверхностно монтируемые компоненты, деформации при изгибе и скручивании ПП не должны превышать 0,75%. Для всех остальных плат деформации при изгибе и скручивании не должны превышать 1,5%, независимо от толщины печатной платы.

КАК ОПРЕДЕЛИТЬ ВЕЛИЧИНУ ДЕФОРМАЦИИ ПО ИРС?

Для того чтобы определить значение деформации изгиба, плату необходимо поместить на ровную поверхность и измерить значения длины,

ширины и диагонали (см. рис. 3). Значения длины и ширины нам понадобятся для определения относительной деформации изгиба, а значения диагонали — для определения относительной деформации скручивания.

Затем следует измерить отклонение от плоскости в самой верхней точке так, как показано на рисунке 4.

Концы платы должны касаться поверхности, на которой лежит плата. Измеренное значение максимального отклонения обозначается как R_L, если это отклонение по длине, или R_w, если по ширине.

После всех необходимых измерений рассчитаем значение деформации изгиба по формуле:

$$B_L = \frac{R_L}{L} \cdot 100 \text{ или } B_w = \frac{R_w}{W} \cdot 100.$$

Например, для прямоугольной ПП размером 50×200 мм при деформации по длине L = 200 мм и R_L = 1,5 мм значение изгиба равно

$$B_L = \frac{1,5}{200} \cdot 100 = 0,75\%.$$

Такая деформация допускается стандартом ИРС даже для печатных плат с поверхностно монтируемыми компонентами.

Далее определим деформацию скручивания. Для этого нам понадобится измеренная ранее длина диагонали D. Измеряем максимальное отклонение от плоскости, как показано на рисунке 5.

Табл. 1. Предельные значения деформации по ГОСТ

Толщина печатной платы d, мм	Деформация печатной платы, мм				
	ОПП		ДПП		МПП
	На основе бумаги	На основе стеклоткани	На основе бумаги	На основе стеклоткани	
1,0 < d ≤ 1,5	1,5	0,9	0,9	0,8	0,5
1,5 < d ≤ 2,0	1,2	0,8	0,6	0,6	0,4
d > 2,0	0,9	0,6	0,5	0,5	0,4

Примечание. Значения деформации для ПП толщиной 1,0 мм и менее не устанавливаются.



Рис. 6. Печатная плата без баланса меди

В данном случае R — максимальное отклонение угла платы от плоскости; B, C, D — углы платы, лежащие в одной плоскости. При измерении деформации эти углы должны касаться ровной поверхности.

Величина деформации скручивания определяется по формуле

$$\text{Twist} = \frac{R}{2D} \cdot 100,$$

где Twist — скручивание.

Например, для прямоугольной печатной платы, диагональ которой равна 200 мм, а максимальное отклонение от плоскости — 3 мм, значение деформации составит

$$\text{Twist} = \frac{3}{2 \cdot 200} \cdot 100 = 0,75\%.$$

Такая деформация допускается стандартом IPC даже для печатных плат с поверхностно монтируемыми компонентами.

О ЧЕМ ЭТО ГОВОРИТ?

Требования ГОСТ и IPC к данному виду деформаций являются различными. Это необходимо учитывать, если разработанные по ГОСТ платы планируется заказать на заводе, работающем в соответствии с международным стандартом IPC.

— Необходимо помнить, что ГОСТ не регламентирует значения деформаций изгиба и скручивания для печатных плат толщиной менее 1,00 мм, а IPC регламентирует!

— Величина деформации при изгибе и скручивании имеет значение при использовании поверхностно монтируемых компонентов. Слишком большие деформации не позволят печатной плате остаться достаточно плоской для нанесения паяльной пасты через трафарет (в специальном принтере) и для уста-

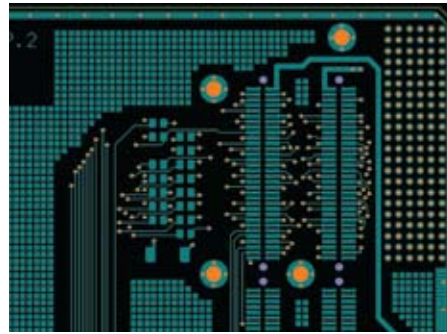


Рис. 7. Печатная плата с балансом меди

новки поверхностно монтируемых компонентов (в автоматическом установщике). Стандарт IPC предъявляет различные требования к величине деформации плат с поверхностным монтажом и без него, тогда как ГОСТ особо не оговаривает этот аспект.

