

Производство гибких и гибко-жестких печатных плат. Нанесение покровного слоя

Эта статья — продолжение введения в технологии гибких печатных плат, начатое публикациями «Производство гибких печатных плат без металлизированных отверстий» [1] и «Производство гибких печатных плат с металлизированными отверстиями» [2].
Материалы статьи — результат плодотворного сотрудничества науки и производства: инженеринговой компании «ЭЛЕКТРОН-СЕРВИС-ТЕХНОЛОГИЯ» и ФГУП «Государственный Рязанский приборный завод».

Аркадий Медведев,
д. т. н., профессор

Геннадий Мылов
Валентина Люлина
Юрий Набатов
Петр Семенов
Аркадий Сержантов

Определение и назначение операции герметизации покровным слоем

Нанесение покровного слоя представляет собой операцию с применением нагрева и давления для полной герметизации вытравленного рисунка платы (рис. 1). Покровный слой защищает схему от воздействия факторов окружающей среды и электрического замыкания.

Нанесение покровного слоя обеспечивает выполнение физических требований к схеме со стороны конечного потребителя, хороший выход годных изделий при последующих операциях пайки, оплавления припоя и ремонте платы, уменьшает вероятность расслоения при изгибах.

Выбор материала [3–7]

Адгезив

Низкая текучесть адгезива, применяемого в гибких композиционных материалах, требует высокого давления в ходе прессования, с тем чтобы обеспечить облегание проводников схемы адгезивом и покровной пленкой. Количество адгезива покровной пленки, вытесняемое из зоны над медными проводниками, зависит от давления прессования, применяемых прессовых подушек и высоты профиля проводников.

Толщина слоя адгезива должна быть достаточной для того, чтобы обеспечить хорошую герметизацию схемы без воздушных включений. Общее правило для определения толщины адгезива, применяемого для герметизации односторонних и двусторонних плат, — использовать 25 мкм адгезива на каждые 35 мкм меди, включая и наращенную медь. Некоторые конструкции плат требуют отклонения от этого правила. При герметизации покровным слоем внутренних слоев МПП обычно используют 50 мкм адгезива на каждые 35 мкм меди.

Полиимидная пленка

Для герметизации схемы покровным слоем предпочтительнее пользоваться полиимидной пленкой толщиной 25 или 50 мкм, чтобы обеспечить большее облегание элементов рисунка, чем это дают более толстые пленки. По мере увеличения толщины пленки возрастает и необходимая величина давления прессования. Нужно принимать во внимание,

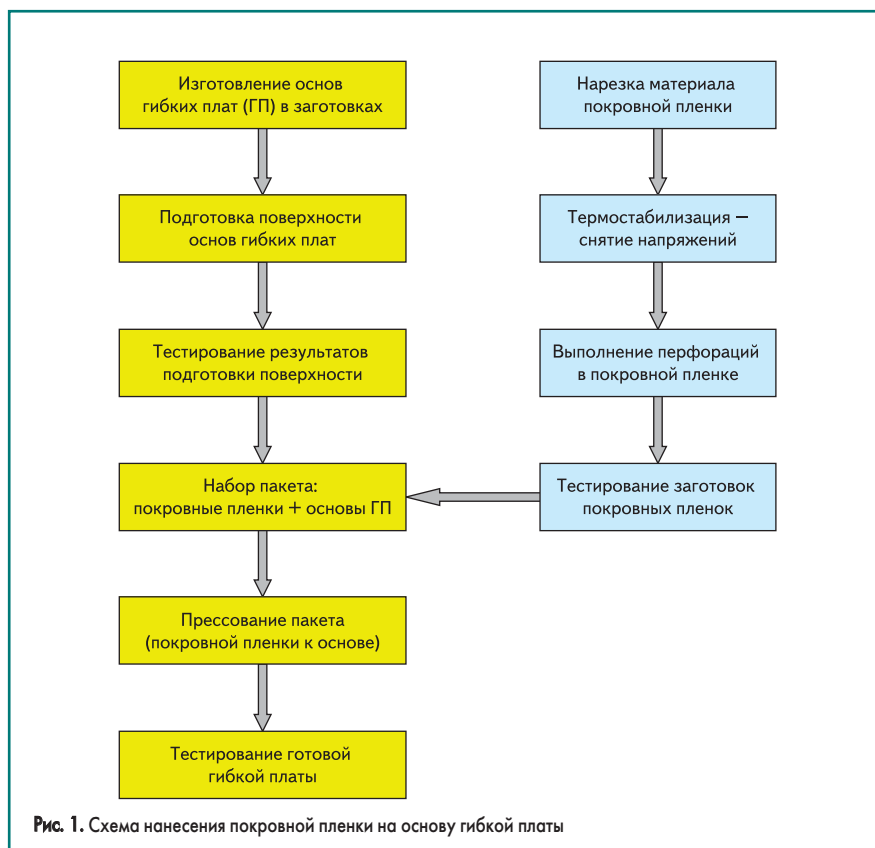


Рис. 1. Схема нанесения покровной пленки на основу гибкой платы

что покровная пленка перед нанесением на основу гибкой платы перфорируется в местах доступа к контактным площадкам, и поэтому при высоком давлении адгезив может выдавливаться на них из-под края перфорации. Кроме того, наблюдаются непредусмотренные изменения размеров изделия.

Хранение

Чтобы добиться наилучших результатов, материал покровной пленки следует хранить в среде с контролируемой температурой и влажностью (20...25 °С, относительная влажность не более 70%). При хранении в таких условиях покровная пленка сохраняет свои свойства, по крайней мере, не менее года. Хранения в холодильниках не требуется — пленку нельзя замораживать.

Слишком высокая температура или влажность отрицательно сказываются на стабильности линейных размеров и вызывают преждевременное старение неотвержденного адгезива. При отклонении от указанных режимов хранения не следует сразу же списывать покровную пленку, материал нужно проверить на пригодность к дальнейшему использованию.

Рулоны покровной пленки хранят в чистой зоне, защищая их от загрязнений и механических повреждений. При укладке на стеллажи или стенды следует пластиком или другим защитным материалом укрыть их от пыли и грязи окружающей среды.

Подготовка материала

Выбор материала осуществляется на основе конструкторской документации. Материал раскраивается в соответствии с указаниями технологической документации применительно к формату готовой платы или групповой заготовки, используемой для последующих сборочно-монтажных операций.

Раскрой пленочных материалов можно вести с помощью обычных резаков для бумаги. Для резки рулонных материалов обычно используются стандартными бумагорезательными машинами. Можно применять резательные машины с автоматической укладкой нарезанных листов. Необходимо следить за остротой рабочего инструмента, дабы избежать смятия и деформации нарезаемых материалов.

При снятии защитной пленки (как правило, полиэфирной) с покровной могут произойти небольшие изменения размеров последней. Поэтому при изготовлении плат с критическими допусками перед сверлением рекомендуется отслоить защитную пленку и положить ее опять на покровную пленку, дать материалу полежать в таком состоянии 15–30 минут. Это снимает напряжение в покровной пленке — она релаксирует. Операция по снятию напряжения должна выполняться в условиях чистой среды, поскольку при отрыве защитной пленки возникает статическое электричество, которое может притянуть грязь и пыль на покровную пленку. На автоматических установках резки и раскладки листов снятие напряжения может быть выполнено автоматически.

Выполнение перфораций в покровной пленке

Подготовка к сверлению

Перфорацию в местах доступа к монтажным элементам выполняют преимущественно сверлением до нанесения покровной пленки на основу гибкой платы, хотя в массовом производстве более приемлема высечка отверстий на групповом штампе.

