

Оборудование для струйной обработки печатных плат

Несмотря на высокую сложность современного технологического оборудования для изготовления ПП, его освоение и производство отечественными производителями является необходимым и возможным.

**Сергей Корбин
Василий Пизнюр
Сергей Говорун**

sto@nppsto.com

Ознакомившись с журналом «Производство электроники» № 5'2005, посвященном анализу состояния производства, оборудованию, материалам и технологиям, используемым при изготовлении печатных плат в России, мы обратили внимание на следующий момент: в таком важном направлении производства электронной продукции, как печатные платы (ПП), практически полностью отсутствуют отечественные изготовители технологического оборудования, поставщики материалов, технологий и химических реактивов. Только три предприятия: «Альфа», г. Москва (изготовитель оборудования для экспонирования фотошаблонов по технологии Laser Graver), «Элма», г. Санкт-Петербург (разработчик технологических процессов и поставщик химических реактивов) и НПП «Спецтехоборудование», г. Хмельницкий (изготовитель конвейерных линий струйной обработки — рис. 1) упоминаются в этом номере журнала. Полностью отсутствует информация об отечественных изготовителях оборудования для сверления, экспонирования и нанесения резистов, контрольного оборудования,

оборудования для поверхностного монтажа, а также об изготовителях материалов для производства ПП и т. д.

Может, это упущение организаторов выпуска данного журнала? Увы, нет. Объем информации по данной теме о зарубежных и отечественных поставщиках соответствует существующему сегодня положению вещей. Тенденция ухода с рынка отечественных производителей технологического оборудования, материалов и технологий продолжается, что в скором времени может привести к полной зависимости изготовителей ПП от импортных поставок. Положение усугубляется отсутствием координационного центра российских «печатников», которую выполняло в СССР Ленинградское НПО «Авангард», и остановкой работ по созданию новых стандартов, в которых бы отражались современные требования к производству ПП. Действующие в настоящее время стандарты не отражают сегодняшних требований, что, в свою очередь, тормозит внедрение новых технологий и создает конфликты между изготовителями ПП, сборщиками электронных узлов и заказчиками.

«Печатники», оказавшись в водовороте рынка, выживают самостоятельно. Может быть, такой рыночный подход и является единственно правильным? Но он имеет и ряд очень негативных моментов. Уже сегодня львиная доля ПП, используемых отечественными производителями электронной продукции, поступает из-за рубежа, в основном из стран Юго-Восточной Азии. Отечественные производства ПП оказываются невостребованными, неритмично работают, что, в свою очередь, ведет к снижению рентабельности и качества, повышению себестоимости ПП, а в конечном итоге и к невозможности своевременно обновлять парк технологического оборудования и выпускать конкурентоспособную продукцию. Такие тенденции могут привести в недалеком будущем не только к ориентации на зарубежных поставщиков оборудования и материалов для производства ПП, но и практически к полному прекращению отечественного производства ПП. Достойно ли такое положение? Национальное производство электронной продукции есть непрменный атрибут совре-



Рис. 1. Линия щелочного травления ПП

менного индустриального государства, а такое производство без собственного изготовления ПП вряд ли возможно.

Могут ли сегодня отечественные производители технологического оборудования составить конкуренцию зарубежным? Естественно, в один день освоить производство современного оборудования невозможно, но, задавшись такой целью, можно выйти на современный технический уровень для удовлетворения нужд отечественных производителей ПП, тем более, что все предпосылки для этого есть. Сегодня имеется возможность выбора лучших конструкционных материалов и комплектующих, как отечественного, так и зарубежного производства, имеются свободные производственные мощности, сохранились кадры. Дело за малым — необходимо проявить инициативу, задаться целью сформировать коллективы разработчиков, изыскать финансовые возможности и реализовать планы.

Чтобы заказчиком было легче ориентироваться, остановимся на основных моментах, которыми следует руководствоваться при выборе оборудования для струйных процессов.

Поскольку принцип работы струйных конвейерных линий основан на подаче раствора через форсунки на поверхность движущейся по конвейеру заготовки (рис. 2), отдельно остановимся на вопросе использования в модулях струйной обработки нетрадиционных систем полива для получения рисунка печатного монтажа на поверхности заготовок ПП с минимальной шириной дорожек и зазоров между ними. Так, например, фирма Resco предлагает решать эту проблему в своих линиях путем использования системы TFS, суть которой заключается в обработке поверхности чередующимися струями раствора, направленными на поверхность ПП под малым углом практически параллельно поверхности платы. При таком способе обработки отсутствуют зоны турбулентности на верхней поверхности заготовок ПП (то есть застойные зоны), присущие классическому способу, когда струи раствора подаются на поверхность из вертикально расположенных форсунок.

