

Производство гибких и гибко-жестких печатных плат.

Часть 4. Изготовление гибких и гибко-жестких многослойных плат

**Эта статья — продолжение введения в технологии гибких печатных плат, начатое публикациями «Производство гибких и гибко-жестких печатных плат» в журнале «Технологии в электронной промышленности» (№ 3–5 2008 [1–3]).
Материалы этой статьи — результат плодотворного сотрудничества науки и производства: инжиниринговой 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**

Выбор материалов

Толщина фольги

С точки зрения обеспечения разрешающей способности рисунка и гибкости лучше выбирать наименьшую толщину медной фольги, удовлетворяющую электрическим требованиям схемы. Это позволит заодно получить более качественное травление и потребует меньше адгезива на покровной пленке для полной герметизации схемы.

Сейчас все более широко начинают применять фольгу с условной толщиной 18 мкм (153 г/м²), хотя в основном до сих пор используют фольгу в 35 мкм (305 г/м²). Герметизация покровной пленкой вытравленных деталей с высоким профилем (в схемах с высокой плотностью монтажа и с толстой медью) весьма затруднена, обычно для этого требуются чрезмерные количества адгезива под покровным слоем.

Толщина адгезива

При выборе толщины адгезива приходится решать противоречивые задачи: использовать минимальное количество адгезива, обеспечивающее полную герметизацию схемы и прессование без пор. Было выработано общее правило: применять 25 мкм адгезива для высоты профиля меди 18 мкм, 50 мкм адгезива для высоты меди 35 мкм и 100 мкм адгезива для высоты меди 70 мкм. Можно использовать и 25 мкм адгезива для высоты меди 35 мкм, если приложить достаточное давление и если проводники расположены не слишком плотно. Но тут нужна особая тщательность, чтобы обеспечить полную герметизацию межслойного пространства без пор.

При склеивании гибких внутренних слоев платы листовым адгезивом или склеивающим слоем нужно использовать минимальное количество адгезива, обеспечивающее прессование без образования пористости. Излишнее количество адгезива увеличивает толщину платы и ведет к росту теплового расширения по оси Z.

Толщина полиимидной пленки

В качестве фольгированного основания предпочтительна полиимидная пленка толщиной 50 мкм. Она обеспечивает относительно лучшую размерную стабильность. Для покровной пленки нужно использовать пленку толщиной 25 мкм, поскольку она лучше облегает профиль проводников и тем самым лучше герметизирует схему. Применение более толстой пленки допускается только в тех случаях, когда это обусловлено особыми конструктивными требованиями.

Материалы для наружного слоя

Независимо от типа применяемого материала, следует избегать присутствия проводников на наружном слое. При их наличии растет вероятность включения воздуха между покровной пленкой и платой.

Гибко-жесткие МПП

Наружные слои гибко-жестких плат обычно выполняют из полиимида или эпоксидной смолы, армированной стеклотканью. Такое армирование повышает конструктивную прочность и плоскостность, необходимую для монтажа компонентов, а также улучшает устойчивость металлизированных отверстий к термоударам при пайке.

Толщина наружного слоя зависит от конструкции платы, но, как правило, она составляет 0,25 мм.

Как полиимидный, так и эпоксидный материал имеют свои достоинства. Выбор наиболее подходящего материала определяется требованиями к рабочим характеристикам и конструкции изделия. Полиимидный материал имеет хорошие тепловые характеристики и хорошо подходит в тех случаях, когда к изделию предъявляются высокие требования по подъему контактных площадок и тепловому расширению. Эпоксидный материал имеет более низкую температуру стеклования и размягчается при температурах пайки. Хорошая текучесть эпоксидных связующих способствует уменьшению вероятности образования пор в многослойных гибко-жестких платах с большим количеством слоев. В то же время, производитель должен иметь в виду, что на-

значение материала верхнего слоя может быть определено автором проекта по его собственным соображениям.