Перед сверлением пакет покровной пленки укладывают между листами накладного и подкладочного материалов. Чтобы получить отверстия хорошего качества, количество листов покровной пленки в пакете не должно превышать десяти. Когда это практически осуществимо, покровную пленку следует укладывать адгезивом вверх, чтобы предохранить ее от деформаций при сверлении.

Остальные рекомендации — в предыдущей публикации [2].

Сверление

Сверление покровного слоя представляет собой довольно деликатный процесс, связанный с пластичностью материала. В первую очередь это сказывается на величине подачи сверла на один оборот, которая, в свою очередь, зависит от диаметра высверливаемого отверстия. Специально проведенные исследования показали, что соблюдение рекомендаций — параметров, представленных в таблице 1, дает оптимальные результаты.

Таблица 1. Параметры сверления покровной пленки

Диаметр сверла, мм	0,6	1,35	1,5
Подача на оборот, мм	0,05	0,06	0,08
Скорость резания, м/мин	100	100	120
Скорость вращения, тысяч об./мин	50	25	25
Скорость подачи, мм/с	40	35	25
Заготовок в стопке	10	10	10
Скорость отвода сверла, мм/с	400		

Примечание. Накладным материалом служил фольгированный алюминием композит толщиной 0,4 мм, подкладкой — то же толщиной 2,4 мм.

Оптимальное качество обеспечивается при использовании новых карбидных сверл, которые эффективны для 1000–2000 отверстий. Для снижения расходов можно пользоваться и должным образом перезаточенными сверлами, однако неправильная заточка сверл, тупые сверла и отклонение от оптимальных параметров сверления могут привести к чрезмерному нагреву зоны резания, что, в свою очередь, повлияет на качество отверстия.

При сверлении больших отверстий (от 5 мм и выше) иногда целесообразно вначале просверлить направляющие отверстия малого диаметра.

Проблемы сверления покровной пленки

После сверления необходимо удалить стружку и проверить полученные отверстия на отсутствие дефектов. Правильно просверленное отверстие имеет нормальные формы без искажения стенок отверстий и отслоения адгезива (рис. 2).

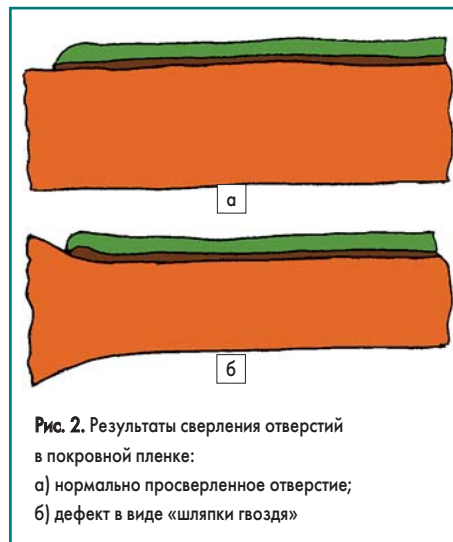


Рис. 2. Результаты сверления отверстий в покровной пленке:
а) нормально просверленное отверстие;
б) дефект в виде «шляпки гвоздя»

Дефект в виде «шляпки гвоздя»

Если после отделения защитной пленки отверстие выглядит грубым или произошел подъем основы на периферии отверстия (заусенец), то, возможно, произошло вырывание адгезива или слишком большая деформация в виде так называемого дефекта «шляпки гвоздя» (рис. 2б). Подобный дефект порождает две проблемы: деформированное основание вытесняет адгезив из зоны контактной площадки (рис. 3а), где он нужен для герметизации; он мешает полному приклеиванию основы к контактной площадке, что может приводить к капиллярному подтеканию припоя (рис. 3б).

В таких случаях, вместо того чтобы запускать все листы в производство, следует проверить, сказывается ли это отклонение на дальнейшем качестве, то есть провести покрытие одной платы и убедиться в отсутствии дефектов пайки (капиллярное затекание припоя, расслоение композиционного материала). Наилучшей проверкой на отсутствие дефекта «шляпки гвоздя» служит исследование микрошлифов отверстий под микроскопом (при этом следует пользоваться заливочным компаундом, который сам по себе не вызывает разбухания адгезива).

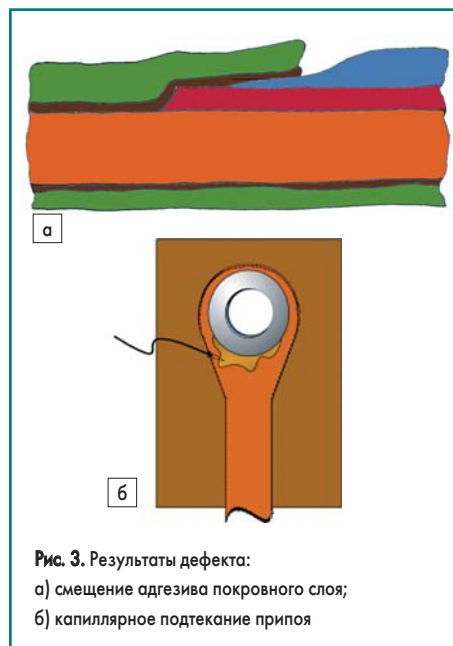


Рис. 3. Результаты дефекта:
а) смещение адгезива покровного слоя;
б) капиллярное подтекание припоя

Если отклонение от нормы сказывается на качестве, следует принять меры по его устранению или существенному уменьшению. Причиной дефекта обычно является тупое сверло или неправильная скорость подачи, которые ведут к увеличению тепловыделения. Температуру сверла снижают путем: а) увеличения скорости подачи и отвода сверла; б) уменьшения высоты обрабатываемого пакета; в) использования алюминиевой накладки и подкладки под пакет; г) использования только новых сверл и, как последнее средство, д) укладку алюминиевой фольги между каждым тремя-четырьмя слоями покровной пленки.

Налипание адгезива на сверло

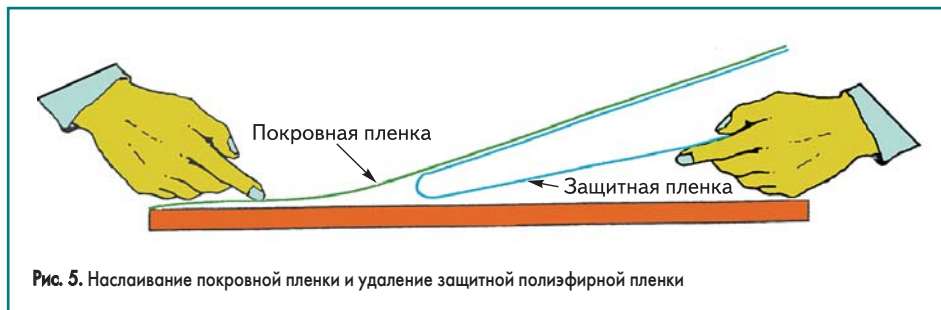
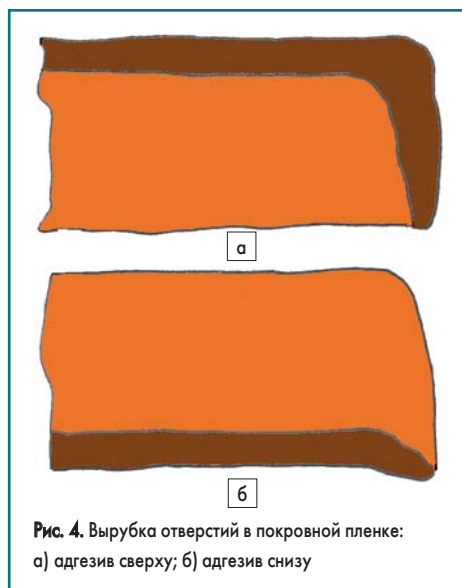
Налипание адгезива на сверло обычно указывает на то, что сверло слишком долго находилось в пакете сверления и произошел чрезмерный разогрев. Скорректируйте ситуацию для уменьшения тепловыделения: увеличьте подачу сверла; уменьшите толщину пакета материала; пользуйтесь новыми острыми сверлами, накладкой и подкладкой при сверлении пакета; увеличьте скорость отвода сверла до 400 мм в секунду.

