

Продолжение. Начало в № 4'2015

Начальный курс производства электроники. Часть третья-бис. Подробнее о многослойных печатных платах

Аркадий Медведев
Аркадий Сержантов

Сборка слоев МПП

Цели:

- Сборка тонких жестких оснований и листов препрега в правильной последовательности.
- Обеспечение совмещения слоев относительно друг друга.

Правильная сборка позволяет избежать коробления платы. Для этого необходимо придерживаться следующих простых требований:

1. Относительно условного центра платы должны быть симметричны:
 - Толщина диэлектрического слоя.
 - Плотность рисунка каждого слоя.
 - Толщина медной фольги.
 - Направления трассировки при ортогональном проектировании топологии проводников.
 - Количество листов препрега.
2. Предпочтительно, чтобы количество слоев было четным.
3. Должны совпадать направления переплетения всех тонких оснований и листов препрега.
4. Должны использоваться материалы одной марки и с близкими датами изготовления.

Предварительная подготовка к сборке слоев

Перед проведением сборки должны быть проведены описанные ниже операции.

Тонкие основания

Все тонкие основания слоев должны быть:

- Снабжены фиксирующими отверстиями, если используется штыревая система совмещения (Pin-Lam), или на технологическом поле слоев должны быть выполнены реперные знаки, привязанные к рисунку слоя.
- Должен быть вытравлен рисунок схемы на обеих сторонах слоя или с одной стороны, если это внешний слой платы. Переходные отверстия, если они есть на слое, должны быть металлизированы.
- Поверхности слоев должны быть очищены абразивами и/или микротравлением или химически.

- Оксидированы для улучшения адгезии смолы и меди. Чаще всего используют черный оксид, однако в последнее время появилась тенденция применения коричневого и красного оксидов.
- Прогреты в печи для удаления из них влаги и других летучих компонентов, способных привести к расслоению платы и образованию пустот.
- Проверены направления плетения армирующих оснований.
- Проверены значения толщины оснований.
- Протестированы на наличие разрывов, коротких замыканий, неполного травления и ширины проводников. Обычно для этого используют системы автоматической оптической инспекции (АОИ), так как при современной плотности рисунков плат визуальный контроль не способен обеспечить требуемую достоверность.

Листы препрега

Все листы препрега должны быть:

- Требуемого размера (не из лоскутов).
- Тщательно высушены.
- Снабжены крепежными отверстиями по возможности чуть большего диаметра для обеспечения входа штырей пресс-формы.
- Проверены направления плетения.
- Проверены значения толщин.
- Определено время гелеобразования (методику см. далее).

Совмещение многослойных плат

Для правильного совмещения всех слоев относительно друг друга с учетом предстоящего сверления используются пресс-формы, снабженные базовыми штырями. Во всех слоях должны быть пробиты фиксирующие (базовые) отверстия. Существует несколько способов совмещения. Хронологически все развивалось от простой системы с 4 штырями до системы совмещения на основе 14 базовых штырей по всему периметру платы.

При изготовлении 4-слойных плат нет особой необходимости в использовании системы совмещения. Если же производятся платы с большим количеством слоев (10 или 12), производителю следует вы-

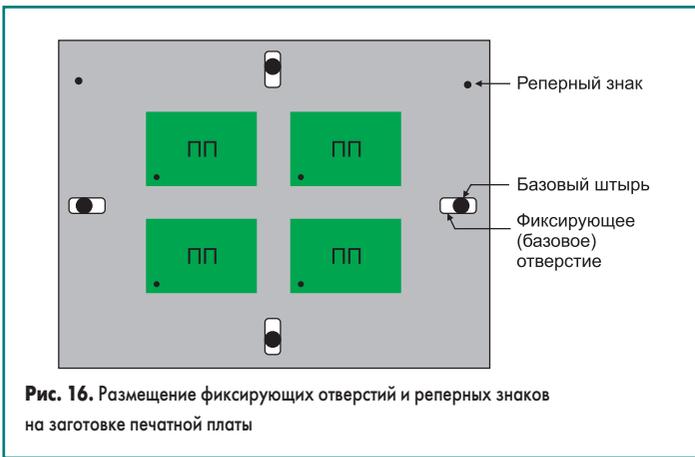


Рис. 16. Размещение фиксирующих отверстий и реперных знаков на заготовке печатной платы