Материал верхнего слоя можно покупать в виде двустороннего ламината, а затем одну сторону стравливать для склеивания с материалами внутренних слоев. Это делается по тем соображениям, что поверхность диэлектрика под фольгой более шероховатая, чем поверхность стандартного одностороннего материала, и обеспечивает более хорошее сцепление адгезивов, применяемых для прессования верхних слоев.

Гибкие многослойные платы

Гибкие многослойные печатные платы могут быть выполнены полностью из гибких композиционных материалов типа «ПИРА-ЛЮКС», что обеспечит им некоторую гибкость. По мере увеличения толщины гибкость платы уменьшается, а возможность монтажа большего количества компонентов возрастает. Наружные слои в этом случае выполняют из одностороннего фольгированного композиционного полиимида.

Обработка внутренних слоев

Внутренние слои многослойных плат обычно обрабатывают так же, как и одно- и двусторонние платы (см. соответствующие главы). Однако следует иметь в виду и некоторые особенности, присущие гибко-жестким платам.

Стабильность линейных размеров

Размерная стабильность слоев с рисунком необходима для совмещения элементов междоуединений в пространственных структурах многослойных плат. Чем лучше стабильность линейных размеров, тем меньше могут быть размеры контактных площадок для межслойных и сквозных отверстий МПП и тем большую плотность рисунка можно обеспечить.

Как отмечалось ранее, медная окантовка по границе заготовки (рамка технологического поля) помогает уменьшить изменения размеров материала после травления, в процессе прессования, при экспонировании и пр. Поэтому применение медной рамки становится обязательным. В ней также обязательно нужно использовать рисунок в виде «зебры», способствующий выходу летучих фракций и воздуха из межслойных пространств.

Выполнение технологических (базовых) отверстий

Базовые (они же — технологические) отверстия необходимы для совмещения рисунков слоев и отверстий. Их выполняют по одному из двух вариантов.

Вариант 1

По первому варианту сверлят или вырубают отверстия в фольгированном диэлектрике и в покровной пленке по отдельности, затем их используют для совмещения при экспонировании, прессовании, сверлении и для нанесения перфорированной в нужных местах покровной пленки. Оформление отверстий выполняется после нанесения сухого пленочного резиста с тем, чтобы непроявленный фоторе-

зист не оставался в технологических отверстиях. По данному методу эти отверстия в покровной пленке высверливают сверлами несколько большего диаметра, чтобы компенсировать движение материала при прессовании. Данный метод требует внесения масштабных поправок в программу сверления для компенсации прогнозируемого изменения размеров основы слоев после травления и прессования.

Вариант 2

Другой вариант — вырубка технологических отверстий на внутренних слоях после напрессовки покровного слоя. В этом случае для сверления или наведения вырубного штампа применяют оптические средства, а также используется возможность усреднения изменения размеров слоев, чтобы в два раза уменьшить рассовмещение слоев.

Отмывка после травления рисунка

После травления рисунка слои должны быть весьма тщательно отмыты, чтобы удалить следы травильного раствора с поверхности, особенно по кромкам проводников на участках с высокой плотностью рисунка и в области с плотной штриховкой слоев «земли» или полигонов. Внутренние слои подвергаются многократным температурным воздействиям в ходе прессования, дополнительной термостабилизации и сушки. При воздействии температур остатки растворов на поверхности могут привести к потемнению и окраске многослойной платы. Очень сильное окрашивание может означать приверженность к расслоению.

Удаление фоторезиста

Акриловый адгезив, применяемый в гибких композиционных материалах на основе полиимида, очень чувствителен к крепким щелочным растворам. Поэтому процесс и состав растворов нужно тщательно контролировать, чтобы предотвратить разбухание адгезива. Крепкие щелочные растворы могут повредить и полиимидной пленке, что помешает хорошему сцеплению между слоями. Для предотвращения отрицательного воздействия на материалы нужно работать с минимальной продолжительностью операции, ми-

нимальной температурой и минимально возможной концентрацией. Нужно избегать использования растворов с температурой выше 60 °С и pH выше 12,5.