Вырывание адгезива

При некачественном сверлении и грубой форме отверстий адгезив может отрываться от кромки отверстия. Там, где нет адгезива, покровная пленка не приклеится к контактной площадке, что может привести к капиллярному подтеканию припоя (рис. 3). Меры борьбы с этим дефектом такие же, как и те, что описаны для дефекта типа «шляпки гвоздя».

Вырубка отверстий

Методом вырубки пользуются в тех случаях, когда нужно получить отверстия неправильной формы, например щелевидные или квадратные, а также при очень жестких допусках (менее 125 мкм) и больших объемах производства. Вырубка обычно осуществляется комплектом металлической матрицы и штампа. Для вырубки отверстий в покровной пленке



ке используются только острые комплекты оснастки. За одну операцию следует вырубать отверстие только в одном листе покровной пленки. Сторона с адгезивом и защитной пленкой при этом должна быть обращена вверх. Если наверху будет находиться основа, то может произойти деформация ее и адгезива. На рис. 4а показаны хорошие результаты вырубки, когда адгезив смотрит вверх. На рис. 4б — неудовлетворительные результаты штамповки, когда адгезив находился внизу. Деформация основы при вырувке может помешать контакту покровной пленки с монтажной площадкой, что вызовет капиллярный подсос припоя.

Очистка медного рисунка перед прессованием покровной пленки

Плохая подготовка поверхности меди перед прессованием покровной пленки способствует развитию капиллярного подсоса припоя и снижает выход годных изделий. Если используется ванна кислой химической очистки, то глубину микротравления можно уменьшить до 400–700 нм, поскольку противокислительная операция уже была использована в ходе предыдущей операции очистки. При пользовании пемзой следует проявлять максимум осторожности, дабы избежать внедрения абразива в обнаженную поверхность адгезива. Этого можно достичь, пользуясь мягкими капроновыми щетками и исключая применение жестких абразивных подушек.

После очистки элементы, полученные травлением, не подвергают термообработке, чтобы не ухудшить адгезию из-за окисления поверхности. Если термообработка все же необходима, то ее нужно проводить в вакуумном шкафу. После очистки меди, чтобы предотвратить ее окисление, следует как можно скорее нанести покровную пленку. Если в течение 2–4 часов прессование покровной пленки невозможно, листы с вытравленными элементами схемы хранят в сухом ящике.

Укладка покровной пленки

Обращение с материалом

Наложение покровной пленки необходимо проводить в условиях чистой комнаты, чтобы снизить риск попадания посторонних частиц и загрязнений на изделие. При отсутствии чистой комнаты следует использовать чистый блок. В работе с заготовками и с покровной пленкой используются тонкие резиновые перчатки, поскольку хлопчатобумажные, и ней-

лоновые перчатки пропускают масла и пот от пальцев на поверхность изделия.

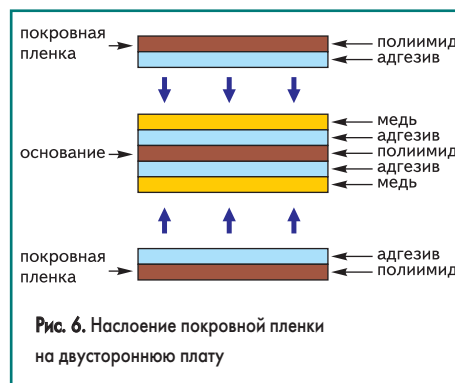
При загрязнении заготовок руками и посторонними частицами или грязью их протирают неворсистой тканью, смоченной изопропиловым спиртом. Перед наложением покровной пленки необходимо дать спирту испариться с поверхности листа.

Защитную пленку с исходного материала нужно снимать непосредственно перед самым наложением покровной пленки на выполненную травлением схему. Отделить защитную пленку от покровной пленки быстрее всего можно путем сгибания небольшого уголка пленки (6–8 мм), до тех пор пока пленки не расслоятся. Уголок защитной пленки можно отделить и с помощью липкой ленты. Снимать защитную пленку с поверхности покровной пленки нужно постепенно, дабы избежать деформации и коробления самой покровной пленки.

При наложении покровной пленки на одностороннюю плату следует поместить освобожденную от защитной пленки кромку покровной пленки адгезивом на кромку схемы и вытянуть защитную пленку из подпокровной пленки (рис. 5). При удалении защитной пленки на сопрягаемых поверхностях появляется статический заряд. Предлагаемый метод минимизирует вероятность попадания загрязнений между герметизируемой схемой и покровной пленкой.

При герметизации двусторонних гибких плат нужно полностью снять защитную пленку с покровной пленки, уложить ее адгезивом вверх, а затем быстро уложить на нее лист заготовки с вытравленным рисунком. Укладка верхнего листа покровной пленки на двустороннюю плату выполняется так же, как и на одностороннюю (рис. 6).

Для удаления загрязнений, попавших под покровную пленку, поднимите ее кромку вверх и смахните грязь щеткой, обработанной антистатиком.



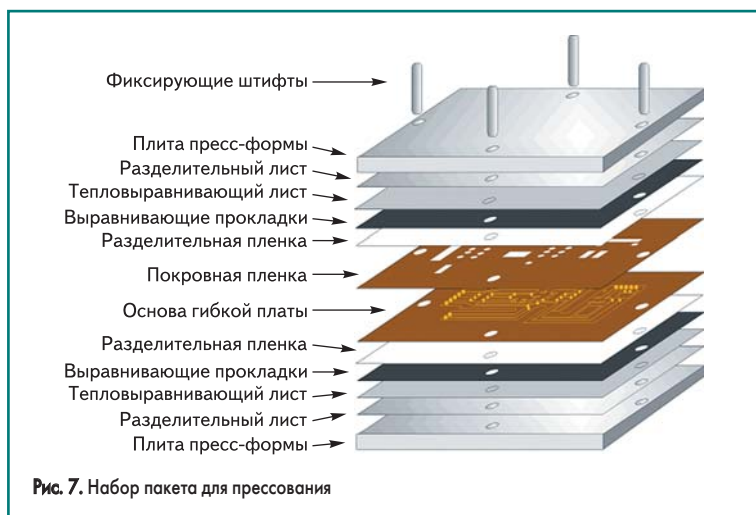


Рис. 7. Набор пакета для прессования

Совмещение

При совмещении всех схем с жесткими допусками необходимо проверить просверленный лист покровной пленки (с неснятой защитной пленкой) путем наложения на схему, что сразу покажет, не случилось ли отдельных изменений линейных размеров заготовки в результате предшествующих операций по его обработке. Для обеспечения нужного совмещения следует внести корректировки в программу сверления покровного листа.

