

Технологические параметры многослойных печатных плат и критерии их выбора

Для инженера-конструктора, приступающего к трассировке очередного проекта многослойной печатной платы, ключевым является вопрос о выборе ее технологических параметров. В случае, когда можно взять за основу предыдущие проекты в аналогичном конструктивном исполнении, особых проблем не возникает — скорее всего, количество слоев и другие параметры платы останутся без изменений. Это позволит отделу снабжения воспользоваться наработанными каналами заказа печатных плат, обращаясь к проверенным поставщикам как для срочного изготовления образцов, так и для размещения серийных заказов.

Рубрику ведет
Александр Акулин

akulin@pcbtech.ru

Введение

Если сложность печатной платы существенно повышается (увеличивается количество компонентов, цепей, появляются компоненты в более сложных корпусах, особенно BGA с более мелким шагом), высока вероятность «не уместиться» в наработанные ранее нормы. Это означает, что для успешной трассировки может потребоваться:

- увеличение количества слоев;
- уменьшение ширины проводника и зазора;
- уменьшение размеров переходных отверстий;
- добавление «глухих» и скрытых отверстий;
- изменение других параметров печатной платы.

В такой ситуации и разработчик, и снабженец, да и руководитель компании, очевидно, испытывают неуверенность в том, что проект с более жесткими нормами будет выполнен прежними поставщиками печатных плат столь же надежно, как преды-

дущие заказы. И это имеет под собой серьезные основания.

Несмотря на то, что технологические возможности как российских, так и зарубежных поставщиков печатных плат растут с каждым годом, разработчику следует с осторожностью использовать предлагаемые ими «предельные параметры» в своих разработках. Дело в том, что эти параметры могут быть применимы только для определенных условий, не все из которых реализуемы в том или ином проекте печатной платы, при том или ином объеме и срочности заказа.

Рассмотрим в качестве типичного примера таблицу параметров, предлагаемых своим клиентам компанией PCB technology (табл. 1). В этой таблице основные параметры разводки и выбора конструкции платы сведены в три столбца. В столбце по названию «Упрощенный» — наиболее недорогой вариант, при выборе большинства параметров платы по этому столбцу разработчик обеспечит максимальное снижение стоимости как для заказа образцов, так и для серийных заказов. Рядом показан стандартный набор параметров — их использование не вызывает особых затруднений при производстве. Правый крайний столбец содержит значения, достижение которых в принципе возможно, но сопряжено с определенными сложностями и, соответственно, приведет к повышению стоимости и сроков выполнения заказа. Компания рекомендует своим клиентам по возможности придерживаться параметров, приведенных в столбце «Стандарт», и только в порядке исключения прибегать к «усложненным» вариантам. Кроме того, не рекомендуется закладывать «усложненные» параметры для потенциально серийных заказов.

В чем тут проблема? Нет ли в этом противоречия? Казалось бы, инженеру-конструктору незачем задумываться о тонкостях, связанных с изготовлением печатных плат. Многие заказчики считают так: «Есть таблица допустимых параметров, которую предоставил завод-изготовитель. Почему бы просто не сле-

Таблица 1. Параметры производства плат компании PCB technology

	Параметры (размеры даны в мм)	Упрощенный	Стандарт	Усложненный
1	Количество слоев МПП	до 6	до 24	до 64
2	Ширина проводника	0,15	0,1	0,075
3	Зазор между проводниками	0,15	0,1	0,075
4	Поясок металлизированного отверстия	0,2	0,15	0,1
5	Диаметр сквозного перехода	0,2	0,15	0,1
6	Минимальная площадка сквозного перехода	0,6	0,45	0,35
7	Зазор от отверстия до металла в слоях МПП	0,4	0,35	0,3
8	Отношение толщины печатной платы к диаметру переходного отверстия	6:1	10:1	18:1
9	Толщина МПП	0,8–2,4	0,5–4,5	0,3–8,0
10	Максимальный размер ПП	400×600	600×600	1100×600
11	Минимальный размер ПП	50×50	30×30	15×15
12	Зазор от металла до края ПП	0,5	0,25	0,2
13	Зазор от края отверстия до края ПП	0,5	0,4	0,3
14	Зазор от площадки до маски	0,1	0,075	0,05
15	Минимальная ширина полоски маски	0,1	0,075	0,05
16	Диаметр «глухого» отверстия	0,2	0,15	0,1
17	Диаметр площадки «глухого» отверстия	0,6	0,45	0,3

довать ей, и пусть уже делом поставщика печатных плат будет выполнение этих требований с наилучшим качеством».