Большинство фирменных составов содержат агенты — ускорители процесса удаления фоторезиста (например, моноэтаноламин, триэтанолламин, бутил карбитол). За подобными растворами должна идти тщательная промывка теплой водой. Кроме того, после удаления фоторезиста платы должны пройти термообработку при 120 °С в течение 20–30 минут, чтобы удалить поглощенные растворители и предотвратить отслоение покровной пленки в ходе прессования или при других температурных воздействиях.

Как и при травлении, здесь необходимо провести тщательную промывку, предпочтительно теплой водой с температурой 18–30 °С. Если щелочные растворы останутся на плате, то воздействие щелочи на акриловый адгезив или на полиимид может проявиться в ходе последующих технологических операций.

Структуры многослойных конструкций

Напрессовывание покровной пленки на внутренние слои многослойных печатных плат имеет ряд особенностей.

Многослойные гибко-жесткие платы
Прессование

В основном условия прессования аналогичны тем, что описаны в предыдущих публикациях [3], за некоторыми исключениями:

- Температура прессования покровного слоя может быть снижена до 180 °С, поскольку эти слои еще будут подвергаться воздействию температур при многократном последующем прессовании.
- Для прессовых подушек лучше применять жесткую систему, чтобы получить плоскую поверхность покровной пленки для относительно легкого последующего спрессовывания слоев в многослойную структуру.
- Необходимо обеспечить полное удаление газовых включений, дабы предотвратить расслоение при следующих высокотемпературных операциях.

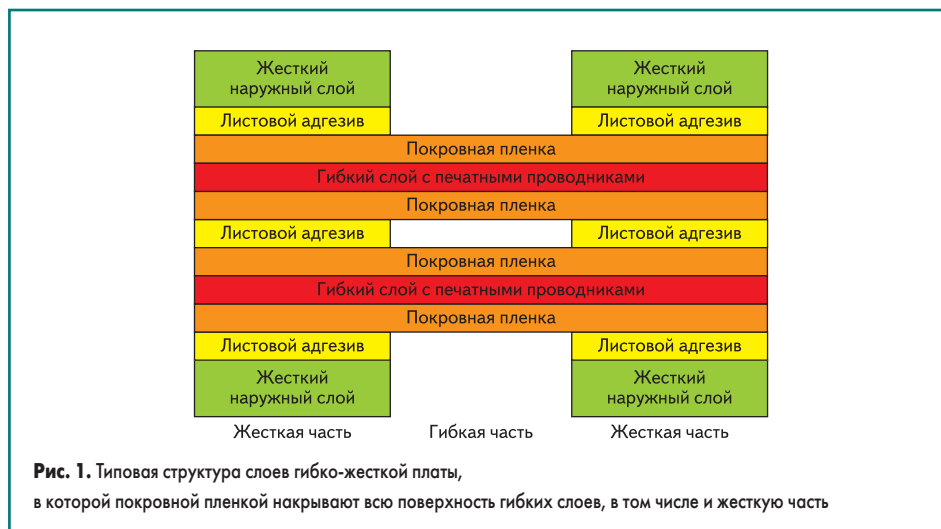


Рис. 1. Типовая структура слоев гибко-жесткой платы, в которой покровной пленкой накрывают всю поверхность гибких слоев, в том числе и жесткую часть

Типовые решения

На всю поверхность гибких слоев гибко-жестких плат, включая ту, что входит в жесткую часть, наносят покрывную пленку еще до прессования слоев в многослойную структуру (рис. 1).

Естественно, операция опрессовывания внутренних гибких слоев покрывной пленкой должна предшествовать прессованию слоев многослойных плат.