При наслоении покровной пленки на изделия с мелкими контактными площадками или плотным рисунком схемы для совмещения пленки со схемой можно воспользоваться фиксирующими штифтами. Если совмещение осуществляется вручную, то покровную пленку следует зафиксировать по месту методом прихватки с помощью паяльника с тупым жалом. Контакт горячего паяльника с покровной пленкой не должен превышать 1–2 с. Другой метод горячей прихватки заключается в том, чтобы пропустить совмещенный пакет через горячий валковый пресс. Внутренние слои МПП обычно совмещают вручную.

Оснастка

В основном операцию совмещения выполняют без фиксирующих штифтов, поэтому из оснастки потребуются всего лишь разделительные листы из нержавеющей стали (обычно толщиной 0,5–0,8 мм) и прокладки. Прокладки используют по двум соображениям: во-первых, для равномерного распределения давления и, во-вторых, чтобы исключить переход вмятин (особенно от загрязнений) с одного слоя на другие слои МПП.

При использовании специальной оснастки изготовленные стальные прокладочные листы из нержавеющей стали применяют в сочетании с изготовленными фиксирующими штифтами. Расположение базовых отверстий обычно создается индивидуально под конкретную конструкцию заготовки платы. Основные достоинства специализированной оснастки проявляются при совмещении слоев в многослойных структурах. Для больших заготовок многослойных плат иногда требуется несколько фиксирующих штифтов, чтобы устранить сдвиг слоев при прессовании.

Набор пакета

Обычно в пакет укладывают от четырех до двенадцати плат. Для равномерного распределения давления важно, чтобы все платы имели одинаковые габаритные размеры, при этом не обязательно, чтобы они имели один и тот же рисунок схемы. Все платы должны быть достаточно хорошо сцентрированы относительно друг друга, прессовых прокладок и разделительных пластин. Между всеми изделиями должно быть по одному прокладочному пакету, чтобы распределить давление и исключить пропечатывание одного изделия на другое (рис. 7). Одним из факторов, определяющим высоту набора, является общая высота, вес пакета и удобство работы с ним.

Если для совмещения слоев используют фиксирующие штифты, то их высота определяет высоту пакета. Последнюю в этом случае надо подобрать так, чтобы штифты не выходили за пределы плит пресс-форм и не повредили бы их во время прессования. Хорошая практика — оставлять, по крайней мере, 3–5 мм зазора с каждой стороны штифта (рис. 8), компенсируя выход воздуха и сжатие подушек при прессовании.

Прессовые прокладки

Прессовые подушки — прокладки — представляет собой систему сжимаемых материалов, укладываемых между изделием и плитами пресс-форм в ходе прессования. Основное назначение прессовых подушек:

- компенсировать неровность плит пресса;
- выравнивать давление в прессуемом пакете слоев;
- обеспечивать течение адгезива и заполнение адгезивом зазора между проводниками и вокруг контактных площадок;
- обеспечивать облегание покровной пленки рельефа проводников и контактных площадок;
- обеспечить легкое отделение от прессуемого изделия.

Как типы, так и комбинации материалов прессовых подушек различны для разных случаев применения. Их выбор определяется тем, чтобы использовать самый дешевый материал, способный при прессовании дать хороший процент выхода годных изделий. По мере ус-

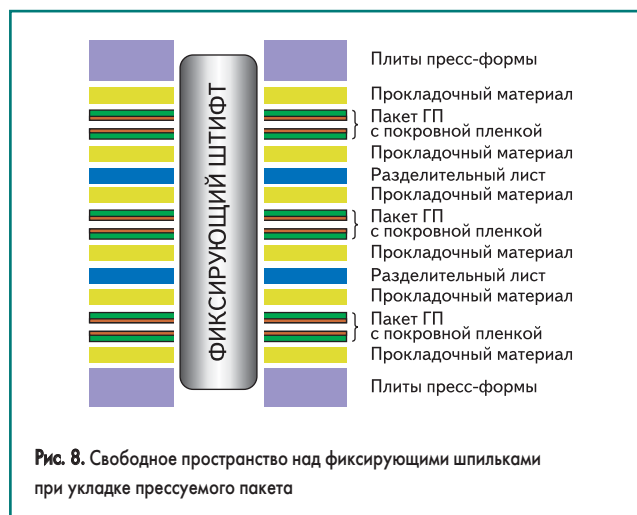


Рис. 8. Свободное пространство над фиксирующими шпильками при укладке прессуемого пакета

ложнения схемы, повышения плотности монтажа и требований к надежности усиливается необходимость более высококачественного и дорогого материала для прессовых подушек.

Прессовые подушки всегда укладываются с двух сторон пакета заготовок. В зависимости от применяемых материалов и степени облегания, обеспечиваемой ими при прессовании изделий, прессовые подушки подразделяются на мягкие и жесткие.

Мягкие прессовые подушки

Мягкие прессовые подушки обычно используются при прессовании традиционных одно- и двусторонних гибких плат с низкой плотностью монтажа.

Достоинства мягких подушек по сравнению с жесткими:

- меньшее течение адгезива;
- хорошая текстура поверхности покровной пленки (рис. 9).

Недостатки по сравнению с жесткими подушками:

- больший риск появления включений воздуха и капиллярного подсоса припоя;
- возможность коробления и волнообразования в зонах, не имеющих рисунка схемы, неровная поверхность, повторяющая рельеф

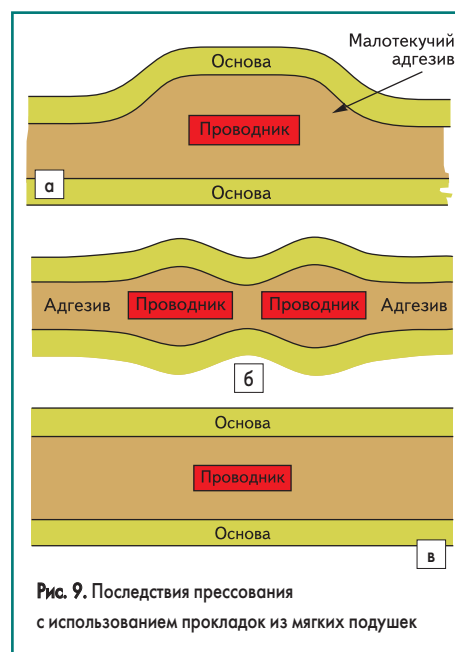


Рис. 9. Последствия прессования с использованием прокладок из мягких подушек

еф проводников, что нежелательно для внутренних слоев при прессовании в многослойные структуры.

На характер и количество натекания адгезива сильно влияет тип прессовых подушек и величина давления, прикладываемого при прессовании изделий. Мягкая прессовая подушка вжимается в отверстия и действует как преграда, предотвращающая затекание адгезива в отверстие.

На рис. 10 показана самая дешевая комбинация материалов прессовой подушки из рыхлой бумаги. Рабочие характеристики этой подушки уступают характеристикам других, более дорогих, наборов подушек. Во-первых, рыхлая бумага не столь равномерна по толщине, как другие прокладочные материалы, что вызывает неравномерность распределения давления. Кроме того, при температуре выше 120 °С она становится хрупкой. Если учесть, что температура прессования материалов гибких плат превышает 200 °С, бумагу в качестве прокладок приходится использовать не более одного раза. И это становится уже недешевым мероприятием.