Многие технологи предприятий, использующих оборудование с системой TFS, не отмечали изменения качества обработки в сравнении с классической схемой. И этому можно дать объяснение: при обработке заготовок вертикальными струями раствора в каждый конкретный момент времени на ее поверхности создаются места интенсивного воздействия струй раствора и места скопления отработанного раствора, где процесс обработки не совсем стабилен. Приверженцы метода TFS утверждают, что отработанный раствор на верхней поверхности заготовки ПП создает своим присутствием препятствие для доступа свежего раствора из форсунок на поверхность заготовки и, тем самым, замедляет процесс обработки, приводя к неравномерности, например, травления меди. Если предположить, что в классической системе форсунки располо-



Рис. 2. Процесс струйной обработки ПП

жены таким образом, что пятна струй на поверхности заготовок пересекаются, то, естественно, в месте пересечения пятен струй на поверхности заготовки возникают режимы обработки, которые нельзя оценить ни качественно, ни количественно. Но если между пятнами струй на поверхности имеются гарантированные зазоры, то отработанный раствор, скапливаясь в них, не может вернуться обратно в зону пятна свежей струи, так как давление, с которым свежий раствор подается на поверхность заготовки, на несколько порядков выше, чем давление слоя отработанного раствора, собирающегося в зазорах между пятнами струй. По «мостикам», которые образуются между пятнами струй, отработанный раствор под действием силы тяжести самостоятельно перемещается к краю заготовки и стекает в модуль. Осцилляция коллектора с форсунками в горизонтальной плоскости перпендикулярно направлению движения заготовок ПП по конвейеру совместно с расположением форсунок, обеспечивающим отсутствие пересечений пятен струй на поверхности заготовки, гарантирует качественную, равномерную по всей поверхности обработку и не требует дополнительных мер для повышения разрешающей способности струйной машины. Правильно спроектированный коллектор с вертикальными форсунками к тому же обеспечивает минимальный боковой подтрав печатных проводников и имеет значительно более простую конструкцию, чем в системе TFS.

Большое значение в линиях струйной обработки имеет конструкция конвейерной системы. Ширину конвейера выбирают, учитывая максимальный размер обрабатываемой заготовки. Следует иметь в виду, что не стоит выбирать ширину конвейера для струйной машины заведомо больше необходимой, поскольку чем шире конвейер, тем больше объемы технологических растворов, мощность насосов и нагревателей и, соответственно, размеры и энергоемкость линии. Конструктивно в линиях струйной обработки обычно используются горизонтальные роликовые конвейеры с поперечным относительно направления движения заготовок расположением транспортирующих валков и продольным распределительным валом. Распределительный вал получает вращение от мотор-редуктора и передает его на транс-

портирующие валки. Передача вращательного момента от распределительного вала на транспортирующие валки производится, как правило, посредством одной из следующих передач: конических шестерен, червячных пар или цевочного зацепления. Все эти типы передач используются в современных машинах для струйной обработки заготовок ПП и успешно выполняют свою функцию. Однозначно нельзя сказать, какой из видов зацепления является лучшим. Об этом свидетельствует даже тот факт, что различные фирмы в процессе выпуска оборудования периодически переходят от одного типа зацепления к другому и обратно. Важно, чтобы конструкция конвейерной системы позволяла просто и оперативно, без использования слесарного или специального инструмента снимать транспортные валки для замены изношенных или вышедших из строя деталей конвейера. В этом аспекте практически все изготовители оборудования в настоящее время поступают идентично. Транспортные валки устанавливаются в подшипниковые стойки, из которых при обслуживании вынимаются вверх, освобождая доступ к нижним коллекторам с форсунками и ванне модуля. Больше разнообразия имеется как в материалах, из которых изготавливаются детали конвейера, так и в конструкции и расположении транспортирующих роликов, по которым непосредственно движется заготовка ПП, а также в конструкции отжимных валов. Основными материалами для деталей зацепления являются полипропилен и полиэтилен. Особой разницы в них нет. Важно, чтобы материал допускал работу в заданном температурном диапазоне и обеспечивал необходимую стойкость к рабочему раствору, а также чтобы была предусмотрена возможность оперативной замены износившейся или поломанной детали. Ролики, по которым непосредственно транспортируется заготовка, обычно изготавливают из мягкого пластика, они имеют скругленные края для снижения воздействия на заготовку, чтобы не повредить ее поверхность, особенно если она покрыта фоторезистом. Важно, чтобы с течением времени транспортирующие ролики в результате воздействия на них рабочих растворов не теряли своей эластичности.

