

Практические способы уменьшения деформаций печатных плат на этапе конструирования

Елизавета БЕГЕР
beger@ncab.ru

В процессе изготовления практически любых изделий появляются различные деформации, что неприятно, но, как правило, неизбежно. Производство печатных плат — не исключение. Проблема появления деформаций печатных плат не нова, и уже наработано множество способов, предупреждающих или уменьшающих такие дефекты на разных этапах технологического процесса производства. Из-за воздействия высоких температур и влажности могут возникнуть изгиб и скручивание. Появление таких деформаций может привести к разрыву проводников и существенно осложнить процесс монтажа компонентов, монтируемых на поверхность печатной платы.

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

Данная статья адресована, по большей части, конструкторам и посвящена выявлению причин возникновения такого рода дефектов, здесь даны рекомендации по устранению их еще на стадии проектирования. Также будут рассмотрены различия в допустимых отклонениях от нормы при подготовке плат к производству, как на отечественных заводах, так и на зарубежных.

Ситуация осложняется тем, что в данный момент существуют различные пути реализации проектов плат. Среди них самые распространенные:

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 могут возникнуть трудности? Если плата разрабатывается и производится в нашей стране, то разработчик, конструктор и технолог руководствуются требованиями ГОСТ. Проблемы возникают при второй схеме, когда разработка плат ведется в России, а производят их в одной из зарубежных стран. Тут вступают в силу требования уже не только ГОСТ, но и международных стандартов.

В последнее время и в нашей стране компании — производители ПП все чаще начинают ориентироваться на международные стандарты. Эта тенденция связана с быстрым

развитием технологий, что требует постоянной доработки стандартов, а многие ГОСТы не изменялись годами! По этой причине требованиями ГОСТ руководствуются в большей или меньшей степени, а свежую, актуальную информацию черпают из международных изданий.

На данный момент большинство поставщиков печатных плат в странах Азии и Европы руководствуются требованиями стандартов IPC (Association Connecting Electronics Industries). Поэтому, чтобы плата получилась такой, какой ее задумал конструктор, необходимо учитывать требования уже двух различных стандартов. Далее будут описаны требования ГОСТ и IPC к деформациям печатных плат.

Выясним, что же собой представляют деформации изгиба и скручивания и что об этом говорится в стандартах.

Деформация изгиба

Изгиб — это деформация, характеризующаяся цилиндрическим или сферическим искривлением основания печатной платы (рис. 1). При этом (если изделие имеет прямоугольную форму) все его четыре угла лежат в одной плоскости.

Деформация скручивания

Скручивание — это деформация, характеризующаяся спиральным искривлением противоположных кромок основания печатной платы (рис. 2), то есть проходит по диагонали таким образом, что один угол платы на-

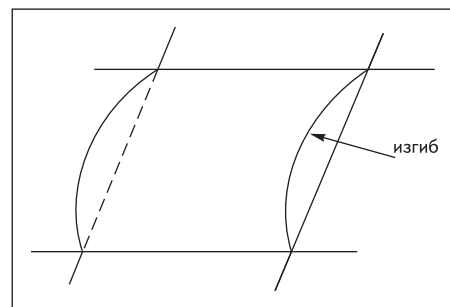


Рис. 1. Деформация изгиба

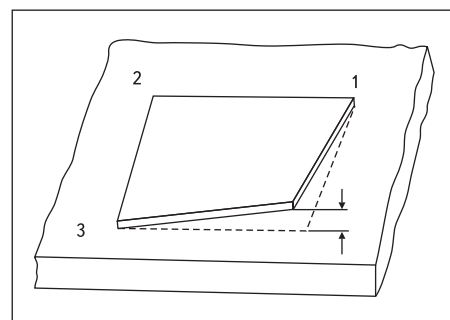


Рис. 2. Деформация скручивания

ходится не в плоскости, в которой лежат остальные 3 угла. На рис. 2 точки 1, 2 и 3 лежат в одной плоскости.

Что об этом говорит ГОСТ?

Согласно ГОСТ 23752-79 деформация при изгибе и скручивании печатных плат с жестким основанием, за исключением зоны кон-

Таблица. Требования ГОСТ к деформации печатных плат

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.

цевых контактов, на 100 мм длины не должна превышать значений, указанных в таблице.

При использовании диэлектрика высшей категории качества на основе стеклоткани деформация не должна быть более 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 быть более 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 испытываемую ПП не изменяет значения ее деформации.