— С другой стороны, значения деформации изгиба и скручивания очень важны для плат с концевыми контактами. На этом аспекте делается акцент в требованиях ГОСТ, в то время как IPC определяет их такими же, как и для плат с поверхностным монтажом или без него.

КАКИМ ОБРАЗОМ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРЕДУПРЕДИТЬ СЛИШКОМ БОЛЬШИЕ ДЕФОРМАЦИИ ГОТОВОЙ ПП?

Существует множество способов, предупреждающих и уменьшающих деформации на разных этапах технологического процесса производства печатных плат. Эти способы давно и успешно внедрены и широко используются.

Но, оказывается, существуют приемы, использование которых позволит если не устранить, то, по меньшей мере, существенно снизить деформацию еще на стадии проектирования. Рассмотрим последовательно каждый из них.

1. Баланс меди

Этот метод предусматривает заполнение свободных от меди областей на печатной плате медной фольгой (см. рис. 6 и 7). Если проводящий рисунок неравномерный, толщина слоя меди в готовой продукции различная в разных участках печатной платы, что может даже привести к невозможности производства этой ПП. Неравномерность рисунка

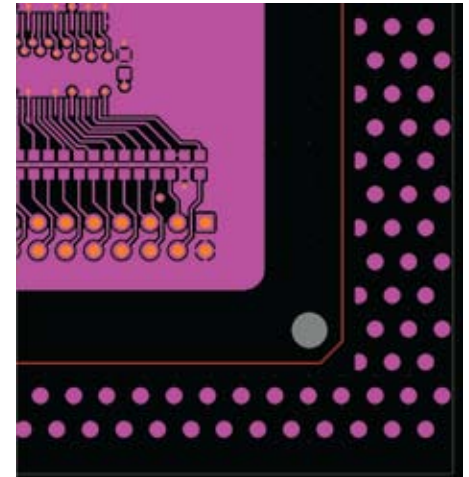


Рис. 8. Пример заполнения медью технологических полей печатной платы

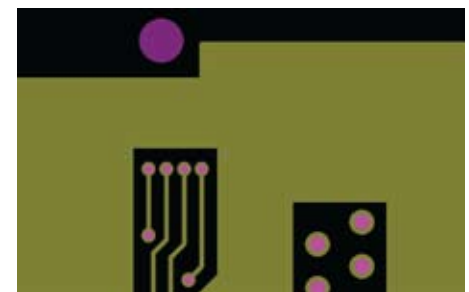


Рис. 9. Заполнение свободных мест медной фольгой в виде залитого полигона

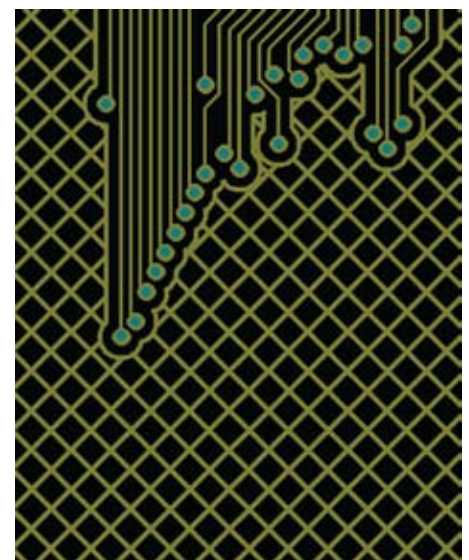


Рис. 10. Заполнение свободных мест медной фольгой в виде сетки

медных проводников приводит к деформации печатных плат (изгибу и скручиванию). Рисунок внутренних слоев должен также быть равномерным для того, чтобы снизить риск деформации. Правильный и сбалансированный печатный рисунок выравнивает поверхность платы.

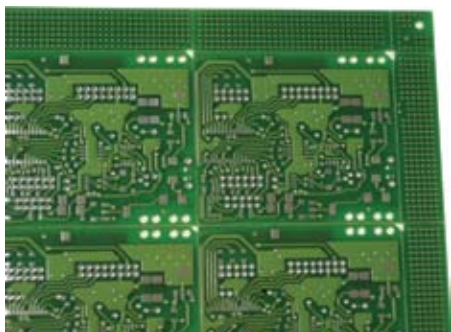


Рис. 11. Пример готовой панели с хорошим балансом меди

Если поставка ПП планируется в панелях с технологическими полями, то и на полях необходимо добавлять медь для баланса, чтобы предупредить возникновение деформации изгиба и скручивания. Примеры заполнения медью свободных областей приведены на рис. 8, 9, 10.

