

Многослойные печатные платы. Первые шаги в освоении операции прессования

Изготовление печатных плат является типовым процессом в производстве электронных приборов. Этот процесс широко распространен и хорошо изучен. Среди производителей, освоивших изготовление двусторонних ПП, производство многослойных ПП часто сопряжено с недостаточной подготовленностью в области технологии и оборудования. В статье показано, что освоение производства МПП не таит в себе больших трудностей и предусматривает лишь наличие соответствующего оборудования и выполнение ряда технологических требований.

Ринат Тахаутдинов

takhautdinov@clever.ru

Актуальность производства многослойных печатных плат

Изучение состояния рынка печатных плат показывает, что доля многослойных плат растет год от года (рис. 1). Так, анализируя производственные объемы ряда предприятий, можно предположить, что приблизительно четверть объема российского рынка составляют многослойные печатные платы (МПП), при этом их доля в производстве составляет не более 10%.

Ретроспективный анализ зарубежных рынков (в частности, США и Европы) позволяет сделать предположение о том, что в ближайшем будущем доходы от производства МПП существенно возрастут по сравнению с доходами от производства других видов плат.

Уже сейчас некоторые российские предприятия, которые в недавнем прошлом начали заниматься коммерческим выпуском ПП, отказались от выпуска односторонних и двусторонних плат в пользу МПП ввиду существенно большей прибыли и отдачи от капиталовложений в производство.

Анализ цен на платы показывает, что цена за единицу площади МПП при мелкосерийном производстве минимум в 3 раза выше ДПП и в 5 раз выше ОПП. При прототипном производстве превыше-

ние стоимости 1 кв. дм МПП по сравнению с ценой остальных типов плат еще более усиливается.

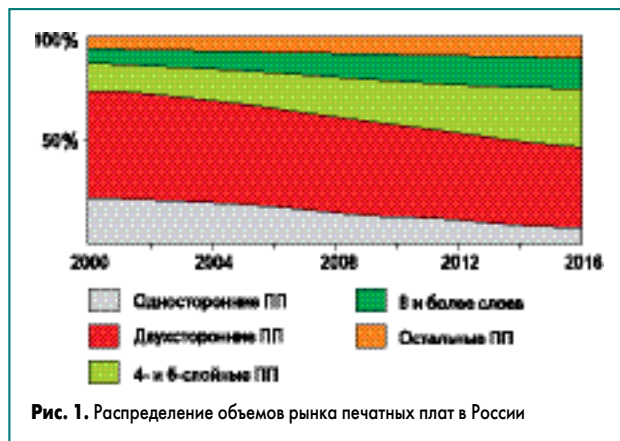
Экономические критерии являются не единственными (табл. 1), хотя и немаловажными в принятии решения относительно освоения и развития производства, связанного с изготовлением МПП.

Так, необходимость применения современной элементной базы вынуждает осваивать использование МПП независимо от возможностей производства (рис. 2).

Например, применение компонентов с матричным расположением выводов позволяет соединить все периферийные выводы этого компонента с другими элементами слоя в одной плоскости. Если существует возможность расположения еще одного проводника между периферийными выводами матричного компонента, то в этом случае в одной плоскости можно разместить проводники с двух периферийных рядов выводов матричного компонента. Как правило, современные соотношения зазоров, ширины проводников и минимального расстояния между выводами компонентов позволяют разместить один (реже два-три) проводника в зазоре между контактными площадками выводов. При этом многие компоненты содержат более 400 выводов, каждый из которых необходимо соединить с другими элементами топологии. Таким образом,

Таблица 1. Средние цены на отечественном рынке производства ПП для плат 4-го класса точности при объеме партии 20–50 кв. дм. Анализ цен осуществлен по данным на март 2010 г.