Наибольшую сложность вызывает транспортировка слоев МПП. Для их транспортирования используют различные конструкции, такие как мостики между транспортными валками, струны, натянутые вдоль всего конвейера, дополнительный верхний ряд валков по всему конвейеру, а также их комбинации. Особенно сложно провести по конвейеру тонкий слой небольших габаритных размеров. В этом случае даже на самом сложном конвейере приходится использовать спутники. Использование спутников, оснащенных надежными захватами заготовки слоя, — наиболее эффективный способ транспортирования тонких небольших заготовок, но он снижает производительность линии. Отечественные изготовители

ПП сегодня редко используют групповые заготовки больших размеров, которые бы полностью перекрывали по ширине рабочую зону конвейера, поэтому при выборе струйной машины важно обратить внимание на возможность беспрепятственного транспортирования заготовки ПП малого размера. Принцип такого выбора прост — чем меньше расстояние между транспортными валками и роликами, тем меньшая по размерам заготовка может транспортироваться конвейером.

Отжимные валы устанавливаются в переходных зонах между модулями и предназначены для уменьшения переноса раствора вместе с заготовками из одной камеры обработки в другую. Отжимные валы устанавливаются парами — верхний и нижний. Для повышения эффективности в переходной зоне отжима может быть несколько таких пар. Наиболее часто используются гуммированные отжимные валы, а также валы с покрытием из мягкого ПВХ.

Сердечники валков конвейера сегодня изготавливаются из титана, нержавеющей стали и углеродистого пластика. Предпочтительнее конвейерные системы, в которых используются комбинации из углеродистых транспортирующих валков и отжимных валов из титана, гуммированных мягкой резиной или другими материалами, обеспечивающими эффективный отжим.

Относительно скорости перемещения заготовок ПП по конвейеру необходимо отметить следующее: скорость конвейера должна плавно регулироваться для подбора требуемого времени обработки заготовки ПП в рабочей зоне модуля. Диапазон возможного регулирования скорости конвейера должен быть заведомо шире в большую сторону для обеспечения возможности повторного пропускания по линии недотраченных заготовок. Такая повторная обработка выполняется на скоростях, в несколько раз превышающих штатную. Для привода конвейера используются механизмы на основе двигателей постоянного или переменного тока. Регулировка частоты вращения в двигателях постоянного тока производится блоками управления, которые обеспечивают изменение напряжения на якоре. Для регулировки частоты вращения двигателей переменного тока применяют частотные преобразователи. Использование двигателей переменного тока предпочтительней, так как в них отсутствует коллекторное устройство и не требуется его технического обслуживания.

Теперь о насосах. В основном, в линиях струйной обработки заготовок ПП используются такие типы: погружные центробежные, центробежные с горизонтальным расположением вала и сальниковым уплотнением вала и насосы с магнитной муфтой. Предпочтительнее, конечно же, погружные центробежные насосы, корпуса которых обычно изготавливаются из поливинилхлорида или полипропилена, а удлинители валов — из титана. Эти насосы долговечны, не требуют технического обслуживания и ра-

ботают безотказно весь период эксплуатации линии. Центробежные насосы с сальниковым уплотнением вала из-за специфики работы в агрессивных средах значительно уступают в надежности погружным, и их использование в линиях струйной обработки даже в промывочных модулях нецелесообразно. Насосы с магнитной муфтой не имеют прямой связи вала электродвигателя с крыльчаткой. Вращательный момент от вала двигателя на крыльчатку передается посредством магнитного поля, которое создается кольцевым магнитом, охватывающим крыльчатку насоса. Но недостаток таких насосов в том, что они не обеспечивают достаточного давления в коллекторах с большим количеством форсунок и очень чувствительны к загрязненным рабочим растворам. К тому же, они значительно дороже погружных. Использование насосов с магнитной муфтой целесообразно для подачи корректирующих компонентов в растворы, перекачки растворов и в установках фильтрации.

В линиях струйной обработки используются, как правило, два типа форсунок — щелевые, формирующие жесткие плоские струи подаваемого раствора, и факельные, обеспечивающие мягкую обработку заготовки. От типа форсунки, геометрии и размеров ее сопла, а также от их количества и производительности насосов зависит давление и объем раствора, подаваемого на обрабатываемую заготовку. Соотношение этих параметров имеет решающее значение для производительности и качества обработки. Изготовители оборудования уделяют особое внимание подбору этих параметров для выполнения тех или иных технологических переходов. Общепринятым в настоящее время является использование керамических форсунок, которые обладают высокой износостойкостью. Геометрия сопла таких форсунок практически не изменяется в процессе эксплуатации, в отличие от форсунок, выполненных из пластмассы или металла. Это обеспечивает постоянство параметров рабочей струи и гарантирует качественную обработку заготовок ПП.