Линейку размером более длины диагонали используемой ПП накладывают на ПП, лежащую вогнутой стороной вверх. Определяют место максимального отклонения вогнутой поверхности от линейки и измеряют его с точностью 0,1 мм. Измеряют расстояние между точками касания линейки с поверхностью ПП с точностью до 0,5 мм. Значение деформации ПП на 100 мм длины (K) определяют по формуле:

$$K = (100^2 \times h) / L^2,$$

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.

Также допускается значение деформации измерять при помощи калибровочной щели.



Рис. 4. Отклонение платы от плоскости по длине или ширине при деформации изгиба

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.

Что об этом говорит IPC?

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

Как определить величину деформации по IPC?

Для того чтобы измерить значение деформации изгиба, плату необходимо поместить на ровную поверхность. Нужно измерить значения длины, ширины и диагонали (рис. 3). Значения длины и ширины нам понадобятся для определения значения деформации изгиба в %, а значения диагонали — для определения значения деформации скручивания в %.

Затем необходимо измерить отклонение от плоскости в самой верхней точке, так, как это показано на рис. 4.

Концы платы должны касаться поверхности, на которой лежит плата. Измеренное зна-

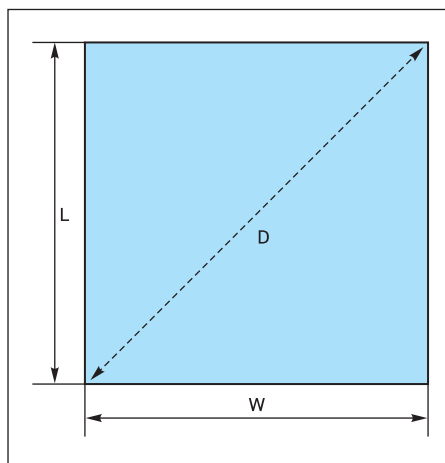


Рис. 3. Размеры печатной платы, необходимые для проверки соответствия требованиям стандарта IPC: L — длина; W — ширина; D — диагональ

чение максимального отклонения обозначается как R_L , если отклонение по длине, или R_w , если отклонение по ширине.

После того как были произведены все необходимые измерения, рассчитаем значение деформации изгиба по формуле:

$$B_L = R_L / L \times 100 \text{ или } B_w = R_w / W \times 100.$$

Например, у нас есть прямоугольная печатная плата размером 50×200 мм. Измеренная деформация по длине ($L = 200$ мм) составляет 1,5 мм (R_L). Тогда получаем:

$$B_L = 1,5 / 200 \times 100 = 0,75\%.$$

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

Теперь определим деформацию скручивания. Для этого нам понадобится измеренная ранее длина диагонали (D , мм). Измеряем максимальное отклонение от плоскости, как показано на рис. 5.

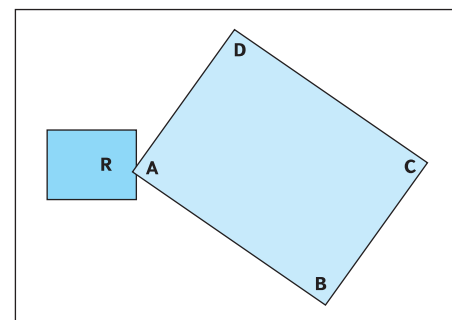


Рис. 5. Отклонение угла платы от плоскости при деформации скручивания: R — максимальное отклонение угла платы от плоскости; B, C, D — углы платы, лежащие в одной плоскости (при измерении деформации эти углы должны касаться ровной поверхности)

Величина деформации скручивания в % определяется по следующей формуле:

$$\text{Скручивание} = R / (2 \times (D)) \times 100.$$

Например, у нас есть прямоугольная печатная плата, диагональ которой равна 200 мм. Максимальное отклонение от плоскости (измеренное значение R) равно 3 мм.

