

# ТРИДЦАТЬ ЛЕТ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕСТКО-ГИБКИХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Ларс Мартин, Марк Гэлант

*Жестко-гибкие печатные платы продолжают развиваться, и их производители все шире внедряют эту технологию.*

В 1974 году началось массовое производство гибких печатных плат (ПП), а уже через год появились первые образцы жестко-гибких плат. Всего спустя три года было налажено крупносерийное производство четырехслойных жестко-гибких ПП. А к 1980 году 250 000 таких плат предлагалось для телекоммуникационного приложения.

Вначале гибкие ПП использовались только как соединители между жесткими платами, но благодаря наклеиванию ребер жесткости на гибкие ПП появилась возможность устанавливать соединители и компоненты прямо на поверхность гибкой платы. Поначалу их наклеивали с помощью эпоксидного адгезива, который применяли в виде тонких пленок, затем перешли на процесс соединения с одновременной подачей тепла и давления на соединяемые участки.

Параллельная разработка препрегов (склеивающих прокладок) с низкой текучестью сделала возможным изготовление жестко-гибких плат по аналогичной технологии, которая использовалась в производстве жестких многослойных ПП (МПП) в течение ряда лет.

Преимущества гибких ламинатов проявляются не только в гибких ПП, они могут использоваться для создания чрезвычайно тонких жестких МПП. Гибкий диэлектрик толщиной 2,5–12 мкм облегчает создание тонких жестких ПП. Такие МПП тоньше и легче, чем обычные жесткие ПП и обеспечивают большую функциональность в меньшем объеме с более высокой устойчивостью к ударным воздействиям.

Одним из основных шагов для использования гибкого материала в МПП явилась возможность формирования в нем сквозных металлизированных отверстий (СМО).

В соответствии с классификацией Института печатных плат IPC-2223A гибкие и жестко-гибкие ПП подразделяются на пять типов (см. таблицу).

Аналогичную классификацию содержит военный стандарт MIL-P-50884.

Сегодня при последовательном наращивании слоев возможно соединение различных внутренних слоев с помощью множества глухих или скрытых вертикальных переходных отверстий. В таких структурах по сравнению с обычными жесткими МПП в жестких областях не существует никаких ограничений.

Использование линий передачи возможно не только в жестких областях, но и в гибких. Все понятия, относящиеся к МПП, применимы и к жестко-гибким ПП, например импеданс, теплоотводы, высокая плотность монтажа и т.п.

## О ПРОЕКТИРОВАНИИ

Как известно, большинство стандартных жестких ПП изготавливается примерно по одному методу. Небольшие вариации в процессах объясняются технологическим оборудованием или окружающей средой. Но для жестко-гибких ПП это не так, поскольку большинство из них представляет нечто уникальное, и каждая конструкция может потребовать специального метода.

Типичная четырехслойная жестко-гибкая ПП состоит из двухсторонней гибкой платы, вставленной между внешними жесткими слоями. Каждый слой гибкой ПП может отличаться по контуру от верхних и нижних слоев, выводы гибких слоев могут попадать в жесткий материал. Эти типы вариаций в конструкции жестко-гибких ПП вызывают необходимость в собственном уникальном многоступенчатом процессе изготовления.

Всегда, когда гибкая подложка сгибается, существует опасность разрушения прикрепленных к ней проводников. Эта опасность, вероятно, наиболее серьезная технологическая проблема для непосвященного конструктора жестко-гибких ПП. Для снижения ее влияния проводники, проходящие по сгибаемой области, должны приклеиваться на основе следующих принципов:

Типы печатных плат по IPC

Тип платы	Проводящие слои	СМО	Жесткий и гибкий материал	Ребра жесткости	Категория
Тип 1	1	Нет	Нет	Возможны	Односторонние гибкие
Тип 2	2	Есть	Нет	Возможны	Двусторонние гибкие
Тип 3	3+	Есть	Нет	Возможны	МПП гибкие
Тип 4	3+	Есть	Есть	–	Жестко-гибкие
Тип 5	2+	Нет	Есть	–	Гибкие и жестко-гибкие



- трассы проводников по сгибаемой области должны быть перпендикулярны к оси сгиба и не должны содержать отверстий, углов или вариаций ширины;
- если необходимо включить большую проводящую поверхность, например плату заземления, следует использовать разбивку, а не матрицу;
- если трассы соседних слоев идут параллельно в сгибаемой области, это повышает нагрузку на проводники по внешней поверхности сгиба (рис. 1).

Важный момент для жестко-гибких ПП представляет баланс конструкции на каждой стороне относительно центра (нейтральной оси). Идеально масса меди должна быть одинакова на обеих сторонах.

Жестко-гибкие ПП проходят через линию сборки, как и жесткие ПП. При этом практикуется добавление пластины из жесткого материала для сборки (рис.2), что повышает выход годных.