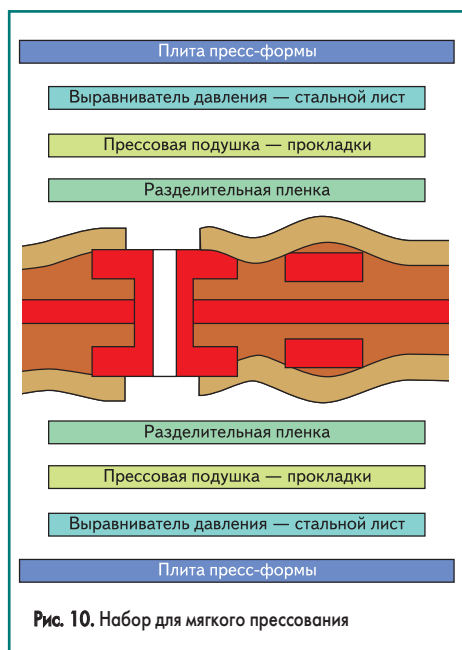


Рис. 10. Набор для мягкого прессования

Еще одним рыхлым и мягким материалом является черный винил, плакированный тефларом. Но и его предельная температура устойчивости не превышает 170 °С.

Существует ряд других более нагревостойких материалов для мягких прокладок. Выбор их определяется степенью сложности изделия и необходимостью малого и стабильного течения адгезива. Во многих случаях экономические потери от брака при высокой текучести адгезива оправдывают применение более высококачественных типов прессовых подушек.

Жесткие подушки

Жесткие подушки применяют в основном в следующих случаях:

- для схем с большой плотностью тонких линий;
- при использовании покровной пленки толщиной 75–125 мкм;

- для предотвращения капиллярного подтекания припоя;
- для внутренних слоев МПП и покровных пленок без перфораций.

По сравнению с мягким жесткий тип имеет следующие преимущества:

- меньше вероятность возникновения воздушных включений;
- меньше проявляется капиллярное подтекание припоя;
- более высокая стабильность линейных размеров;
- плоская поверхность покровной пленки, что весьма важно для склеивания внутренних слоев многослойных изделий (рис. 11).

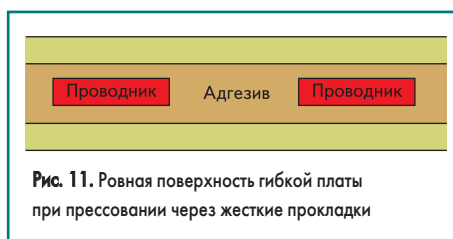


Рис. 11. Ровная поверхность гибкой платы при прессовании через жесткие прокладки

Недостатки жесткой системы:

- несколько более высокое течение адгезива;
- тисненый характер поверхности покровной пленки.

Пример системы из жестких прессовых подушек показан на рис. 12. Это самая дешевая комбинация прокладок. В ней можно применять как строганный фторопласт (пленка), так и фторопласт в виде шпона. Однако материал ISOLAM имеет участки с неоднородной плотностью, что может приводить к неравномерному течению адгезива.

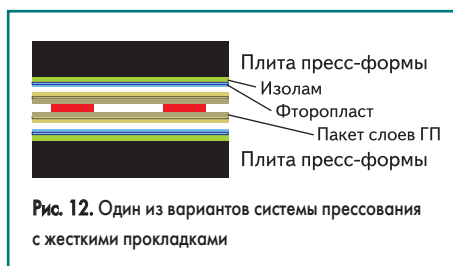


Рис. 12. Один из вариантов системы прессования с жесткими прокладками

Прессовые подушки с использованием силиконовой резины дают хорошее сочетание жесткости и облегчения рельефа пакетов прессования. Однако листы резины приходится проверять после каждого цикла прессования, чтобы убедиться, не остались ли вмятины на листе и не началось ли выщелачивание силикона. При появлении любого из этих дефектов резиновые прокладки следует менять.

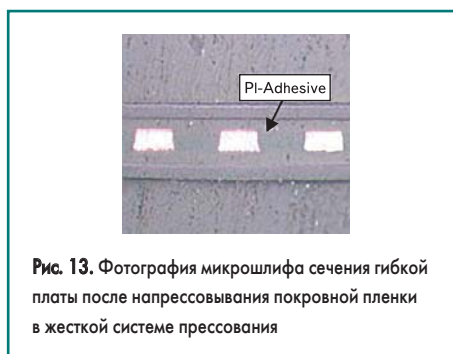


Рис. 13. Фотография микрошлифа сечения гибкой платы после напрессовывания покровной пленки в жесткой системе прессования

Срок службы прокладок определяется конструкцией схемы, температурой и давлением прессования. Чем выше температура и давление, тем короче срок службы подушек. Как резину, так и стеклонаполненный фторопласт можно повторно использовать до появления на них стабильных отпечатков. Подушки типа ISOLAM используют только один раз, а затем выбрасывают.

Результаты отработки процесса напрессовывания покровной пленки лучше всего проверяются металлографическим анализом по микрошлифам сечений проводников (рис. 13).

Материалы для прессовых подушек

Как видно из приведенных примеров мягких и жестких прессовых прокладок, в подушках применяется широкая гамма материалов. Однако при выборе системы прокладок необходимо понимать роль основных ее компонентов. Система прокладок включает:

- разделительную пленку;
- среду, передающую давление;
- слои для выравнивания давления.

Порядок их расположения показан на рис. 7.

Разделительная пленка

Конформная разделительная пленка наклеивается непосредственно на изделие. Она должна обладать следующими свойствами:

- однородной плотностью;
- способностью облегать элементы схемы;
- способностью отделяться от основы ГП, адгезива, меди и других материалов;
- отсутствием химического или физического переноса компонентов пленки с ее поверхности на поверхность материала ГП;
- высокой прочностью при температурах прессования.

Примеры эффективных конформных материалов в порядке возрастания стоимости:

- Тефлар (25 мкм, тип 100SM30MR).
- Тефлон ТЭЕ (строганный, 25–50 мкм).
- Тефлон РЕВ (25 мкм — тип 100А, 50 мкм — тип 200А).
- Пакотан-плюс.

Часто используемая в отечественной практике триацетатная пленка для прессования гибких плат на основе полиимида не годится ввиду ее ограниченной нагревостойкости.

Хотя тефлар 100SM30MR рассчитан на работу до 200 °С, прессование при температурах выше 180 °С рекомендуется вести с фторопластовыми (тефлоновыми) материалами, поскольку у тефлара в этих режимах имеется тенденция к появлению некоторой хрупкости. В ходе прессования на разделительных материалах обычно остается отпечаток прессуемой схемы, поэтому их редко используют повторно. Повторно их можно использовать между плитой пресс-формы и прокладочными стальными листами, что позволяет не столь часто чистить последние.

Пакотан-плюс представляет собой комбинацию конформного разделительного слоя и среды для передачи давления в одном пакете. Эта система успешно использовалась для прессования при температурах до 200 °С.

Среда для передачи давления

Среда для передачи давления — прессовая подушка. Она размещается между конформной разделительной пленкой и уравнивателем давления — стальным листом и обжимает покрывную пленку вокруг элементов схемы. Именно в этом слое заключается разница между мягким и жестким типом прессовых подушек. В первом случае этот слой при прессовании размягчается и начинает плыть. При размягчении, когда пленка основы гибкой платы обжимается вокруг элементов схемы, адгезив покрывной пленки течет весьма незначительно. Во втором случае этот слой остается очень жестким. В силу этого адгезив покрывной пленки обтекает вокруг элементов схемы, а пленка основы остается плоской.

Среда для передачи давления должна обладать следующими свойствами.

- В мягкой системе:
 - равномерной плотностью;
 - стойкостью к надрыву;
 - гладкой поверхностью;
 - способностью к размягчению и податливости при температуре прессования.
- В жесткой системе:
 - некоторой способностью облегания схемы;
 - равномерной плотностью;
 - стойкостью к надрыву;
 - гладкой поверхностью.