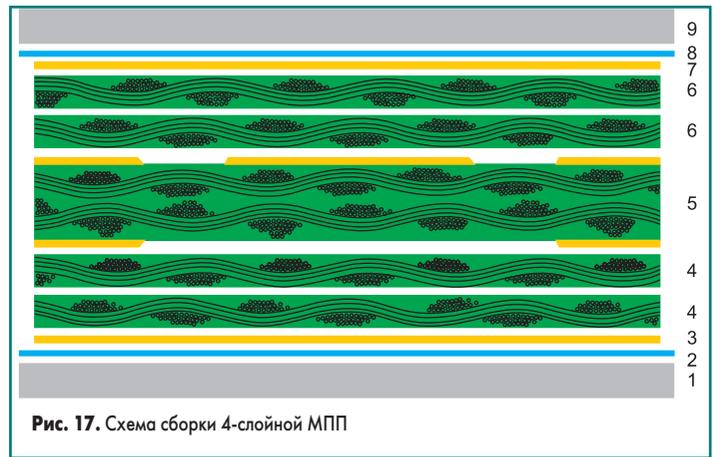


Рис. 17. Схема сборки 4-слойной МПП

брать систему совмещения, обеспечивающую требуемую точность.

Показанная на рис. 16 система совмещения позволяет обеспечить точность совмещения 0,20 мм. При этом если контактные площадки на внутренних слоях на 0,4 мм больше просверливаемых отверстий, совмещение будет обеспечено, то есть отверстие не выйдет за пределы контактной площадки. Если при проектировании будет заложен размер кольцевого ободка вокруг отверстия 0,2 мм, а максимально допустимая погрешность совмещения — 0,195 мм, то это обеспечит минимальную конечную ширину ободка вокруг отверстия (гарантийный пояс) — 0,05 мм.

Для обеспечения совмещения элементов межсоединений в многослойных структурах МПП должны быть выполнены следующие шаги:

- Все внутренние слои должны быть снабжены реперными знаками, по которым позиционируют оптический прицел пробивочного станка.
- Все технологические операции должны быть выполнены в одинаковой климатической среде, чтобы обеспечить корректную работу программ сверления и совмещение всех пленок относительно друг друга.
- После травления следует произвести пробивку фиксирующих отверстий всех слоев на одном оборудовании.
- После сборки слоев и прессования заготовки устанавливаются на сверлильный стол со штыревой системой базирования, аналогичной используемой при прессовании.

При правильном использовании описанная система установки обеспечивает хорошую точность совмещения. Еще большую точность совмещения (по крайней мере в два раза) обеспечивает современная система, названная Mass-Lam. В этой системе не используются фиксирующие штыри. Нет их и на пресс-форме. Для совмещения предусмотрены лишь реперные знаки на слоях, по которым они совмещаются до прессования и фиксируются тем или другим способом: склеиваются, склеиваются или локально (по технологическому полю) спрессовываются. После прессования реперные знаки на внутренних слоях вскрываются торцевой фрезой и по ним высверливаются базовые отверстия. При этом возникает возможность «располовинить» погрешности совмещения, то есть уменьшить их в два раза относительно старой системы Pin-Lam.

Процесс сборки слоев

Процесс сборки слоев следует проводить в чистых условиях. Все верхние и нижние поверхности тонких оснований и слоев препрега предварительно должны быть очищены антистатической щеткой от всех посторонних частиц, таких как пыль. На рис. 17 показана сборка 4-слойной платы. Пояснения всех индексов рисунка приведены ниже.

Схема сборки:

1. Плита пресс-формы с базовыми штырями (на рисунке не показаны), предназначенными для того, чтобы потом поочередно насаживать на них все слои платы и препрега.
2. Покровный лист (антиадгезионная пленка фторопласта или арелокса).
3. Первый слой платы может быть представлен в нескольких вариантах:
А — тонкое основание, протравленное с одной стороны и покрытое медью с другой (направленной вниз);
В — тонкое основание без проводников с внутренней стороны и с медной фольгой с другой (направленной вниз);
С — лист медной фольги, как на рис. 14.
4. Листы препрега накладываются в нужном количестве, нужной толщины и с требуемой стеклотканью, при необходимости в комбинации с жесткими основаниями для достижения необходимой толщины слоя диэлектрика.
5. Внутренний слой.
6. Листы препрега (см. п. 4).
7. Последний слой сборки накладывается, как было описано в п. 3, только в обратном направлении, так чтобы медный слой был снаружи сборки.
8. Сверху укладывают покровный лист (см. п. 2).
9. Поверх всех слоев кладут верхнюю часть пресс-формы. Базовые штыри не должны выдаваться за пределы плиты пресс-формы. Пресс-форма обычно позволяет прессовать до шести плат толщиной 1,6 мм каждая. Поэтому шаги 2–8 могут быть повторены несколько раз перед выполнением 9-го шага. Между пакетами сборки (между слоями 8 и 2) в таком случае кладется пластинка из нержавеющей стали для разделения сборок плат.