Теперь рассчитаем значение деформации:

$$\text{Скручивание} = 3 / (2 \times 200) \times 100 = 0,75\%.$$

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 различны. Это необходимо учитывать, если заказывать печатные платы пла-

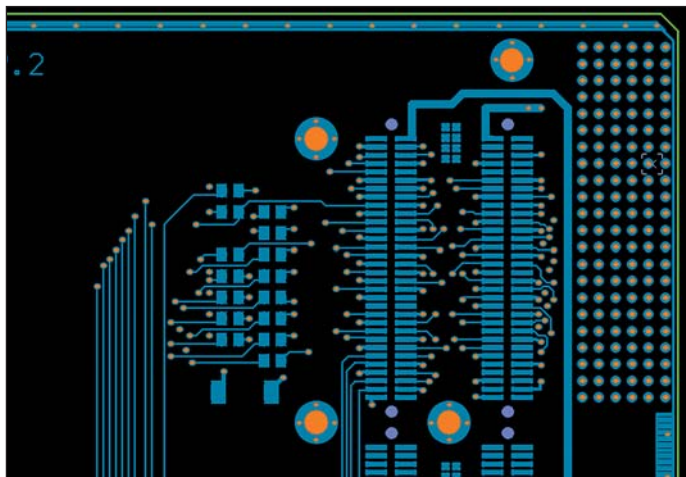


Рис. 6. Печатная плата без баланса меди

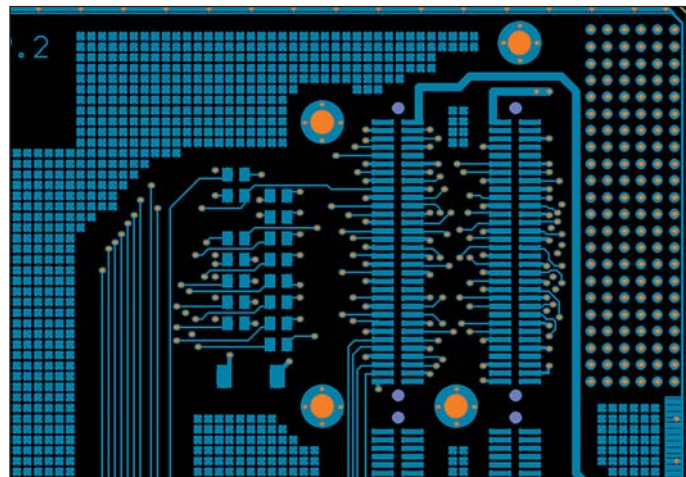


Рис. 7. Печатная плата с балансом меди

нируется на заводах, работающих в соответствии с международным стандартом IPC.

- Необходимо помнить, что ГОСТ не регламентирует значения деформаций изгиба и скручивания для печатных плат толщиной менее 1 мм, а IPC регламентирует.
- Величина деформации при изгибе и скручивании имеет значение при использовании поверхностно монтируемых компонентов. Слишком большие величины таких деформаций не позволяют печатной плате принять плоское состояние, необходимое для нанесения паяльной пасты через трафарет (в специальном принтере) и для установки поверхностно монтируемых компонентов (в автоматическом установщике). Стандарт IPC предъявляет различные требования к величине деформаций для плат с поверхностным монтажом и без него. В ГОСТ на этом акцент не делается.
- С другой стороны, значения деформации изгиба и скручивания очень важны для плат с концевыми контактами, это требуется по ГОСТ, а IPC определяет их такими же, как и для плат с поверхностным монтажом или без него.

Каким образом на стадии проектирования можно предупредить возникновение слишком больших деформаций готовой ПП?

Безусловно, существует большое количество способов, предупреждающих и уменьшающих деформации на разных этапах технологического процесса производства печатных плат. Эти методы и способы давно и успешно внедрены и широко используются.

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

Баланс меди

Этот метод предусматривает заполнение свободных от меди областей на печатной плате медной фольгой (рис. 6). Если проводящий рисунок неравномерный, толщина слоя меди в готовой продукции будет разной в различных областях печатной платы, что может даже привести к невозможности производства данной ПП. Неравномерность рисунка медных проводников приводит к деформации печатных плат (изгибу и скручиванию). Рисунок внутренних слоев должен быть равномерным и для того, чтобы снизить риск деформации. Правильный и сбалансированный печатный рисунок выравнивает поверхность печатной платы (рис. 7).

Если поставка печатных плат планируется в панелях с технологическими полями, то и на поля ППП необходимо добавлять медь — для баланса, чтобы предупредить возникновение деформации изгиба и скручивания (рис. 8).

Заполнение медью свободных областей (рис. 9) может быть разным по форме, это могут быть квадраты, прямоугольники, круги и даже просто полигон, залитый медью полностью или покрытый ею в виде сетки (рис. 10).