Другой вариант — прессование всех покрывных пленок и внутренних слоев за один цикл. Этот метод дешевле, но имеет следующие недостатки:

- большая вероятность воздушных включений;
- большая вероятность сдвига слоев (рис. 2).

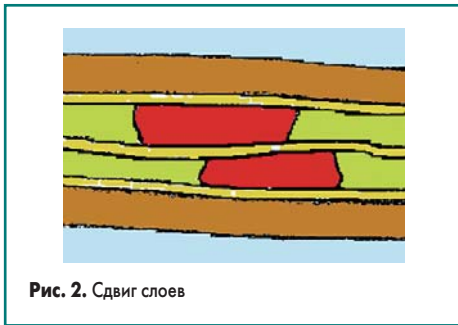
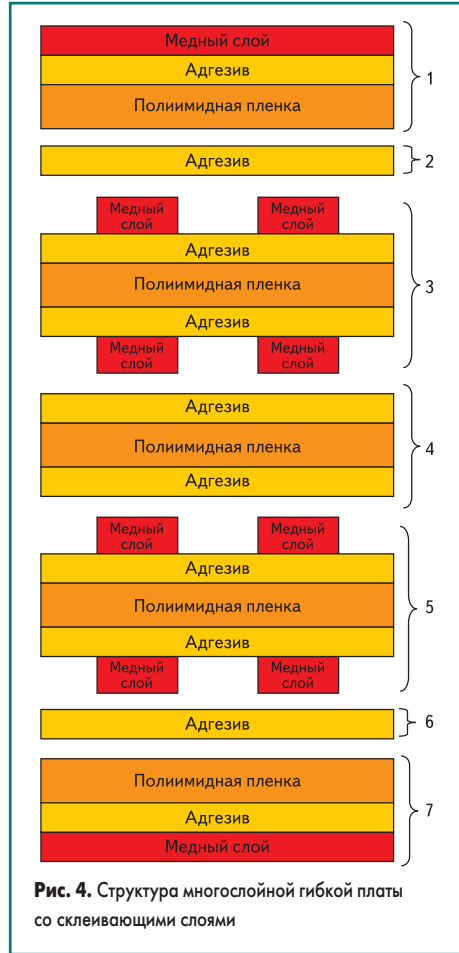
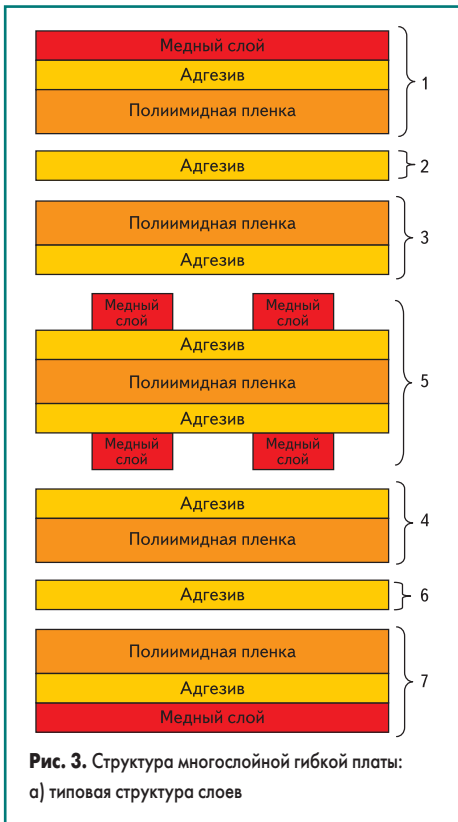