Примеры эффективных материалов для передачи давления в порядке увеличения их стоимости:

- Черный полиэтилен (150 мкм).
- Прозрачный винил.
- Серый винил (300 мкм).
- Пакотан-плюс.

При типичных температурах прессования прозрачный винил обугливается и становится хрупким, поэтому он не лучший из материалов для этих целей. Черный винил тоже становится хрупким при этих температурах. Поскольку материал, передающий давление, в мягких системах прессовых подушек при прессовании течет и воспроизводит на себе рисунок схемы, повторное его использование невозможно.

В жестких прессовых подушках основной выбор сделан в пользу стеклонаполненного фторопласта (стеклотефлона с неявным проявлением рисунка ткани). В некоторых случаях в слое для одновременного выравнивания давления и передачи его на прессуемое изделие используется высококачественная бумага с равномерной плотностью.

Слой для выравнивания давления

Слой для выравнивания давления помещается между материалом, передающим давление на изделие, и обкладочной или разделительной пластиной. Он компенсирует неровности поверхности обкладочных или разделительных пластин и создает равномерное распределение давления по всей схеме. Этот же слой компенсирует и колебания толщины платы.

Слой для выравнивания давления должен обладать теми же полезными свойствами,



Рис. 14. Внешний вид автоклава

что и разделительная пленка и слой для передачи давления. Однако требования к равномерности плотности для этого слоя не столь жесткие. Вместе с тем при использовании не очень равномерного материала в качестве слоя, передающего давление на изделие, необходимо применять относительно жесткий материал типа стеклонаполненного фторопласта (тефлона), что предотвратит передачу неравномерности на покрывную пленку.

Слой для выравнивания давления должен обладать следующими свойствами:

- выдерживать температуры прессования;
 - иметь гладкую незагрязненную поверхность.
- Типичными материалами для этого слоя служат:
- красная силиконовая резина, армированная стеклотканью;
 - литографическая бумага;
 - рыхлая бумага типа промокательной или крафт-бумага;
 - толстые бумажные подушки (ISOLAM и PACOFORM).

Высококачественная литографическая бумага превосходит рыхлую бумагу и крафт-бумагу, которые имеют несколько неравномерную плотность. Материалы ISOLAM и PACOFORM тоже не совсем равномерны по плотности, но при работе в комбинации со стеклонаполненным фторопластом (тефлоном) неравномерности рельефа рисунка обычно не передаются на поверхность изделия. Поскольку все бумажные материалы приобретают хрупкость и усаживаются, их используют только в одном цикле прессования.

Необходимо избегать применения неармированной силиконовой резины, так как она способна к растяжению под высоким давлением, что вызывает значительные искажения размеров платы, закрываемой покрывной пленкой. Армированную силиконовую резину можно использовать многократно, до тех пор пока на ней не появится постоянный отпечаток рисунка схемы или пока она не начнет ломаться из-за выщелачивания силикона. Количество циклов, которое может выдержать силиконовая резина, зависит от конструкции изделия, температуры и давления прессования. Срок службы резины уменьшается с увеличением температуры прессования, увеличения давления и неравномерности толщины платы. Вряд ли силиконовую резину можно использовать более чем в 50 циклах прессования без снижения выхода годных изделий.

Прессование и отверждение

Оборудование

Гидравлические прессы

Для прессования гибких печатных плат обычно используются гидравлические прессы. Однако сейчас стандартный гидравлический пресс сочетается с новой вакуумной технологией.

Вакуумные прессы — автоклавы

В системах вакуумного прессования используются большие емкости — автоклавы, в которых в ходе прессования сначала создают вакуум, затем давление (рис. 14). Набранный пакет заготовок укладывают в запечатанный вакуумный мешок и размещают в автоклаве, из него откачивается воздух (рис. 15). Под вакуумом из пресс-пакета отсасываются все газовые включения, и покрывная пленка плотно обжимает проводники гибкой платы. Затем в автоклав подается горячий газ (чаще всего — сухой пар), и адгезив покрывной пленки затвердевает, фиксируя плотное обтягивание профиля проводников.

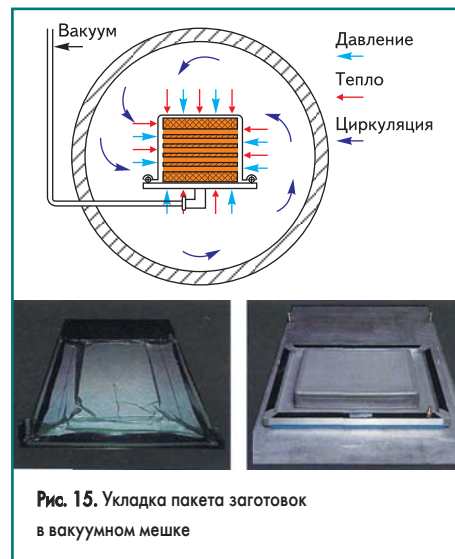


Рис. 15. Укладка пакета заготовок в вакуумном мешке

Достоинства вакуумной технологии:

- снижение давления прессования (до 300–700 кПа);
- улучшение стабильности линейных размеров;
- уменьшение течения адгезива;
- снижение (до отсутствия) газовых включений в плате.

Но автоклавы не находят широкого применения из-за высоких капитальных затрат и эксплуатационных расходов.

Одно из преимуществ автоклава — отсутствие необходимости в пресс-формах и прокладочных листах, кроме разделительных.

Автоклавы дают более надежные результаты опрессовки, чем все другие системы. Этим обусловлено их распространение в массовом производстве гибких плат.

Вакуумные гидравлические прессы

В гидравлических вакуумных прессах вакуум создается или отдельно в каждом межэтажном пространстве, или во всем объеме между штоками прессы. В подвижных вакуумных соприкосновениях имеются неизбежные протечки, что компенсируется мощной системой откачки воздуха из прессы. Вакуумные прессы значительно дороже стандартных гидравлических прессы, но они проще в работе, чем громоздкие автоклавы.

Циклы прессования

Холодные и горячие старты при прессовании

Циклы с холодным и горячим стартом можно проводить с одинаковой эффективностью. Циклы с холодным стартом приемлемы на прессах с паровым и электрическим подогревом, которые обеспечивают быстрый разогрев. Пакет укладывают в холодный пресс (менее 70 °С) и затем разогревают до температуры прессования. Полное давление подают сразу же. После отверждения пакет оставляют остывать в прессе под давлением.

Горячий старт применяют в прессах с чисто электрическим подогревом, в силу того, что требуется больше времени на разогрев. Между плитой пресс-формы и прокладочным листом необходимо уложить несколько слоев крафт-бумаги для снижения скорости прогрева пакета. Пакет вместе с крафт-бумагой укладывается в пресс, и сразу же подается полное давление. После отверждения пакет достают из формы и помещают в холодный пресс для остывания под давлением. Работать следует с соблюдением мер предосторожности, чтобы избежать ожогов. На достижение изделия температуры порядка 190 °С должно уходить не менее 20–30 минут, то есть скорость подъема температуры должна быть порядка 6–10 градусов в минуту. Слишком быстрый нагрев может привести к преждевременной герметизации кромки покровной пленки, которая воспрепятствует выходу воздуха из пакета и повлечет за собой включения воздуха в слоях платы.

Вакуум

Скорость откачки при создании вакуума определяется степенью сложности изделия. Большая часть односторонних и двусторонних плат с проводниками высотой 25 и 50 мкм прессуется при малом вакууме. В этих случаях полное давление дают, как только достигнут необходимый уровень вакуума, обычно через 1–2 минуты. К длительной откачке (30–120 минут) прибегают при прессовании высокопрофильных изделий или многослойных плат.