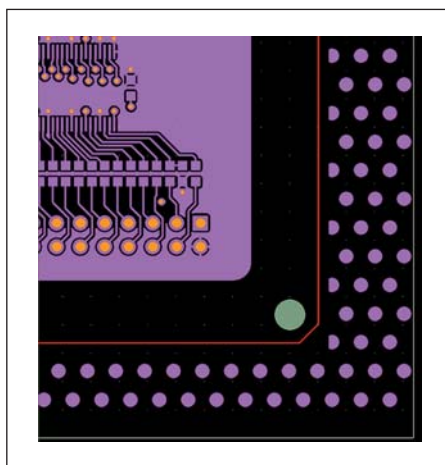


Рис. 8. Пример заполнения медью технологических полей печатной платы

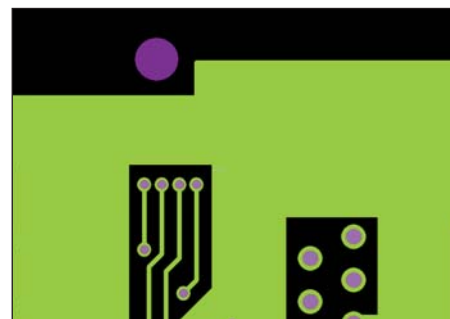


Рис. 9. Заполнение свободных мест медной фольгой в виде залитого полигона

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

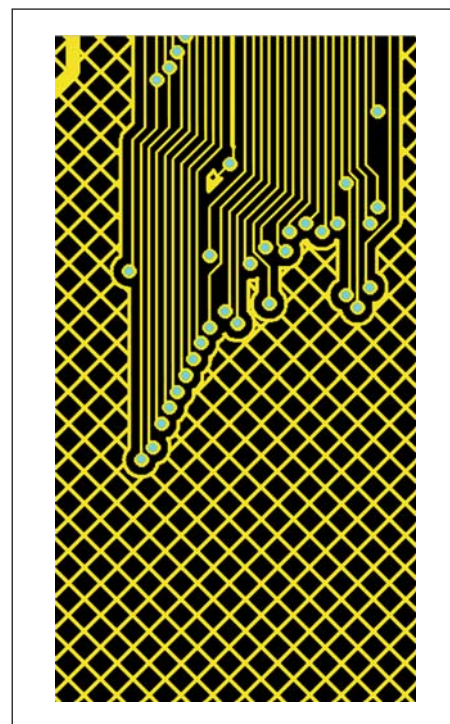


Рис. 10. Заполнение свободных мест медной фольгой в виде сетки

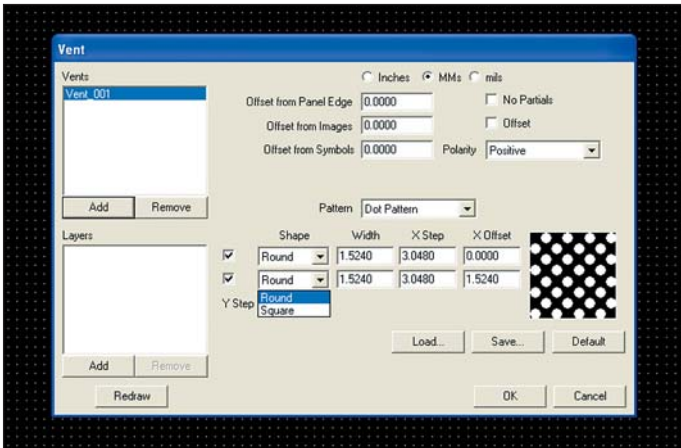


Рис. 11. Интерфейс САМ-системы для выбора параметров заливки

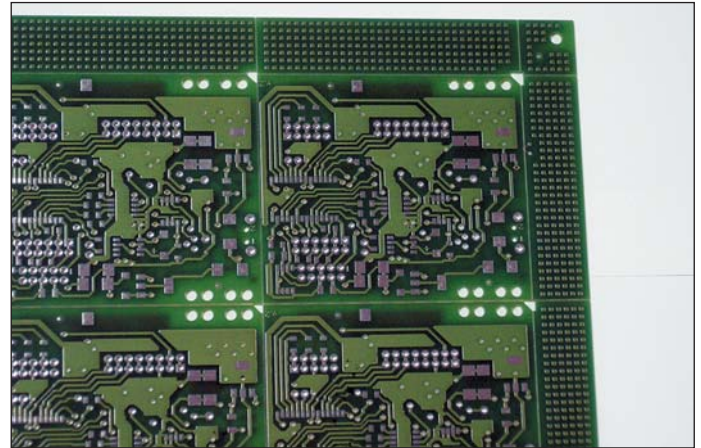


Рис. 12. Пример готовой панели с хорошим балансом меди

Если вы проектируете плату в такой-либо САД-системе, то проще всего использовать заливку полигона (заливку можно сделать как сплошную, так и сетчатую) — это стандартная опция всех САД-систем проектирования печатных плат.