Прессование

Цель: скрепление всех внутренних слоев и листов препрега в твердую печатную плату.

Процесс

Процесс основан на действии создаваемых прессом температуры и давления. Расплавленная под действием температуры эпоксидная смола в составе листов препрега под давлением проникает и заполняет все открытые области между слоями платы. После этого она полимеризуется до твердого состояния, в результате чего происходит «схватывание» и отверждение всех слоев.

Оборудование для прессования

Наиболее часто используют гидравлический пресс. Пресс-форма с размещенной в ней стопкой слоев помещается в один из просветов пресса, образованных сдавливающими плитами. Плиты нагреваются паром или электричеством. Для равномерного распределения давления и тепла они должны быть абсолютно плоскими и достаточно толстыми.

В последнее время применяется и вакуумное прессование. На первом этапе при расплавлении эпоксидной смолы из стопки слоев удаляют всю влагу, воздух и растворители. Это позволяет использовать более низкое давление пресса и уменьшает сдвиг слоев платы, предотвращая их рассовмещение. Таким образом, к преимуществам вакуумного прессования можно отнести более точное совмещение слоев и устранение пустот между ними.

Вакуумное прессование проводится несколькими способами. Можно разместить в вакуумной камере весь пресс, можно поместить пресс-форму в вакуумную сумку, а последнюю — в пресс.

Время гелеобразования

Время гелеобразования — короткий период в цикле прессования, в котором эпоксидная смола находится в жидком состоянии, необходимом для ее выделения из листов препрега и заполнения всех пустот медного рисунка тонких оснований. За пределами этого времени смола густеет (приобретает гелеобразное состояние) и затем твердеет.

Применяется два вида препрега — ow gel и high gel с временем гелеобразования 70–150 и 150–280 с соответственно. Выбор определяется реализуемым циклом прессования.

Цикл прессования

Существует множество разновидностей технологий прессования, они делятся на одно- и двухстадийные.

Двухстадийный цикл прессования

Показанный на рис. 18 цикл прессования используется в основном для многослойных плат с большим количеством слоев и высокой плотностью рисунка. Учитывая, что пресс предварительно разогревают до 177 °С, при помещении в него пресс-формы может произойти преждевременное вытекание избыточной смолы из заготовки. Для предотвращения этого явления устанавливают термоизоляцию, прокладывая между плитами пресса и пресс-формой специальную прокладку, состоящую из листов плотного картона или подобного материала.

На время нагрева слоев устанавливают низкое давление — от 0,7 до 1,8 кг/см². Очень важно знать, в какой момент установить полное давление. Обычно рассматривается так называемое окно прессования, или момент смыкания плит пресса для создания давления (на рисунке — интервал «О»). Это происходит в пределах температур 70–140 °С. В процессе нагрева смола сначала плавится, а затем полимеризуется. Если полное давление подать на ранней стадии — из препрега будет выдавлено слишком много смолы через открытые края стопки, что приведет к ее недостатку в плате. Если же применить полное давление слишком поздно, то из-за недостаточной пропитки платы смолы будут образованы межслойные пустоты. В двухстадийном цикле прессования используют препрег high gel с временем гелеобразования 150–280 с (в зависимости от его марки и типа).

Полное давление в пределах 10–20 кг/см² должно быть установлено за некоторое время до полной полимеризации смолы. Его выдерживают в течение 60 мин при температуре плит пресса 177 °С, после чего плату остужают.

Охлаждение платы может быть проведено в «холодном прессе». Для этого все еще горячую пресс-форму с заготовками помещают в другой пресс, где она остывает под небольшим давлением. Так как в полученной после прессования заготовке плат полное отверждение еще не закончено, проводят ее финишное отверждение (термостабилизацию), выдерживая ее не менее 4 ч в печи при температуре 150 °С.