Двусторонние печатные платы	Многослойные печатные платы	
		
		4-слойные — 600 руб./кв. дм
		6-слойные — 800 руб./кв. дм
8-слойные — 1000 руб./кв. дм		
140–200 руб./кв. дм		



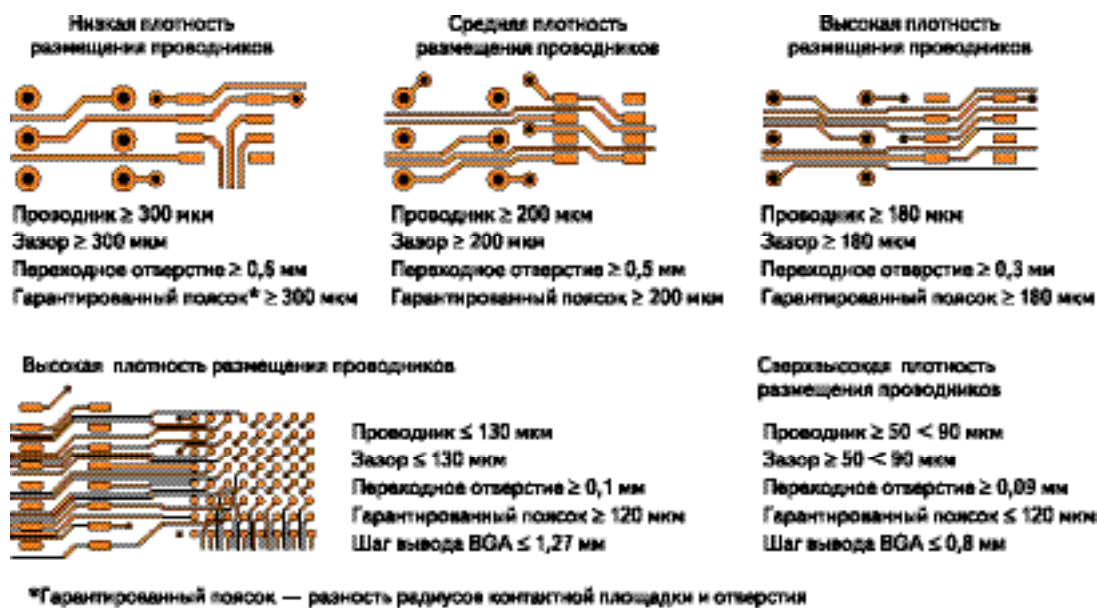


Рис. 2. Геометрические соотношения элементов топологии ПП

для соединения остальных выводов необходимо контактные площадки соединить посредством переходных отверстий с другой, расположенной ниже плоскостью. В другой плоскости проводники разместятся аналогичным образом. Следует отметить, что, кроме непосредственного соединения, необходимо, чтобы выполнялись определенные схемотехнические требования, как, например, введение дополнительных слоев «земли» и питания. Помимо того, нужно учитывать, что пространство на внешней стороне ПП, противоположное BGA-компонентам, как правило, занято конденсаторами, что существенно ограничивает площадь поверхности, отводимую под проводники. Таким образом, количество слоев, требующееся для простейшего соединения матричного компонента, растет год от года в связи с уменьшением шага выводов и увеличением их количества. Например, широко используемый компонент фирмы XILINX XC2V4000 в корпусе BGA с 957 выводами с шагом 1,27 мм требует для трассировки более 8 слоев, если технологические параметры производства соответствуют параметрам 0,15/0,15 мм проводник/зазор с использованием скрытых и глухих микропереходов.

Популярные тенденции в области энергосбережения среди производителей светотехнического оборудования, а также среди производителей продукции специального назначения — бортовой электроники, имеющей высокую удельную мощность и высокий класс точности, заставляют обратить внимание на печатные платы, выполненные на металлоосновании. Существует достаточно большое количество способов формирования таких плат (метод наклеивания, непосредственного формирования рисунка на металле через слой изолятора, на предварительно сформированных полуфабрикатах «металлооснование – изолятор – фольга» и т. п.). Однако способ, при котором топологическая структура, выполненная на изоляторе, припрессовывается

к металлооснованию почти так же, как при формировании МПП, показал высокую воспроизводимость и устойчивость технологических процессов.

При прессовании плат на металлооснование в промышленных условиях для установки пакета «алюминиевое основание – диэлектрик – токопроводящий слой», как правило, требуется изготовление дополнительной дорогостоящей оснастки, размер которой соизмерим с плитами пресса. Применение малогабаритного пресса позволяет резко снизить расходы на изготовление ПП, что бывает особенно актуальным при небольших объемах изготавливаемых партий.