Заливку технологических полей легче выполнить на стадии подготовки проекта к производству, когда выполняется мультипликация платы. На рис. 11 приведены стандартные опции распространенной САМ-системы по заливке технологических полей. Тут много вариантов: заливка сплошным полигоном, сетчатая заливка, заливка с помощью кругов или квадратов, размер и частоту которых задает технолог при подготовке проекта к производству.

Плата с хорошим балансом меди по всей по поверхности (рис. 12) существенно снижает величину деформаций.

Иммерсионные покрытия

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

Симметричная структура для МПП

Старайтесь использовать симметричную структуру для многослойных печатных плат. Использование несимметричной структуры ведет к недопустимо большому изгибу платы.

На рис. 13а мы видим абсолютно симметричную структуру: центром является препрег 2116, относительно него используются одинаковые, симметрично расположенные фольгированные диэлектрики, препреги и элект-

ролитическая медная фольга внешних слоев. Можно с уверенностью сказать, что величина изгиба и скручивания ПП с такой структурой будет в пределах стандартов.

На рис. 13б представлена несимметричная структура: центром является тот же препрег 2116, но относительно него расположены диэлектрики разной толщины (FR-4 толщиной 0,2 мм и 0,1 мм соответственно). Толщина фольги относительно центра платы тоже отличается: 105 и 35 мкм. Поэтому очень велика вероятность того, что деформация готовой платы будет выходить за пределы допуска.

Выводы

Появление деформаций на печатных платах всегда неприятно и порой доставляет массу трудностей. Но если задуматься о готовой плате еще на стадии проектирования, то многих проблем удастся избежать. При использовании довольно простых приемов можно существенно улучшить качество готового изделия.

Также всегда необходимо помнить, где (в какой стране) и на каком производстве будет размещаться заказ на изготовление печатной платы, и учитывать, в соответствии с каким стандартом будет оцениваться готовый продукт, будет ли он отвечать вашим ожиданиям.

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

Конечно, все рекомендации, данные в статье, однозначно и в любом случае, для любой платы воплотить в жизнь на практике порой бывает невозможно. Например, для СВЧ-плат бывает невозможно выполнить баланс меди. В специфичных проектах иногда трудно сде-

😊	😞
Solder Mask	Solder Mask
Cu 18 um	Cu 18 um
Prepreg 2116	Prepreg 2116
Cu 35 um	Cu 105 um
FR-4 core 0,1 mm	FR-4 core 0,2 mm
Cu 35 um	Cu 105 um
Prepreg 2116	Prepreg 2116
Cu 35 um	Cu 35 um
FR-4 core 0,1 mm	FR-4 core 0,1 mm
Cu 35 um	Cu 35 um
Prepreg 2116	Prepreg 2116
Cu 18 um	Cu 18 um
Solder Mask	Solder Mask
a	б

Рис. 13. Структура слоев многослойной печатной платы: а) симметричная, б) несимметричная

лать симметричной структурой платы. Всегда надо исходить из принципа «из двух зол выбирают меньшее». Но если есть возможность использовать на плате описанные приемы, почему бы ими не воспользоваться и не повысить качество готового изделия без каких-либо дополнительных затрат? ■

Литература

- ГОСТ 23752-79. «Платы Печатные. Общие технические условия».
- ГОСТ 20406-75. «Платы Печатные. Термины и определения».
- IPC-TM-650. «Test Methods Manual».
- IPC-A-600G. «Acceptability of Printed Boards».
- IPC-T-50G. «Terms and Definitions for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits».
- IPC-6012B. «Qualification and Performance Specification for Rigid Printed Boards».
- Anderson B. Советы по конструированию печатных плат для повышения рентабельности производства // NCAB newsletter. Январь 2008 г. www.ncab.ru