### ПРИМЕНЕНИЕ

Становится все меньше и меньше приложений, где бы не применялась технология жестко-гибких ПП. Однако эти платы не являются лучшей альтернативой жестким ПП, например для объединительных панелей. Они хорошо подходят для небольших потребительских приборов, таких как цифровые камеры, портативные видеокамеры, MP3-плееры и т.п.

Общепризнанно, что военная электроника – наибольший потребитель жестко-гибких ПП, где они обеспечивают снижение массы и оптимальное использование объема. Примером может служить реконструкция боевой подсистемы на борту ракеты путем перевода множества жестких ПП в небольшую жестко-гибкую ПП, что обеспечило сокращение объема на 50% и снижение массы на 90%.

Биомедицинская промышленность применяет жестко-гибкую технологию для имплантируемых приборов, таких как улитковый имплантатор, электронный стимулятор сердца и дефибриллятор. В этих приборах благодаря использованию жестко-гибких ПП получен большой выигрыш в надежности. Сочетая тонкие гибкие слои и заменяя корпусированные компоненты на встроенные конденсаторы, катушки индуктивностей и резисторы, габариты печатных узлов можно сократить еще больше. Более низкая диэлектрическая постоянная гибких материалов по

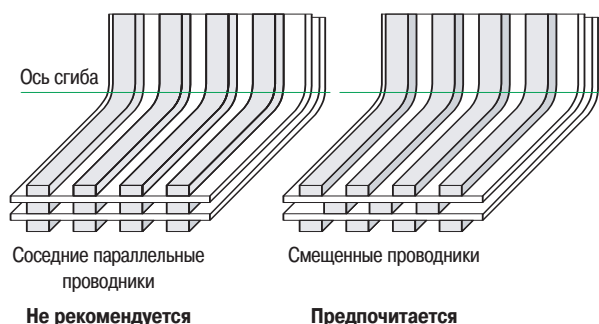
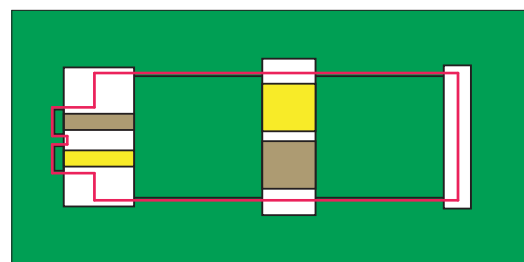
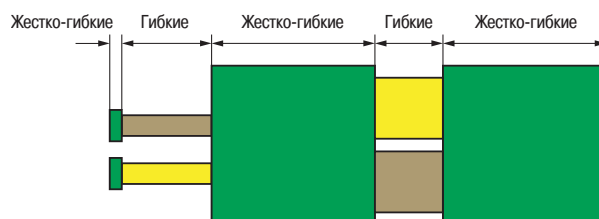


Рис. 1. Проводники в соседних слоях жестко-гибких ПП



Собранная панель с контуром



ПП, удаленная из панели

Рис.2. Собранная панель с финишным контуром и полученная ПП сравнению с жесткими ламинатами обеспечивает передачу быстродействующих сигналов.

### ФАКТОРЫ СТОИМОСТИ

Жестко-гибкие ПП бывают чрезмерно дороги. Стоимость изготовления жестко-гибких ПП может в пять-семь раз превышать стоимость стандартной жесткой ПП на FR-4. Вероятно поэтому жестко-гибкие платы не находят применения в дешевых изделиях массового производства, таких как, например, сотовые телефоны. Большинство изготовителей сотовых телефонов предпочитают им гибкие МПП или ужесточенные гибкие для снижения общей стоимости своей продукции.

Основные составляющие стоимости жестко-гибких ПП – это стоимость сырьевых материалов (особенно безадгезивных ламинатов и нетекучих препрегов), использование пластины при сборке и выход годных. С точки зрения стоимости очень важен выбор гибких материалов. Адгезивные ламинаты обычно стоят 22 долл./м<sup>2</sup>, в то время как стоимость безадгезивного ламината – 88 долл./м<sup>2</sup> и выше в зависимости от толщины диэлектрика. Однако адгезивные ламинаты хорошо подходят для одно- и двухслойных гибких ПП, но не для жестко-гибких ПП. Большинство изготовителей жестко-гибких МПП по возможности избегают адгезивных ламинатов, поскольку акриловый клей в этих ламинатах поддается расширению по оси Z, а также химической и термической деградации в процессе производства.

При оценке конструкции ПП надо иметь в виду, что ужесточенная гибкая ПП представляет собой дешевый вариант. Это – один или более гибких слоев с жесткими участками, продуманно расположенными и накатанными на гибкую плату для укрепления отдельных ее участков. Жесткий материал не подвергают травлению или металлизации, а только сверлению. В основном жесткий материал (обычно FR-4) используется для укрепления основания ПП в местах монтирования компонентов или соединителей.