Это неверная позиция. Дело в том, что в производстве печатных плат — крайне непросто процессе — многие параметры взаимосвязаны. Неслучайно в последнее время все активнее продвигается лозунг «Проектирование для производства». Разработчик печатной платы должен не просто слепо придерживаться тех параметров, которые даны в справочных таблицах поставщиков, но и представлять себе, как именно будет изготавливаться печатная плата, какие процессы и этапы она проходит при изготовлении, и как они влияют друг на друга. Только в этом случае можно:

1. Оптимизировать стоимость изготовления печатных плат (за счет выбора наименее дорогостоящей комбинации параметров).
2. Уменьшить сроки поставки заказа (за счет выбора оптимальной структуры и материалов).
3. Повысить надежность изделия (за счет повышения технологичности платы).

Согласитесь, в реализации этих пунктов заинтересованы все стороны. Давайте посмотрим, как нужно «управлять» параметрами печатной платы, и какие могут быть причины возникновения проблем у производителей при задании для того или иного параметра неоправданно жестких значений.

Количество слоев

Если планируются серийные заказы и требуется снижение стоимости, целесообразно закладывать в проект не более 6–8 слоев, иначе в дальнейшем могут возникнуть проблемы с выбором поставщика. Почему? Дело в том, что для завода среднего уровня (а именно на таких заводах возможно снижение цен при выходе на серийность) ограничением на максимальное количество слоев является, как правило, 6 или 8.

Причины возможных проблем:

- отсутствие оснастки для серийной сборки более чем 8 слоев;
- неточность совмещения слоев при прессовании (растет с увеличением числа слоев);
- продольная и диагональная деформация слоев;
- неточность центровки сверления;
- отклонение сверла в многослойном пакете;
- неточность травления и подтрав;
- проблемы металлизации отверстий и поверхности ППП;
- необходимость в повышенном давлении при прессовании более 8 слоев.

Таблица 2. Особенности проекта МПП, требующие внимания

Конструктивные особенности	Примечание
«Глухие» и скрытые отверстия	Структура и параметры должны быть описаны на чертеже и в бланке описания заказа
Толстые слои меди, теплопровод (подслой меди толщиной 100, 150 или 200 мкм)	На чертеже должны быть приведены требования (нужна особая технология изготовления)
Металлизация торца и пазов	Обязателен чертеж и текстовое описание для каждого паза
Несимметричная внутренняя структура	Может вызвать коробление, не рекомендуется
Повышенная температура пайки (бессвинцовая или смешанная пайка)	Для бессвинцовой пайки используется материал HighTg
Высокая рабочая температура МПП (до 200 °С)	Используется специальный диэлектрик
Отверстия, заполненные теплопроводящей пастой	Используется специальный материал и технология

Ширина проводника и зазор

Общепринятой среди разработчиков практикой является задание минимальной ширины проводника (например, 0,1 мм) для всего проекта. И все проводники на плате выполняются с этой шириной, хотя более правильно было бы 90% трасс провести шириной 0,125 или даже 0,15 мм.

На рисунке показаны этапы процесса травления печатных проводников.

Потери из-за бокового подтрав могут достигать 50% от высоты проводника (толщины меди). Кроме того, вследствие влияния различных факторов (неоднородности материала, дефектов фотошаблона, фоторезиста, и пр.) высока вероятность появления локальных подтравов большего размера. Это критично для проводников шириной 0,1 мм и еще более важно для ширины 0,075 мм. Допустим, есть некоторая вероятность того, что один из проводников на плате будет дефектным. Заменяя ширину проводника с 0,1 на 0,15 мм для 90% проводников, разработчик в 10 раз (!!!) уменьшит вероятность выпуска дефектной платы.

Таблицы 3–5 позволяют оценить, в каких случаях (для заданной толщины фольги и для суммарной толщины меди) допустимо применять проводники и зазоры той или иной ширины. При использовании таблиц следует учитывать, что на внешних слоях печатной платы при металлизации отверстий наращивается дополнительный слой меди толщиной до 35 мкм. В таблице 2 приведены моменты требующие особого внимания.

Поясок металлизированного отверстия. Диаметр и минимальная площадка переходного отверстия

Зачастую конструкторы необоснованно задают слишком маленький гарантийный поясок у отверстий. В такой ситуации велик риск выхода сверла за пределы площадки — а это снижает надежность платы.

Причины возможного смещения отверстия:

- неточность фиксации заготовки на сверлильном станке;

- отклонение сверла на стеклянных волокнах материала;
- неточность совмещения верхнего, нижнего и внутренних слоев МПП;
- изменение физических размеров фотошаблона с течением времени или из-за изменений температуры и влажности;
- выбор слишком большого диаметра сверла (из имеющегося на производстве ряда).