Используя высокотехнологичное оборудование, относительно просто вести изыскания в области новых технологий, даже путем несложного сочетания технологических операций и недавно появившихся на рынке материалов с новыми свойствами. Например, в области наиболее перспективных ПП с высокой плотностью межсоединений (High Density Interconnect, HDI) часто используются заполненные глухие отверстия (filled via). Существуют несколько способов формирования подобных технологических структур, однако, используя комбинацию технологических операций прессования и низкотемпературного препреги, относительно просто получить требуемые технологические решения в рамках вновь предлагаемой технологии.

Стоит отметить, что производители электронных приборов склонны размещать заказы у одних и тех же производителей плат, предлагающих обширную номенклатуру выпускаемых изделий. Поэтому те из контрактных производителей, которые не способны обеспечить выпуск наиболее сложных плат заказчика, могут автоматически потерять весь объем заказов со стороны этого клиента.

Таким образом, освоение производства МПП является насущной проблемой для всех тех, кто ориентирован на удержание конкурентоспособного положения на рынке ПП.

Типовая технология изготовления МПП

Несмотря на все большую распространенность МПП среди российских изготовителей электронной техники, спросом пользуются наиболее простые из них — четырехслойные со сквозными отверстиями. По различным источникам, их доля составляет около 60% от общего количества производимых МПП. Среди оставшихся около 50% составляет доля шестислойных ПП, остальная часть распределяется аналогичным образом между восьмислойными платами и др.

Для специалистов в области производства типовых ДПП переход на изготовление МПП не должен представлять особой сложности. В первом приближении технология производства типовых 4–6-слойных плат со сквозными металлизированными отверстиями выглядит так, как показано на рис. 3.

Формирование рисунка топологии внутренних слоев

Внутренние слои изготавливаются негативным методом и подобны ОПП без отверстий. Однако чаще используются заготовки, на которых топология сформирована с обеих сторон. На технологических полях этих заготовок формируются несколько отверстий и/или реперных структур для дальнейшего совмещения слоев между собой. Дополнительно, перед сборкой пакета рекомендуется провести подготовку слоев микротравлением.

Сборка пакета и прессование

Сборка пакета (рис. 4) — размещение слоев в необходимой последовательности. При этом наружные слои являются фольгированными (или представляют собой сплошную медную фольгу), а заготовки внутренних слоев чередуются связующими листами — препрегом. Все эти листы совмещаются между собой посредством установки на штифты в отверстия, предварительно сформированные на полях.

Прессование пакета представляет собой последовательные этапы предварительного нагружения, выдержки под давлением и снятия нагрузки с поддержанием заданных температурных режимов в каждой из фаз.

- Установка величины усилия между плитами прессы: 2 МПа (2 т/дм²).
- Нагрев до температуры, соответствующей температуре фазы гелеобразования препрега: 150...175 °С.
- Прессование с предустановленной температурой в течение 20–60 мин.
- Охлаждение под давлением (около 2,2 МПа) до температуры не более 35 °С.

Формирование отверстий и их предварительная металлизация.

Создание топологии на внешних слоях МПП

После однозначного позиционирования заготовки МПП на станке осуществляется сверление сквозных отверстий. Далее обеспечивается требуемая степень очистки отверстий от наноса смолы на торцах контактных площадок внутренних слоев платы. Эта операция подобна подготовке к металлизации обычных двусторонних плат и предусматривает наличие дополнительных ванн.

Вышеописанные технологические этапы используются большинством отечественных производителей МПП ввиду простоты, накопленного опыта и наличия нормативной документации. Безусловно, при изготовлении МПП более сложных конструкций необходимо учитывать некоторые особенности, и вариантов развития этой технологии не меньше, чем еще несколько лет назад существовало в технологии изготовления ДПП.

Как было замечено ранее, этот процесс отличается от традиционного формирования ДПП: в него входит операция прессования. Таким образом, для того чтобы осуществить переход к освоению производства многослойных плат, необходимо дополнить существующий комплект оборудования прессом.