Давление

Для наилучшего течения и заполнения пустот адгезивом следует работать с высоким давлением прессования. Для оптимального прессования его значение зависит от целого ряда факторов, таких как толщина покровного слоя, система прессовых подушек, геометрия схемы, толщина меди.

Оптимальное давление определяют экспериментально на конкретных изделиях. Для начала это может быть 2000–2400 кПа при прессовании в гидравлических и 1700–2000 кПа в вакуумных прессах. Высокое давление прессования дает хорошее течение адгезива, но может вызвать чрезмерное его затекание на контактные площадки или приводить к изменениям размеров. Кроме того, высокие давления сокращают срок службы прокладочных материалов многократного использования.

Температура и отверждение

Облегание схемы покровной пленкой и течение адгезива начинаются при температуре порядка 120...135 °С. Более высокие температуры и большее время требуются для полного отверждения адгезива. Оптимальным оно становится при температуре 170...200 °С за 60 минут на пике температуры, поэтому пакеты заготовок должны прогреться до указанных температур.

Температуру плат в пакете контролируют с помощью термодатчика, которые помещают внутри пресс-пакета. Термодатчик следует устанавливать, по крайней мере, в двух точках — в середине изделия и на верхней или нижней его части. С помощью этого метода можно построить график изменения температуры изделия. Такая кривая показывает максимальную высоту прессуемого пакета. В середине пресс-пакета заготовка должна прогреться минимум до температуры 170 °С, а внешние платы не должны при этом разогреваться выше максимальной температуры отверждения (200 °С). Можно менять положение термодатчика на плате, с тем чтобы улучшить достоверность распределения температур на ее поверхности. Такую регистрацию температур необходимо проводить регулярно каждые 3–6 месяцев при проведении профилактического обслуживания оборудования.

Отверждение адгезива — это функция времени и температуры. Отверждение в течение 60 минут при 190 °С грубо соответствует отверждению в течение 120 минут при 180 °С. Однако при температурах выше 200 °С возможно потемнение и ухудшение свойств адгезива. Верхний предел температур определяется также и материалами, используемыми в прессовых подушках. Недостаточное отверждение адгезива (низкая температура или недостаточное время) могут ухудшить паяемость и снизить химическую стойкость изделия при дальнейшей его обработке.

Сокращенные циклы прессования покровной пленки

Сокращение длительности циклов прессования может значительно увеличить про-

изводительность, но таит в себе опасность снижения стойкости к пайке и дальнейшей химической обработке. Цикл прессования можно сократить до 10 минут с последующей термообработкой в термощкафу для дальнейшего отверждения адгезива. Отказ от термообработки приведет к недоотверждению адгезива.

Прежде чем внедрять в производство какие-либо укороченные циклы прессования, нужно провести всесторонние испытания, чтобы убедиться, что изделие поведет себя вполне адекватно на следующих стадиях технологического процесса и у конечного потребителя.

Дефекты прессования хорошо проявляют себя в процессе горячего облуживания — не прореагировавшие низкомолекулярные продукты и газовые включения при нагревании быстро расширяются и вызывают расслоение над медными проводниками. Оно может распространиться и поперек проводников, что приведет к образованию больших вздутий (3–12 мм).

Проблемы при прессовании покровных пленок

Прессование покровных пленок по металлогоризисту олово-свинец

Обычно для создания резистивного покрытия, предназначенного для защиты рисунка при травлении, используют гальванические покрытия сплавом олово-свинец или оловом, которые по каким-либо причинам не удаляются перед напрессовыванием покровной пленки. Эта технология не рекомендуется к применению. Металлизация оловом или оловом-свинцом пришла из технологии производства жестких плат и редко используется в производстве высококачественных гибких схем.

Во избежание чрезмерного растекания гальванического припоя нужно прессовать покровные пленки при температурах не выше 170 °С. Успешно припрессовывали покровные пленки и при температуре 130 °С, но при этом не происходит полное отверждение адгезива и изделие не приобретает необходимой химической и тепловой стойкости.

Если компоненты схемы паяют волной припоя, то металлогоризист олово-свинец под покровной пленкой несколько расплавляется, что вызывает отслоение покровной пленки, а растекание припоя под покровной пленкой может привести к короткому замыканию. По этим причинам предпочтительнее удалить металлогоризист, напрессовать покровную пленку и затем нанести припой или другое финишное покрытие там, где это нужно (на поверхности монтажных элементов).

Воздушные включения

Типичной проблемой недостаточного облуживания элементов схемы покровной пленкой являются воздушные включения. Они проявляются в виде воздушных прожилок вдоль проводников схемы, что указывает на отсутствие обтекания покровной пленкой рельефа проводников. Эта проблема более типична для

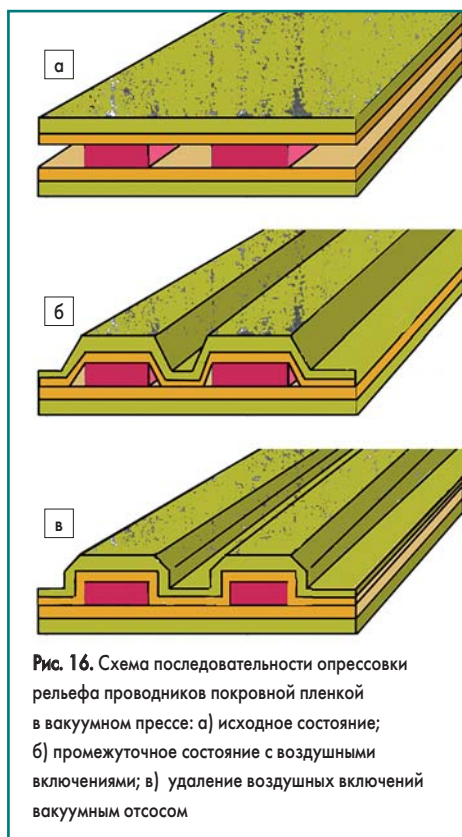


Рис. 16. Схема последовательности опрессовки рельефа проводников покровной пленкой в вакуумном прессе: а) исходное состояние; б) промежуточное состояние с воздушными включениями; в) удаление воздушных включений вакуумным отсосом

схем с высокой плотностью проводников и большой их высотой.

На рис. 16 показана схема с медью толщиной 35 мкм без металлизированных отверстий. Покровный композит имеет 25 мкм адгезива на покровной пленке толщиной 25 мкм. Поскольку 25-микронный адгезив имеет малую текучесть при прессовании, пленка должна быть обжата по рельефу медного проводника высотой 35 мкм. На рис. 16б показано, что это требование не удовлетворено, схема имеет включения воздуха. Хотя покровная пленка и облегает определенным образом проводники схемы, но она неплотно прилегает к их боковым стенкам. На рис. 16в показано идеальное прессование без каких-либо воздушных включений — адгезив полностью обволакивает все поверхности проводников, включая боковые грани. Можно видеть, что адгезив был вытеснен из зоны над проводником в зону между двумя расположенными рядом проводниками.

С появлением воздушных включений вдоль проводников можно бороться:

- увеличением толщины слоя адгезива;
- увеличением времени вакуумирования до начала отверждения покровной пленки;
- увеличением давления прессования;
- изменением системы прессовых подушек.

Самым простым путем устранения воздушных включений — увеличение толщины слоя адгезива. Но в этом случае (или при увеличении давления прессования) возрастает и затекание адгезива на открытые контактные площадки. Для компенсации возросшей текучести, может быть, придется изменить систему прессовых подушек, то есть взять помягче.