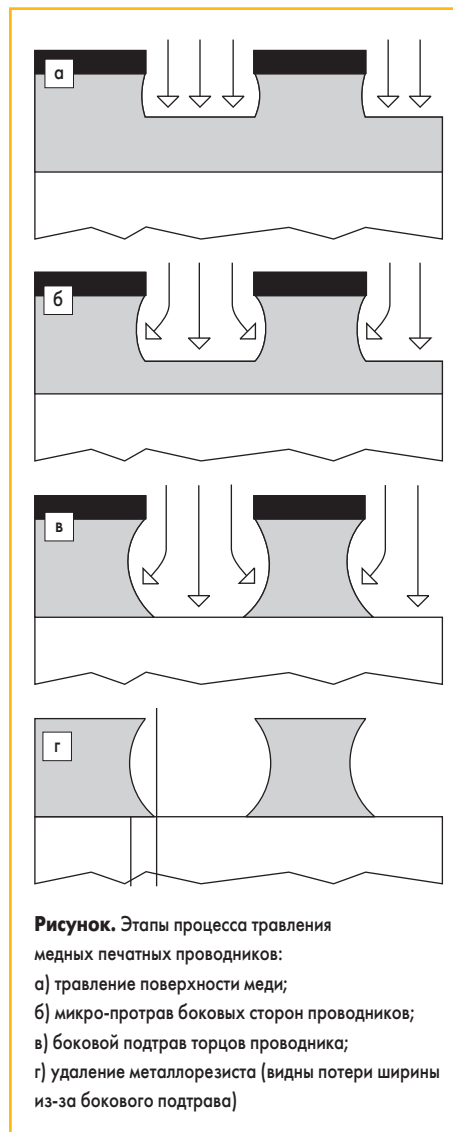


Рисунок. Этапы процесса травления медных печатных проводников:

- а) травление поверхности меди;
- б) микро-протрав боковых сторон проводников;
- в) боковой подтрав торцов проводника;
- г) удаление металлизатора (видны потери ширины из-за бокового подтрав)

Таблица 3. Основные соотношения и взаимосвязи параметров МПП

Соотношение параметров	Максимум
Толщина платы/диаметр металлизированного отверстия	10:1
Высота проводника/ширина проводника	1:4,5
Глубина/диаметр глухого переходного отверстия	1:1

Таблица 4. Толщина фольги и ширина проводника/зазора

Толщина фольги, мкм	Проводник/зазор во внутренних слоях, мм
17	0,075
35	0,075–0,1
70	0,15

Таблица 5. Толщина меди и ширина проводника и зазора

Толщина меди во внешних слоях (фольга + наращивание), мкм	Проводник и зазор во внешних слоях, мм
40 (17+23 или 9+31)	0,075
45 (17+28)	0,1
52 (17+35)	0,125
70 (35+35)	0,15–0,2
100 (70+30)	0,2–0,3

Требование ГОСТа — отверстие должно находиться в пределах площадки, с определенным остаточным пояском металлизации (в зависимости от класса точности). Для обеспечения этого требования необходимо задавать правильный гарантийный поясок.

Как правило, основные проблемы с обеспечением гарантийного пояса возникают при неверном определении размера площадки и диаметра переходных отверстий разработчиком. Рекомендуем закладывать в проект два типа переходных отверстий, и отверстия с меньшим гарантийным пояском применять только в случае необходимости, в наиболее узких местах печатной платы (например, в области BGA).

Расстояние от отверстия до металла в слоях МПП

В некоторых случаях инженер-конструктор самостоятельно удаляет незадействованные площадки отверстий во внутренних слоях. При этом он неоправданно считает, что можно сократить расстояние от отверстия до ближайших полигонов или проводников. Это некорректно, так как в этом случае могут возникнуть замыкания металлизации отверстия на прилегающие металлические планы или близко лежащие проводники.

Причины проблем:

- смещение внутренних слоев при каждом цикле прессования;
- неточность центровки отверстий и отклонение сверла на выходе;
- проникновение металлизующего раствора в неоднородности диэлектрического материала стенок отверстия (трещины и сколы между слоями).

Отношение толщины печатной платы и диаметра переходного отверстия

Типовым соотношением Aspect ratio для многих российских заводов является 5:1 (то есть, диаметр готового отверстия не менее 0,3 мм при толщине платы 1,5 мм), а для наиболее современных — от 8:1 до 10:1. Только на очень высокотехнологичных производствах за счет применения специальных технологий можно достичь уровня 12:1 (и в некоторых случаях — 18:1). В случае превышения этого соотношения велик риск получить на плате некоторые отверстия либо со слишком малой толщиной медной стенки (от 5 до 15 мкм вместо положенных 25 мкм), либо вовсе без металлизации. Причем первый вариант гораздо опаснее, так как электроконтроль не обнаружит эти дефекты, а с течением времени или при повышенных нагрузках эти отверстия, скорее всего, будут разрушены, и произойдет отказ устройства.