Рис. 2. Сдвиг слоев

Гибкие многослойные платы

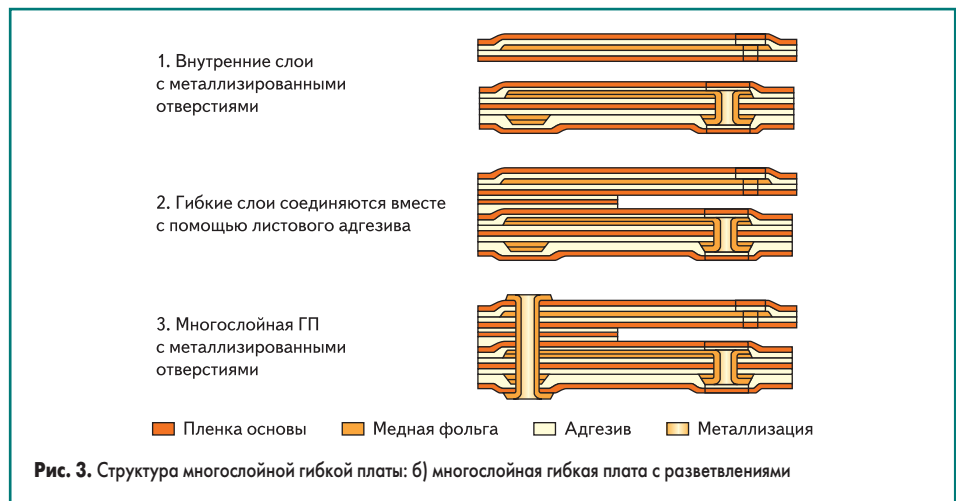
Условия прессования многослойных гибких плат аналогичны тем, что описаны в [3]. При прессовании многослойных гибких плат температура прессования должна быть порядка $190 \pm 7 \text{ }^\circ\text{C}$, если не прибегают к многократному прессованию.

Как и в гибко-жестких конструкциях, предпочтительно наносить покрывную пленку на всю поверхность внутренних слоев до их прессования в многослойную плату (рис. 3).



Альтернативная конструкция предусматривает использование клеящего слоя между слоями, не имеющими покрывных слоев. Недостатки этой конструкции — большая вероятность включений воздуха и сдвига слоев. В гибких платах с малым количеством слоев метод склеивания всех слоев так называемыми склеиваемыми слоями может оказаться приемлемым, но если количество слоев составляет 6 и более, то гибкость платы значительно уменьшается.

Еще один метод склеивания гибких многослойных плат заключается в использовании листового адгезива между листами с вытравленными схемами и обратной стороной композита, как показано на рис. 4, под верхним слоем. Как и при использовании склеиваемых слоев, тут тоже увеличивается вероятность захвата воздуха и сдвига слоев.



Обработка полиимидной пленки

Для улучшения сцепления адгезива с полиимидной пленкой при изготовлении многослойных плат целесообразно провести обработку ее поверхности.

Плазменное травление

При склеивании внутренних покрывной пленкой, акриловым адгезивом наилучшее сцепление с ним дает плазменная обработка. Она дает приемлемые результаты и при склеивании полиимида с эпоксидными препрегами.

Наилучшие результаты получают при 10–15-минутном цикле с наполнением камеры чистым кислородом. Остальные параметры зависят от плазменной установки. Обычно устанавливают следующие режимы плазменного травления:

- мощность: 1500 Вт;
- температура: 110 °С;
- давление: не более 0,4 мм ртутного столба.

Перед плазменным травлением необходимо провести сушку слоев при 120 °С в течение 30 минут (до полного удаления влаги). Такая термообработка предотвращает расслоение из-за интенсивного испарения влаги при нагреве и вакуумировании и ускоряет выход на заданное давление в камере. После плазменного травления слои необходимо содержать в сухом состоянии (в сухих шкафах), чтобы исключить повторную сушку перед прессованием многослойной платы. Обработанные плазмой слои должны быть использованы для прессования не позднее, чем через 12 часов с момента обработки.

Очистка изопропиловым спиртом

Хотя плазменное травление и предпочтительный метод достижения наивысшей прочности сцепления акрилового адгезива с поверхностью полиимида, достаточно эффективным методом является и протирка поверхности изопропиловым спиртом. Однако этот метод может оказаться не столь эффективным для склеивания эпоксидных или полиимидных препрегов, поскольку он позволяет лишь удалить грязь и масла, но не изменяет фактуру поверхности.