Одностадийный цикл прессования

При данном цикле прессования используют препрег low gel с временем гелеобразования 70–150 с. Как видно из названия, на все время прессования (60 мин) сразу устанавливают полное давление. Большая его величина — около 25 кг/см² — обусловлена меньшим содержанием смолы в препреге и его меньшим временем гелеобразования. Процессы охлаждения и дополнительного термоотверждения аналогичны описанным для двухстадийного цикла прессования.

Благодаря своей более простой реализации одностадийный цикл прессования используется чаще — до 90% объема производства многослойных плат с небольшим количеством слоев.

После охлаждения плату вынимают из пресс-формы и отрезают выдвленную и затвердевшую по ее краям смолу (облой).

Сверление и очистка отверстий

Цель: формирование отверстий и удаление из них возможных следов расплавленной смолы, чтобы после проведения металлизации отверстий обеспечить надежное соединение с внутренними слоями.

Процесс, за исключением операций сверления и удаления замасливания, аналогичен описанному в предыдущих статьях [1–3].

Сверление отверстий

По большому счету, сверление отверстий производят по той же методике, что и для двусторонних ПП [1]. Однако вследствие повышенных требований к отверстиям условия сверления отличаются. Чтобы снизить нагрузку на основание платы, сверление следует производить более плавно. Необходимо соблюдать следующие предосторожности:

- Меньшая толщина стопки: лишь 1–2 платы по сравнению с 3–4 двусторонними. Это позволяет сократить нагрев сверла, что продлевает срок его службы и уменьшает замасливание стенок отверстий расплавленной смолой.
- Как правило, плату накрывают накладкой, например из гетинакса или алюминиевой фольги, а под плату кладут специальную подкладку. Использование таких накладок и подкладок позволяет сни-

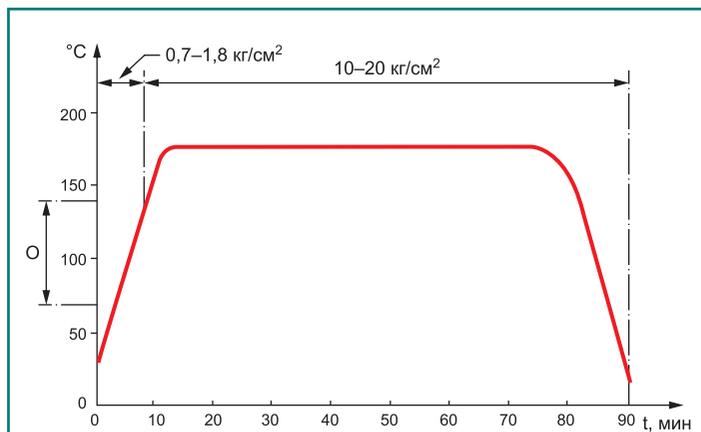


Рис. 18. Режимы прессования пакета слоев МПП: изменение температуры и давления во времени

зить температуру сверла и предотвратить образование заусенцев на внешних слоях платы.

- Скорость вращения и подачи сверла обычно снижают по сравнению со сверлением двусторонних плат, чтобы уменьшить нагрев сверла и предотвратить возникновение гвоздевого эффекта.
- Допустимое количество просверливаемых одним сверлом отверстий — от 1000 до 2000 (сравните: для двусторонних плат — 4000–5000). Это обеспечивает меньшее затупление сверл и, соответственно, снижает их нагрев при сверлении.
- Теоретически, после сверления 1000–2000 отверстий сверла становятся непригодными и подлежат утилизации. Однако на производстве их перезатачивают до двух раз и используют для сверления двусторонних плат, где их снова перезатачивают два-три раза. Это становится возможным по причине меньших требований к качеству отверстий ДПП.

Проблемы сверления отверстий в стеклоэпоксидных основаниях Слой эпоксидной смолы

При сверлении режущие кромки сверл сильно нагреваются, за счет чего происходит плавление и запекание смолы на стенках отверстий. Поэтому следует выполнять описанные выше рекомендации по сверлению. Но возможность замасливания возникает в любом случае, однако нельзя исключать вероятность образования подобного покрытия смолой стенок отверстий, включая кромки контактов внутренних слоев (рис. 19). Если его не удалить, смола образует изоляционный слой и нарушит требуемое электрическое сопротивление слоев с металлизацией отверстия. Таким образом, очень важно произвести удаление образующегося слоя смолы.