Причины ограничений: для металлизации отверстий требуется «прокачивание» раствора через отверстия. При большой толщине платы и малом диаметре отверстий крайне сложно обеспечить равномерное и интенсивное протекание раствора через все отверстия.

Толщина, максимальный и минимальный размеры ПП

Как правило, разработчик лишен возможности произвольно задавать размеры печатной платы — как габариты, так и толщина определены конструктивом изделия. Однако следует иметь в виду, что минимальный размер платы может быть ограничен возможностями производства, и если нужны платы меньших габаритов, их целесообразно разместить на групповой панели с фрезеровкой и перемычками. В этом случае надо заранее предусмотреть места на контуре платы, в которых можно разместить перемычки с перфорацией.

Что касается максимальной толщины печатной платы, то, помимо описанного ранее Aspect ratio, надо учитывать также и ограничения, связанные с возможностями конкретного завода-изготовителя по формированию пакета ПП.

Минимальная толщина платы также может быть ограничена по нескольким причинам:

- минимальные толщины материалов и структура многослойной платы;
- минимальная толщина платы, которую завод может обрабатывать на всех этапах производства.

Расстояние от металла до края ПП. Расстояние от края отверстия до края ПП

Размещать полигоны вплотную к краю платы не рекомендуется — при фрезеровке откровенно медь, медные заусенцы могут попасть на печатную плату. Еще более важно оставлять зазор между внутренними планами питания и краями и крепежными отверстиями — чтобы не спровоцировать замыкание между слоями через металлические крепежные элементы.

Что касается минимального расстояния от отверстия до края платы — важно соблюдать его по таким причинам, как:

- опасность механического разрушения слишком узкой полоски стеклотекстолита на краю платы;
- опасность повреждения отверстия при «разламывании» панели с перемычками или скрайбировании, либо при механических нагрузках на плату (при установке, креплении винтами и т. д.).

Зазор между площадкой и маской. Минимальная ширина полоски маски

Довольно часто разработчики вовсе не учитывают необходимость обеспечения зазора между маской и площадками. А зазор этот необходим по технологическим соображениям, связанным со способом нанесения маски. Если его не обеспечить, смещение при нанесении маски усложнит монтаж компонентов или даже сделает его невозможным (произойдет «наполнение» маски на площадке).

Особый предмет для споров между разработчиками и производителями печатных плат — минимальная ширина полоски маски

между SMT-контактами. Например, для TQFP-корпуса с шагом выводов 0,5 мм разработчики часто закладывают ширину площадки 0,3 мм, зазор 0,2 мм и пытаются уложить в этот зазор полоску маски шириной 0,1 мм. Мало того, что 0,1 мм является минимально возможной шириной маски, «на пределе», так еще зазор от маски до площадки в этом случае составляет 0,05 мм вместо допустимых 0,1 мм (или, как крайний вариант для серийных заказов, 0,075 мм). Что можно порекомендовать в данном конкретном случае? Уменьшайте ширину медной площадки до 0,25 мм или хотя бы 0,27 мм — это вполне допустимо.

Причины проблем с маской:

- неточность совмещения слоев маски и металла (смещение до 0,1 мм);
- недостаточная адгезия узких полосок маски (для ширины 0,1 мм и менее).

Диаметр «глухого» отверстия. Диаметр площадки «глухого» отверстия

Особенностям конструкции «глухих» и скрытых отверстий были посвящены две предыдущие статьи. Здесь же мы остановимся только на причинах возможных проблем при неверном выборе параметров:

- неточность позиционирования лазерного сверления;
- неточность совмещения слоев;
- «уход» медного рисунка (смещение слоев) при прессовании.

Заключение

Итак, по нашему мнению, многие проблемы при изготовлении сложных многослойных плат связаны с тем, что разработчики «идеализируют» производство, не хотят понять, что их плату будет изготавливать вполне конкретный завод, имеющий отнюдь не идеальное оборудование, со своими вполне определенными возможностями и ограничениями. И чем сложнее печатная плата, тем выше вероятность получить неудачный результат. Помочь в повышении вероятности успеха, особенно при усложнении проектов и переходе на новые технологические нормы, может следование принципу «Проектирование для производства». Это значит — всегда думать о том, где и как будет изготавливаться проект, какая планируется серийность, какое потребуется в перспективе снижение стоимости или сроков поставки, и какие параметры будут оптимальными для этого проекта с учетом всех факторов. Параметры, которые надо согласовать с производителем:

- допустимая структура «глухих» и скрытых переходных отверстий;
- технические требования для «глухих» и скрытых переходных отверстий;
- послойная структура многослойной печатной платы, распределение толщин диэлектриков по слоям;
- распределение толщин меди по слоям в зависимости от гальванической металлизации и структуры «глухих» отверстий.