Установка прессования

Анализ рынка оборудования для производства ПП показывает, что существует богатый выбор установок прессования. Организация производства МПП может значительно отличаться по стоимости (в зависимости от объема производственной программы и сложности

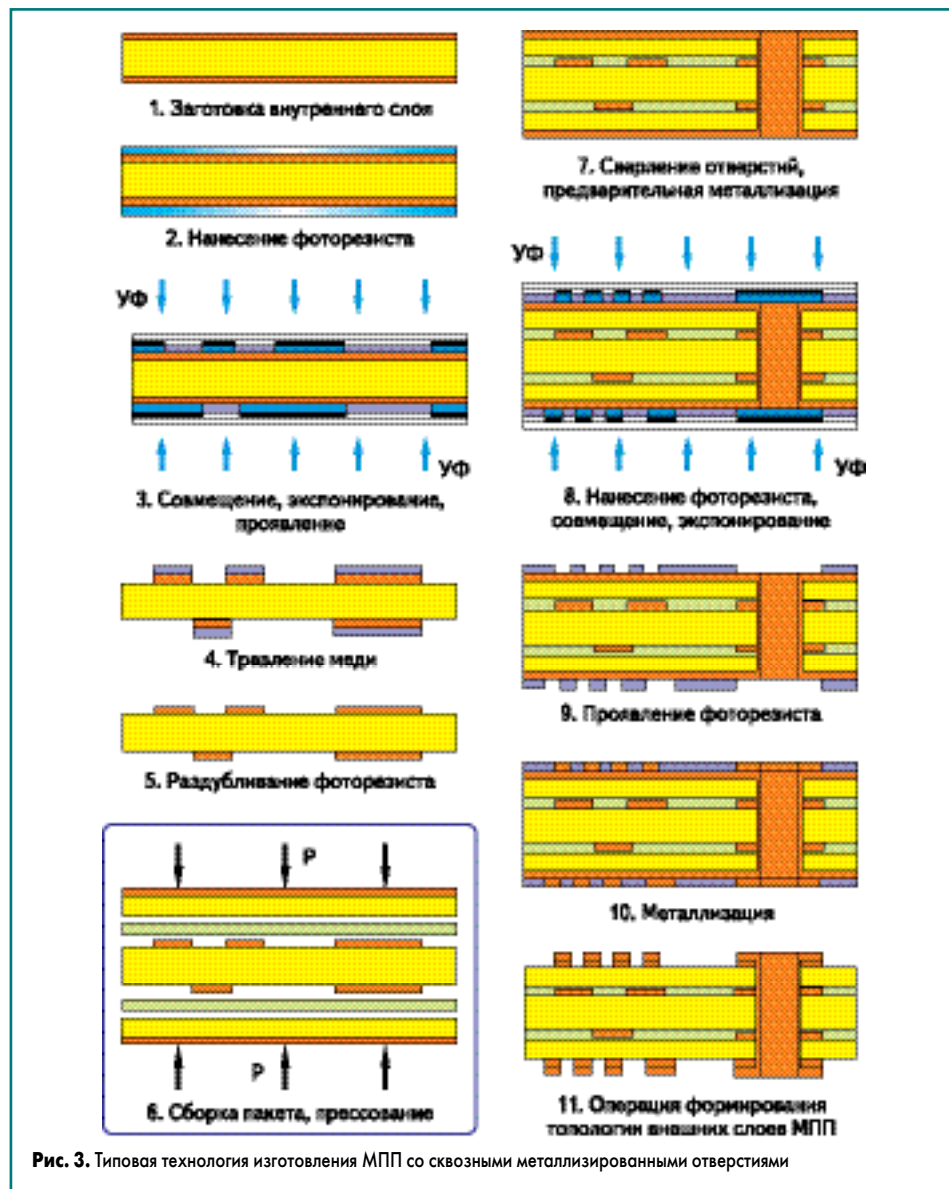


Рис. 3. Типовая технология изготовления МПП со сквозными металлизированными отверстиями

продукции). Некоторые из операций производства ПП могут потребовать вложений в оборудование на уровне нескольких миллионов рублей. Однако при дооснащении производства ДПП до уровня МПП целесообразным является подход, при котором первоначальная обработка режимов прессования происходит на простом в эксплуатации оборудовании. При появлении возможности изготовления типовых МПП относительно просто приобрести опыт как операторам, участвующим в технологическом процессе, так и специалистам-конструкторам при обработке конструктивных решений.

В дальнейшем, при накоплении положительного опыта в освоении процессов изготовления МПП, следует сделать выбор в пользу более функционально сложного и производительного оборудования. Однако первоначально приобретенный пресс можно продолжать использовать при изготовлении прототипов, относительно простых МПП, при проведении входного контроля базовых материалов и т. п.