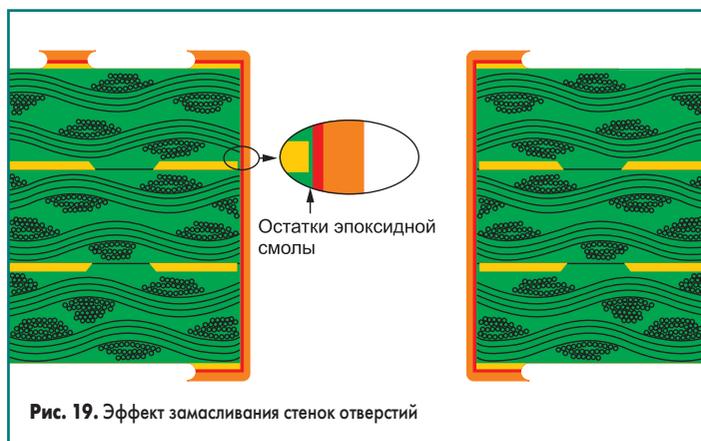


Рис. 19. Эффект замасливания стенок отверстий

Гвоздевой эффект

Гвоздевой эффект — явление утолщения медного слоя контактных площадок на границе прохождения сверла (рис. 20) — возникает при

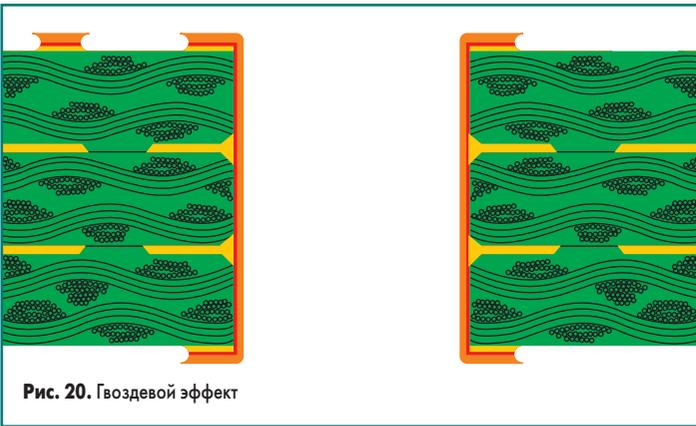


Рис. 20. Гвоздевой эффект

нарушении режимов сверления. В итоге толщина контактов в этих местах может быть увеличена вдвое при особо неблагоприятных условиях, таких как неверная скорость вращения или подачи сверла, износ сверла и нарушение его геометрии. Утолщенная вследствие гвоздевого эффекта медь грубеет, что приводит к образованию трещин в металлизации отверстий.

Заусенцы

Заусенцы — кромки неправильной формы по краям просверленных отверстий (рис. 21). Образуются заусенцы из-за нарушения параметров сверления — геометрии сверла, недостаточного скрепления оснований во время сверления, неподходящих накладочного и подкладочного материалов или же при наличии пыли между ними и основанием платы.

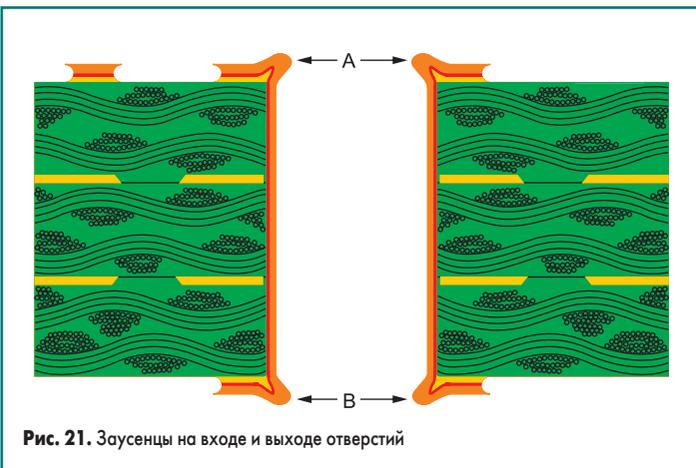


Рис. 21. Заусенцы на входе и выходе отверстий

За счет неравномерности электрического поля во время гальванической металлизации заусенцы интенсивнее покрываются медью. В итоге их покрытие приобретает более грубую структуру, что при последующей пайке может привести к образованию в них трещин. При сверлении следует избегать возникновения заусенцев, а при необходимости удалять их мелкой шкуркой. Но в результате шлифовки заусенцы могут быть вдавлены в отверстие, а значит, диаметр входа в отверстие (А на рис. 21) уменьшится. Неустраненные заусенцы приводят к утолщению металлизации краев (В на рис. 21) и возможности их скалывания в процессе сборки-монтажа печатных узлов.