При работе с изопропиловым спиртом необходимо пользоваться неворсистыми протирочными материалами и небольшим количеством спирта, чтобы предотвратить поглощение спирта обрабатываемым слоем. После протирки нужно дать слою подсохнуть на открытом воздухе 1–2 минуты перед сборкой пакета.

Обработка пемзой

Очень легкую обработку полиимидных поверхностей пемзой рекомендуют только при склеивании слоев эпоксидными или полиимидными препрегами. Этот метод дает хорошую шероховатость поверхности. Во избежание процарапывания поверхности полиимида и внедрения частиц пемзы в материал нужно пользоваться только мягкими щетками, ибо внедренные частицы пемзы могут вызвать расслоение материала на более поздних стадиях обработки. Следует хорошо промыть поверхность полиимидных слоев до полного удаления всех остатков пемзы.

Удаление влаги

Удаление влаги из внутренних полиимидных слоев с покровной пленкой помогает снизить вероятность появления дефектов при пайке: образование пор и расслоение. Влага, конечно же, не является единственной причиной этих дефектов, но она весьма сильно способствует их возникновению. К образованию пор может вести просто испарение влаги. Кроме того, при прессовании слоев с повышенным содержанием влаги может произойти пиролиз полиимида, что испортит его поверхность и может привести к расслоению платы при последующих тепловых нагрузках.

При работе с обычными гибкими платами вода, поглощенная композиционным материалом основы или покровной пленкой, имеет еще возможность диффундировать, чтобы уйти из объема слоя. Но после сборки и прессования слоев выгнать эту воду будет уже гораздо труднее. По этой причине полезно просушить внутренние слои в течение 30–60 минут при 120 °С перед прессованием в многослойную структуру. До укладки в пакет высушенные слои следует хранить в сухом шкафу.

Если внутренние слои с покровной пленкой прошли плазменную подготовку поверхности, то платы сушить не нужно. В вакууме влага интенсивно удаляется из объема слоев, а плазменное травление активирует поверхность. Поэтому после плазменной обработки платы нужно сразу же передать в набор пакетов или их следует хранить в сухом шкафу с атмосферой 3–10% относительной влажности. Это важно, поскольку в атмосфере цеха с влажностью 70% полиимидные пленки за 30 минут вновь наберут недопустимое количество влаги — 2–3% по массе.

Оборудование

Оснастка

Системы прессовой оснастки включают в себя обкладочные листы, разделительные листы и фиксирующие штыри. Обкладоч-

ные листы и разделительные листы могут быть различной толщины. Обкладочные листы обычно делают из закаленной нержавеющей стали, но применяют и алюминиевые листы. Разделительные листы делают из нержавеющей стали. Пластины должны иметь ровную, гладкую поверхность без вмятин и вздутий.

Фиксирующие системы выполняют по одному из двух вариантов. Лучшей для прессования гибких многослойных и гибко-жестких плат является система с круглыми отверстиями и круглыми штифтами. В этой системе фиксирующие штифты обычно располагаются через каждые 75–125 мм по кромке платы. Одну и ту же оснастку можно использовать для различных конструкций плат. При особых требованиях к размерной стабильности характер расположения шпилек определяется самой платой, причем шпильки располагают ближе к рабочему полю и наиболее важным участкам платы. Однако, в любом случае, штифты не следует располагать ближе, чем на 12,7 мм от рабочего поля и тест-купонов технологического поля.

Штифты выполняют из нержавеющей стали. Высота штифтов определяет высоту набираемого пакета. Необходимо предусматривать определенное свободное пространство над и под шпильками, чтобы компенсировать уплотнение пакета слоев под давлением пресса и сжатие прессовых подушек при прессовании и не повредить прессовую плиту. Размер свободного хода штифтов в основном определяется сжимаемостью прессовых подушек.