Несколько лет назад на рынке прототипного оборудования ПП появился пресс, отвечающий основным требованиям технологического процесса МПП. Пневматический мало-

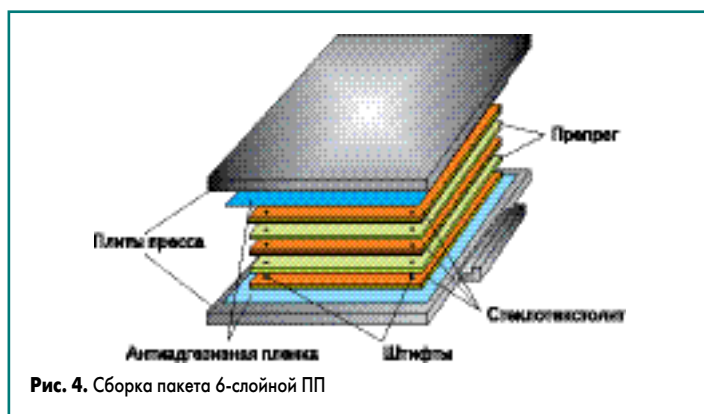


Рис. 4. Сборка пакета 6-слойной ПП

Таблица 2. Технические характеристики прессы модели RMP 210

Размер заготовки, мм	250×350
Максимальный размер платы, мм	210×300
Рабочее давление	>12 т (120 кН)
Точность поддержания усилия прессования, кН	1,5
Максимальная температура, °С	175
Время выхода на температурный режим	не более 30 мин
Точность задания времени прессования	±1 с
Скорость охлаждения заготовки	не более 2 °С/мин
Электропитание	~230 В, 50 Гц, ≤16 А
Габариты, мм	600×600×1300
Вес, кг	130

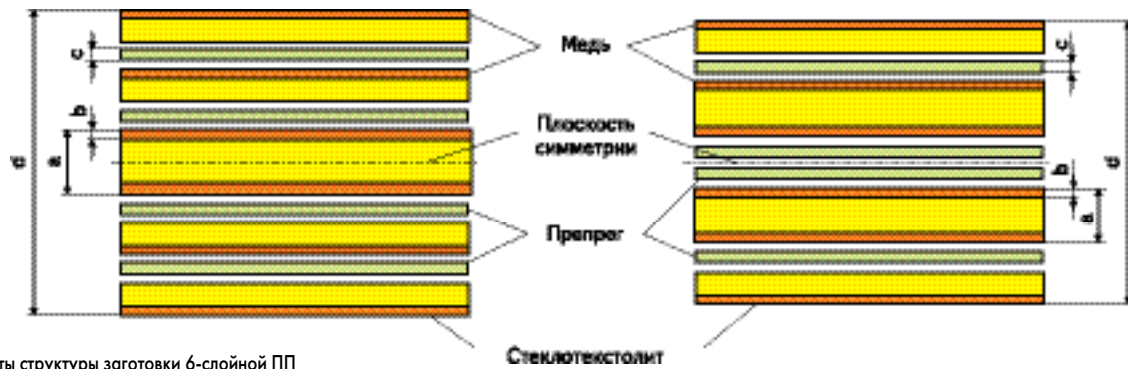


Рис. 5. Варианты структуры заготовки 6-слойной ПП

габаритный пресс модели RMP 210 фирмы Bungard (Германия) предназначен для производства многослойных печатных плат. Пресс не нуждается в дополнительной наладке, прост в эксплуатации и позволяет приступить к изготовлению МПП непосредственно после готовности внутренних слоев без использования специальных приспособлений.

Корпус пресса разделен на две основные части: в нижней части находится встроенный компрессор с элементами системы управления, в верхней — пневматический привод с нагревательными плитами. Привод и плиты размещены внутри стальной сварной рамы. Наружная облицовка выполнена из алюминиевых элементов.

Установка управляется при помощи реле давления, двух цифровых регуляторов температуры и таймера.

Пресс RMP 210 (табл. 2) позволяет получать МПП (до 8 слоев) в количестве 2–3 заготовки в смену. Так, например, типовой цикл прессования занимает около 3 часов.

При достаточно высокой загруженности пресса возможна модернизация его рабочей зоны с целью повышения производительности за счет дооснащения пресса более мощной охлаждающей системой, что позволит снизить время охлаждения плит (увеличить скорость охлаждения заготовки с 2 °С/мин до 6 °С/мин). Также существует возможность повышения качества производимых МПП за счет вакуумирования зоны прессования.