Изменить дизайн печатных плат на стадии разработки не представляет особой трудности.

При проектировании платы в определенной САПР проще всего использовать заливку полигона (как сплошную, так и сетчатую) — это стандартная опция всех систем проектирования печатных плат.

Заливку технологических полей легче выполнить на стадии подготовки проекта к производству, когда выполняется мультипликация платы.

На рисунке 11 представлен пример готовой панели с хорошим балансом меди.

2. Иммерсионные покрытия

Для печатных плат, финишная толщина которых 0,8 мм и менее, целесообразнее использовать иммерсионные покрытия (например, покрытия ENIG — Electroless Nickel/Immersion Gold — иммерсионное золото по подслою никеля или IS — Immersion Silver — иммерсионное серебро). Применение всеми любимого «стандартного» горячего лужения (HAL или HASL — Hot Air (Solder) Leveling) способствует увеличению деформации. Это связано с высокой температурой процесса горячего лужения, которая для бессвинцового лужения (lead-free HASL) может достигать 270°C.



Паяльная маска
Медь 18 мкм
Препрег 2116
Медь 35 мкм
Диэлектрик FR-4 0,1 мм
Медь 35 мкм
Препрег 2116
Медь 35 мкм
Диэлектрик FR-4 0,1 мм
Медь 35 мкм
Препрег 2116
Медь 18 мкм
Паяльная маска



Паяльная маска
Медь 18 мкм
Препрег 2116
Медь 105 мкм
Диэлектрик FR-4 0,2 мм
Медь 105 мкм
Препрег 2116
Медь 35 мкм
Диэлектрик FR-4 0,1 мм
Медь 35 мкм
Препрег 2116
Медь 18 мкм
Паяльная маска

Рис. 12. Симметричная (слева) и несимметричная (справа) структуры

3. Симметричная структура для МПП

Рекомендуется использовать симметричную структуру для многослойных печатных плат (см. рис. 12).

Применение несимметричной структуры ведет к недопустимо большому изгибу платы.

На левом рисунке видна абсолютно симметричная структура — центром является препрег 2116, относительно которого используются одинаковые симметрично расположенные фольгированные диэлектрики, препреги и электролитическая медная фольга внешних слоев. Можно с уверенностью сказать, что величина изгиба и скручивания ПП с такой структурой находится в пределах стандартов.

На правом рисунке представлена несимметричная структура — центром является тот же препрег 2116, относительно которого находятся диэлектрики разной толщины (FR-4 толщиной 0,2 и 0,1 мм, соответственно). Толщина фольги относительно центра платы тоже отличается: 105 и 35 мкм. В итоге очень велика вероятность того, что деформация готовой платы выйдет за пределы допуска.

Выводы

Появление деформаций на ПП всегда неприятно и порой доставляет массу трудностей. Слишком большие величины деформаций не позволяют печатной плате остаться плоской для нанесения паяльной пасты через трафарет (в специальном принтере) и для установки поверхностно монтируемых компонентов (в автоматическом установщике). Если задуматься о готовой плате еще на стадии проектирования, то мно-

гих проблем удастся избежать. Как видно из статьи, при использовании довольно простых приемов можно существенно улучшить качество готового изделия.

Наилучшим решением можно считать тесное сотрудничество конструктора платы и технолога того завода, на котором плата будет производиться. В таком случае еще до начала компоновки и трассировки платы можно выяснить все необходимые технологические ограничения и заложить значение зазоров/ширины проводников, послойную структуру, сделать баланс меди, определить наиболее оптимальное финишное покрытие и т.д.

Конечно, все рекомендации этой статьи однозначно и в любом случае, для любой платы воплотить в жизнь на практике порой бывает невозможно. Например, для СВЧ-плат бывает невозможно соблюсти баланс меди. Для специфичных проектов иногда бывает невозможным сделать симметричную структуру платы. Всегда надо исходить из принципа «из двух зол выбирают меньшее». Но если есть возможность использовать на плате приведенные выше приемы, почему бы ими не воспользоваться и не повысить качество готового изделия без дополнительных расходов?

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 23752-79
- ГОСТ 20406-75
- IPC-TM-650
- IPC-A-600G
- IPC-T-50G
- IPC-6012B
- NCAB newsletter, Bo Anderson, технический директор NCAB Group, www.ncab.ru