Очистка отверстий

Удаление слоя смолы

Для обеспечения хорошего контакта с металлизацией отверстий очень важно, чтобы торцы контактных площадок внутренних слоев не были загрязнены смолой. Для этого со стенок отверстий необходимо удалить все остатки смолы. Такое удаление достигается с помощью сильных кислот — концентрированной серной кислоты или перманганата хромовой кислоты. При этом очень важно выдерживать

требуемое время погружения платы в очищающий раствор. Если плату передержать в кислоте, произойдет излишнее подтравливание стенок отверстий, то есть вытравливание из них смолы с оголением волокон стеклоткани. В случае же неполного травления слой смолы будет удален лишь частично.

Подтравливание диэлектрика

В течение многих лет для обеспечения надежности соединений требовалось обязательное подтравливание диэлектрика величиной 75 мкм. Но при этом ослаблялась электроизоляционная конструкция МПП. Поэтому в дальнейшем допускалось лишь легкое подтравливание диэлектрика порядка 25 мкм.

В процессе подтравливания из стенок отверстий начинают выдаваться края контактных площадок внутренних слоев (рис. 22). Предполагалось, что таким образом улучшается их контакт с металлизацией отверстий. Однако при этом слой металлизации отверстий оказывается растянутым и неравномерным, что может приводить к образованию в нем трещин. Вот почему в настоящее время уже не используется глубокое подтравливание диэлектрика.

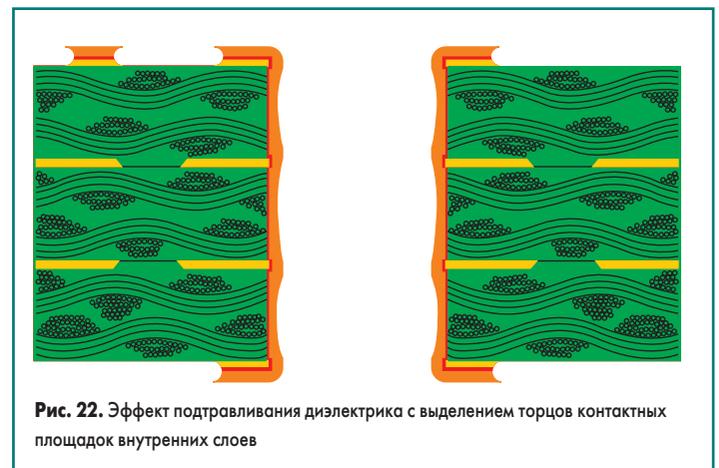


Рис. 22. Эффект подтравливания диэлектрика с выделением торцов контактных площадок внутренних слоев

При сильном подтравливании диэлектрика становится необходимым удаление волокон стеклоткани, выдающихся из стенок отверстий, так как в образующемся стеклянном ворсе остается много технологических загрязнений, металлизация поверх них нежелательна. Удаление этих волокон достигается применением очень сильных кислот, например плавиковой кислоты, что недопустимо из экологических соображений.

В связи с этими соображениями в последнее время повсеместно используется так называемая перманганатная очистка отверстий, обеспечивающая ровное подтравливание с качественной очисткой стенок отверстий от наноса смолы.

Завершение многослойной платы как двусторонней

После прохождения всех вышеописанных стадий многослойная плата подвергается финишным процессам, аналогичным применяемым при производстве двусторонних ПП:

- Химическое меднение отверстий.
- Формирование рисунка внешнего слоя.
- Тентинг крепежных отверстий.
- Металлизация рисунка и отверстий.
- Снятие резиста металлизации.
- Травление.
- Снятие олова-свинца или олова для плат SMOBC (слой припоя в качестве резиста травления на медном основании).
- Нанесение фотополимерного масочного покрытия.
- Финишные покрытия.
- Маркировка.
- Фрезерование контура.
- Золочение концевых контактов.