Одной из оценок эффективности предприятия является удельная отдача капиталовложений на единицу площади производственных помещений. Данный пресс не только чрезвычайно компактен и «неприхотлив» в обслуживании, но и не требует подвода каких-либо коммуникаций, кроме электроэнергии, и может эксплуатироваться в сложных производственных условиях.

В последнее время все чаще предлагаются новые материалы для изготовления МПП, опыт использования которых у российских производителей отсутствует. Даже при наличии регламента на их использование отсутствие опыта работы с ними способствует появлению брака. Пресс модели RMP 210 достаточно удобно использовать для выявления точных значений технологических параметров. Например, для определения точного времени телеобразования препрега, содержания количества связующих и летучих веществ. Эти параметры могут ме-

няться от партии к партии и зависеть от времени и условий хранения. Достаточно важна информация о выборе точного времени приложения давления при прессовании основной партии. Данный пресс был бы незаменим для организации входного контроля материалов для производства ПП. Используя его в совокупности с оборудованием для проведения точных электрических измерений емкости, индуктивности и сопротивления, легко сделать выводы о параметрах диэлектрической проницаемости, объемного сопротивления препрега и текстолита. Наличие пресса также позволит проводить исследования по оценке глубины проникновения химических растворов в межслойные пространства и оценке протекания явлений электролиза в межпроводниковых пространствах (Conductive Anodic Filament, так называемый САФ-эффект).

Особенности формирования МПП

При конструировании многослойных плат следует учитывать ряд технологических требований, например правила конструирования симметричного стека. (Количество и толщина слоев, включая плотность рисунка, относительно продольной плоскости, разделяющей поперечное сечение платы, по возможности должны быть равными.)

Толщину препрега следует выбирать с учетом высоты рельефа (рис. 5, $c > 2b$). В случае обращенного друг к другу рисунка топологии толщина препрега должна быть более чем в два раза больше суммы высот проводников на этих слоях, но не менее 120 мкм. Для более сложных плат при учете волнового сопротивления цепей необходимо учитывать коэффициент диэлектрической проницаемости слоя в сочетании с его толщиной.

Как правило, такие многослойные платы не могут быть вырезаны на гильотине, поэтому необходимо предусмотреть зазоры между платами для разделения групповой заготовки на станке с ЧПУ (фрезерование по контуру) или для отрезки на дисковых алмазных пилах.

Свободные от топологии поверхности внутренних слоев и технологические поля рекомендуется заполнять либо сетчатыми полигонами, либо периодическим рисунком (рис. 6). Данные технологические приемы позволяют увеличить адгезию между слоями, улучшить отвод газов из межслойного пространства во время прессования и помогают минимизировать деформацию в результате последующих термических воздействий во время операции пайки.

Таким образом, для того чтобы изготовить качественную многослойную печатную плату, необходимо учесть вышеозначенные требования и обеспечить технологический процесс, включающий в себя базовые операции изготовления двусторонних печатных плат и операцию прессования, выполняемую на установке RMP 210.

При приобретении данного оборудования фирма-поставщик предлагает услуги по дополнительному абонентскому обслуживанию, которое включает в себя отладку технологического процесса, поддержание оборудования в работоспособном состоянии, рекомендации по выбору расходных материалов и химикатов.

При необходимости квалифицированный технолог проведет обучение персонала непосредственно на рабочих местах с учетом типовых для предприятия технологий, что повысит эффективность последующей работы операторов с конкретными моделями оборудования при изготовлении МПП.

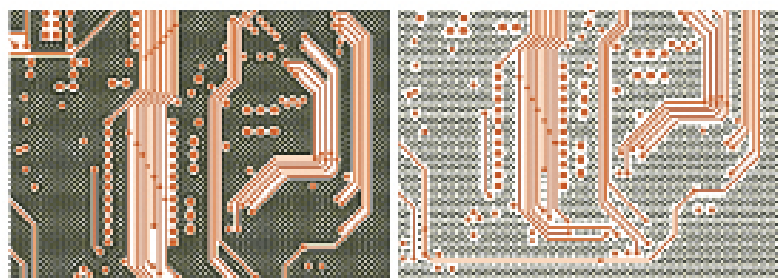


Рис. 6. Применение сетчатых и точечных полигонов на внутренних слоях МПП