На рынке предлагаются обкладочные пластины с сеткой технологических отверстий с шагом 25 мм. Такую систему можно использовать для разных изделий: шпильки устанавливают там, где это необходимо, в зависимости от конкретной платы или конструкции заготовки. При работе с этой системой между прессовой подушкой и обкладочным листом помещают специальный разделительный лист, чтобы отпечатки неиспользуемых отверстий не пропечатывались бы на изделии. Стоимость специального разделительного листа гораздо ниже стоимости специальных обкладочных листов, но изначальные затраты на обкладочные листы с координатным расположением отверстий значительно выше. Однако при производстве большого ассортимента сложных конструкций гибких плат, требующего для каждого изделия свою оснастку, эта система позволяет снизить рас-

ходы на изготовление специальной технологической оснастки.

Систему с четырьмя пазами и четырьмя штифтами (рис. 5) можно применять для изделий со свободными допусками на размеры. Однако при этом не следует ожидать хорошего совмещения элементов межсоединений из-за возможности сдвига и деформации основы слоев, допускаемой этой оснасткой.

Обычная практика предупреждения износа дорогой оснастки заключается в применении сменных втулок в фиксирующих отверстиях. Если при многократном использовании размеры фиксирующих отверстий увеличиваются, эти втулки легко заменяют.

Управление точностью совмещения

Совмещение элементов межсоединений в многослойных структурах — процесс многофакторный. Можно получить хорошие результаты позиционирования элементов рисунка на фотоплоттерах и сверлильных станках, но деформации пленочной основы фотошаблонов и слоев после травления и в процессе прессования могут свести на нет эти результаты, если используется непродуманная система совмещения. Системы базирования на штифтах с пробивкой базовых отверстий уже исчерпали свои возможности в обеспечении хорошей точности совмещения.

Прорыв в улучшении системы совмещения сделала швейцарская фирма PRINTPROCESS AG, обеспечив точность совмещения, соизмеримую с точностью сверления. Эта принципиально новая безбазовая система совмещения в многослойных структурах позволяет изготавливать прецизионные многослойные печатные платы по высоким проектным нормам. В отличие от систем, использующих базирование на штырях — PIN-LAM, эта система без базовых отверстий названа MAS-LAM. На эту систему базирования перешло большинство заводов Европы и Азии, российские заводы в Рязани, Чебоксарах и др. Заводу «ЭЛАРА» этот процесс позволил не только увеличить точность совмещения, но и перейти с заготовки размером 300×400 мм на размер 530×610 мм.

Работа с системой MAS-LAM начинается с автоматической установки экспонирования с оптической системой совмещения фотошаблонов по реперным знакам (без пробитых баз). Следящая система автоматически совмещает фотошаблоны с точностью 5 мкм. После загрузки слоя и вакуумного прижима установка автоматически повторно проверяет совмещение и при удовлетворительных результатах включает экспозицию. Экспонирование производится «холодным» УФ источником света, поэтому деформации фотошаблонов от нагрева во время экспозиции исключены.

После травления на установке автоматического совмещения в слоях высверливаются базовые отверстия с усреднением изменения размеров слоя. По этим отверстиям слои совмещаются на двух штифтах, перекадываются препрегом и после планаризации сшиваются (бондажируются в пакет слоев МПП) по пе-

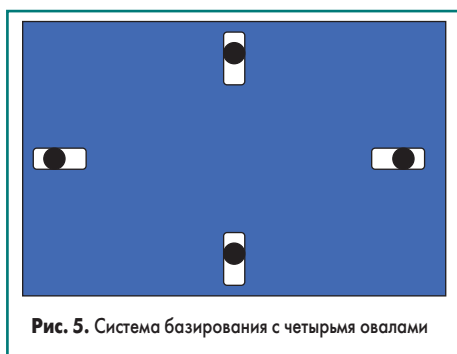


Рис. 5. Система базирования с четырьмя овалами

риметру одним из известных способов: клепочной машиной, сваркой или склеиваются. Прессование происходит без традиционных пресс-форм и штифтов.