Прессовые подушки тоже влияют на появление воздушных включений. Обычно жесткий тип дает большее течение адгезива и обес-

печивает лучшую герметизацию. Мягкая система имеет преимущества в выдавливании воздуха при использовании толстой меди — более 75 мкм с фиксированной толщиной адгезива. При работе с толстой медью для обеспечения должного облепания и выравнивания давления весьма важно применять высококачественные прокладочные материалы.

Если для повышения стабильности линейных размеров по периметру платы предусмотрена пограничная полоса меди, то для лучшего удаления воздуха и газовых включений при прессовании в ней следует предусмотреть проходы.

Иногда воздушные включения выглядят как круглые пузыри воздуха. Такой дефект обуславливается преждевременным склеиванием покровной пленки по кромке заготовки, особенно при прессовании двусторонних плат. Для его предотвращения следует резать покровную пленку так, чтобы она была меньше размеров рабочего поля (вытравленного рисунка) на 3–6 мм.

Меры по предотвращению капиллярного подсоса припоя

Существуют разные методы изготовления монтажных контактных площадок на гибких платах. Обычно платы облуживают с выравниванием припоя струями горячего воздуха. При нарушении технологии некоторых операций может появиться дефект так называемого капиллярного подтекания припоя, то есть расплавленный припой и флюс подсасываются или затекают под покровную пленку по периферии монтажной площадки (рис. 3б). В особо тяжелых случаях припой и флюс могут затекать даже вдоль проводников схемы. При проникновении флюса под покровную пленку схема через некоторое время может выйти из строя из-за процессов коррозии. Далее указываются вероятные причины такого капиллярного подтекания припоя.

Подготовка медной поверхности

Чтобы предотвратить подтекание припоя под покровную пленку, нужно обеспечить сильное сцепление между пленкой и контактной площадкой. Поверхность меди не должна иметь следов окисления или загрязнений. Необходимо провести механическую или химическую очистку меди и сделать ее шероховатой для улучшения адгезии. Необходимо следить за тем, чтобы не сделать глубоких царапин на меди, ибо они могут работать как каналы для подтекания припоя. Такие явления возникают при работе с жесткими щетками.

Сверление или вырубка отверстий в покровной пленке

При сверлении или вырубке отверстий в покровной пленке возможно возникновение таких дефектов, как вырывание адгезива или деформация пленки в виде «шляпки гвоздя». В местах смещения адгезива кромки отверстия не приклеиваются к медной площадке, и припой может проникнуть под покровную пленку.

Материалы для прессовых подушек

Весьма важным фактором в предотвращении подтекания припоя является равномерная плотность прокладочных материалов. Материалы с неравномерной плотностью препятствуют распределению давления при прессовании, что, в свою очередь, может привести к флуктуации силы давления покровной пленки на подложку. В прессовых подушках иногда используют такие неравномерные по плотности материалы, как крафт-бумага, рыхлая бумага, плакатная бумага. В этом случае измените конструкцию прессовой подушки — вставьте жесткий материал типа фторопласта, армированного стеклотканью, между бумагой и разделительной пленкой, что предотвратит передачу неравномерности на покровную пленку.

Условия прессования

Работа на граничных режимах прессования также способствует появлению дефекта подтекания припоя. Такие проблемы можно разрешить, увеличив давление и температуру прессования. При этом возрастают как течение адгезива, так и прочность сцепления.

Неточность совмещения

При недостаточно точном совмещении отверстия в покровной пленке не полностью попадают на контактные площадки, что ведет к неравномерному распределению давления вокруг отверстия и может вызвать подтекание припоя там, где пленка не контактирует с площадкой. Для устранения дефекта подтекания припоя необходимо:

- снизить температуру и время пребывания изделия в установке облуживания с выравниванием припоя горячим воздухом или маслом;
- провести предварительную термообработку непосредственно перед выравниванием припоя. Сушка в конвекционном термощкафу при 180 °С в течение одного часа вполне может защитить от подтекания припоя.

Снижение натекания адгезива

Существуют три основных фактора, которые сказываются на натекании адгезива на контактные площадки и места выводов:

- термообработка для незначительного доотверждения адгезива, уменьшающего его текучесть;
- давление прессования;
- тип прессовых подушек.

Операция предварительной термообработки имеет наиболее выраженный эффект снижения натекания, поскольку она дает частичное упреждающее отверждение адгезива перед прессованием. В зависимости от времени термообработки, диаметра отверстий, просверленных в покровной пленке, толщины адгезива на покровной пленке и других условий прессования текучесть адгезива можно уменьшить на 40–70%. В таблицах 2, 3 содержатся результаты исследования процесса прессования, которые могут помочь в разработке практического эксперимента по снижению натекания адгезива.

Таблица 2. Снижение натекания адгезива на контактные площадки

Размер отверстия, мм	Снижение подтекания, %	Примечания
1,5	40	Температура 120 °С
3,1	50	Время термообработки — 20 минут
6,35	53	Конструкция покровной пленки — LF0220

Таблица 3. Снижение натекания адгезива по кромке покровной пленки

Время термообработки, мин	Снижение натекания, %	Примечания
10	40	Температура 120 °С
20	50	Конструкция покровной пленки — LF0110
30	70	—

Предварительную термообработку покровной пленки при температурах выше 120 °С вести более 30 минут не следует, поскольку это может привести к излишней полимеризации или полному отверждению адгезива.

Давление прессования весьма сильно влияет на натекание адгезива. Исследования пока-

Таблица 4. Уменьшение текучести адгезива при использовании мягких подушек

Размер отверстия, мм	Снижение текучести, %	Примечания
1,5	37	При переходе с жесткой системы : армированная красная резина 1,5 мм + стеклотефлон 0,1 + 5 мм тефлон F 50 мкм на мягкую систему : два листа бумаги P-20 + серый винил 0,3 мм + тефлон FEP 50 мкм. Конструкция покровного слоя: LF0220
3,1	21	
6,35	17	

зали, что снижение давления с 2750 до 1370 кПа уменьшает натекание на 35% и это не зависит от применяемых подушек и проведения предварительной термообработки.

Тип прессовых подушек тоже может влиять на текучесть адгезива. При мягких подушках течение адгезива значительно меньше, чем при прессовании с жесткими подушками. Исследования дали результаты, показанные в таблице 4.

Однако применять такие методы снижения текучести адгезива следует с осторожностью, поскольку можно вызвать появление воздушных включений и капиллярного подтекания припоя.

Литература

1. Медведев А., Мылов Г., Люлина В., Набатов Ю., Семенов П., Сержантов А. Производство гибких печатных плат без металлизированных отверстий // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 3.
2. Медведев А., Мылов Г., Люлина В., Набатов Ю., Семенов П., Сержантов А., Шкундина С. Производство гибких печатных плат с металлизированными отверстиями // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 4.
3. Технологии в производстве электроники. Часть III. Гибкие печатные платы / Под общ. ред. А. М. Медведева и Г. В. Мылова. М.: Группа ИДТ, 2008.
4. Медведев А., Мылов Г., Люлина В., Набатов Ю. Гибкие платы. Преимущества и применение // Компоненты и технологии. 2007. № 9.
5. IEC 61249-3-3 Part 3-3: Adhesive coated flexible polyester film (Superseded by 61249-3-1), www.techizdat.ru
6. IEC 61249-3-4 Part 3-4: Adhesive coated flexible polyimide film (Superseded by 61249-3-1), www.techizdat.ru
7. IEC 61249-3-5 Part 3-5: Transfer adhesive film for flexible printed boards (Superseded by 61249-3-1), www.techizdat.ru