После прессования на заготовке МПП производят вскрытие реперных знаков на внутренних слоях. Заготовка МПП поступает опять на установку центрирования баз, где после ускорения изменения размеров просверливают два базовых отверстия для последующих операций: сверления, экспонирования рисунка внешних слоев, маски и маркировки. Процедура экспонирования внешних слоев и маски автоматическая, аналогичная экспонированию внутренних слоев. Результаты измерения позиционирования элементов рисунка вводятся в компьютерную память машины на всех этапах изготовления МПП и обрабатываются. Эта информация позволяет оператору использовать селективный подход к обработке заготовок в автоматическом режиме.

Система MAS-LAM обеспечивает большую точность совмещения, не требует пробивки баз, избавляет от необходимости использования пресс-форм, регистрирует и сохраняет результаты измерений, ее легко можно встроить в автоматическое производство.

Прессовое оборудование

Гидравлические прессы

Для прессования гибких плат традиционно применялись гидравлические прессы. Прессы с паровым обогревом сейчас в основном вытеснены гидравлическими прессами с электрическим подогревом, поскольку последние дают возможность более точного контроля

скорости нагрева и позволяют работать при более высоких температурах прессования, которая у паровых прессов обычно не превышает 180 °С.

Вакуумные системы

Вакуумные мешки и пеналы используются в обычных гидравлических прессах, но прессуемый пакет сначала помещают в герметично закрытый вакуумный мешок, из которого откачивают воздух, и затем закладывают в пресс.

Недостаток вакуумных мешков заключен в их подверженности к нарушению вакуума и натеканию воздуха.

К достоинствам системы можно отнести:

- уменьшение давления прессования (обычно до 345–690 кПа);
- улучшение размерной стабильности;
- уменьшение вероятности появления воздушных включений.

Вакуумный пресс

В таком прессе вакуумная камера окружает платы гидравлического пресса.

Вакуумные прессы значительно дороже обычных гидравлических прессов, но позволяют создать в камере отличный вакуум по сравнению с вакуумными мешками. Достоинства вакуумных прессов аналогичны тем, что были указаны для вакуумных мешков.

Автоклавы

Автоклавы [3] не нашли особо широкого применения в силу высоких капитальных затрат на их приобретение и больших эксплуатационных расходов. Кроме того, в автоклавах необходимо пользоваться вакуумными мешками. Работают автоклавы обычно весьма хорошо,

но мешки и вакуумные упаковки, применяемые в них, тоже могут терять вакуум.

Окончание следует

Литература

1. Медведев А., Люлина В., Мылов Г., Набатов Ю., Семенов П., Сержантов А. Производство гибких и гибко-жестких печатных плат. Часть 1. Производство гибких плат без металлизированных отверстий // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 3.
2. Медведев А., Люлина В., Мылов Г., Набатов Ю., Семенов П., Сержантов А., Шкундина С. Производство гибких и гибко-жестких печатных плат. Часть 2. Производство гибких плат с металлизированными отверстиями // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 4.
3. Медведев А., Люлина В., Мылов Г., Набатов Ю., Семенов П., Сержантов А. Производство гибких и гибко-жестких печатных плат. Нанесение покровного слоя // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 5.
4. Технологии в производстве электроники / Справочник. Под ред. П. В. Семенова. Часть II. Справочник по производству печатных плат. Совместный проект ООО «Электрон-Сервис-Технология» и Гильдии профессиональных технологов приборостроения. М.: Группа ИДТ, 2007.
5. Технологии в производстве электроники. Часть III. Гибкие печатные платы / Под общ. ред. А. М. Медведева и Г. В. Мылова. М.: Группа ИДТ, 2008.