Корпуса модулей изготавливают, как правило, из листового поливинилхлорида и полипропилена. Эти материалы обеспечивают высокую стойкость к воздействию агрессивных сред технологических растворов. Причем корпуса из поливинилхлорида используют для рабочих растворов, температура которых не превышает 55 °С, а корпуса из полипропилена могут работать при температурах до 90 °С. Некоторые изготовители производят корпуса модулей из титана. Целесообразность использования титана сомнительна, поскольку такие корпуса намного дороже, и ремонт их сложнее. Современные технологии обработки заготовок ПП не требуют использования температур, при которых невозможно использование пластмасс. На некоторых предприятиях оборудование с корпусами из поливинилхлорида отработало по три десятка лет. Это превосходит нормы эксплуатации оборудования такого класса в несколько раз.

Операция обработки на струйных линиях, как правило, заканчивается сушкой обработанной заготовки. В сушке происходит удаление влаги с поверхности заготовки и из отверстий. Причем, если высушивание поверхности не представляет большой сложности, то с уменьшением диаметров отверстий в ПП проблема качественного высушивания отверстий, особенно на максимальной скорости конвейера, потребовала принятия дополнительных мер и значительного усложнения конструкции горизонтальных конвейерных сушек. Несмотря на оригинальность конструкций сушек разных производителей, общепринятым является сегодня использование плоских нагнетательных и всасывающих ножей для вытягивания влаги из отверстий в комбинации с многократным отжимом мягкими отжимными валками и обдувом горячим воздухом.

В современных линиях струйной обработки для управления используются системы на базе программируемых контроллеров. Такие системы высокоинтеллектуальны и имеют возможность подключения к системам верхнего уровня. В цехах крупносерийного производства ПП требуется увязка оборудования в цеховые системы АСУТП, поэтому альтернативы таким системам управления нет.

Для небольших производств использование микропроцессорных систем не представляется таким безальтернативным по целому ряду причин. Для ремонта микропроцессорных систем управления требуются высококвалифицированные специалисты, процесс этот может занимать много времени. Работа оборудования в агрессивной среде вынуждает производителей для лучшей герметизации и повышения надежности выносить системы управления в отдельно стоящие шкафы, что требует выделения дополнительных производственных площадей. Если в связи с изменением технологии потребуются какие-либо изменения или доработка конструкции линии, выполнить их без глубокого вмешательства в конструкцию СУ или даже полной ее замены невозможно. Поэтому для мелкосерийных и серийных производств более предпочтительными представляются СУ, реализованные на базе релейных схем. Они просты и не требуют для обслуживания и ремонта высококвалифицированного персонала.

Для контроля и поддержания параметров технологических растворов в модулях либо используются отдельные терморегуляторы, либо функцию регулирования температуры обеспечивает непосредственно микропроцессорная СУ. Нагрев растворов производится электронагревателями, имеющими защитную оболочку, стойкую к воздействию агрессивной среды. Наилучшими и наиболее часто используемыми являются титановые ТЭНы. Они обладают высокой стойкостью к воздействию рабочих растворов, значительной мощностью и малыми габаритами.

Для контроля кислотности среды используются цифровые pH-метры и измерители

редокс-потенциала. Для контроля плотности применяются обычно ареометры с оптическими или индуктивными датчиками. Выходные сигналы от этих приборов используются для организации корректировки рабочих растворов. Корректирующие компоненты готовятся и хранятся в технологических емкостях. Подача их в модули производится, как правило, посредством насосов-дозаторов или инжекторных насосов.

Наиболее эффективным извлечение меди из отработанных травильных растворов производится при помощи электролизеров. Это, как правило, законченные устройства, которые могут подключаться к травильным модулям линий различных производителей.

Большое значение при выборе оборудования следует уделять условиям гарантийного и послегарантийного обслуживания. Предоставление своевременной и квалифицированной помощи по устранению неисправностей и поставка запасных частей дает значительное преимущество какой-либо машине и сводит к минимуму время простоя производства. Оперативное решение вопросов гарантийного и послегарантийного обслуживания значительно облегчает эксплуатацию работникам на линии.

Сегодня на рынке имеется широкий выбор линий для струйной обработки заготовок ПП различных производителей. Достоинством представителем на рынке является НПП «Спецтехоборудование» (г. Хмельницкий), которое занимается разработкой и изготовлением горизонтальных конвейерных модульных линий струйной обработки заготовок ПП. Предприятие было создано в 2000 году специалистами, которые раньше работали на ведущем по данному направлению в СССР заводе «Темп».

При определении направления деятельности нового предприятия было решено освоить выпуск линий струйной обработки, которые максимально соответствовали бы современным требованиям отечественных производителей ПП. При этом исходили из следующих предпосылок:

1. Линии должны строиться по модульному принципу, а набор базовых модулей должен быть таким, чтобы максимально удовлетворить изготовителей ПП по требуемой производительности и составу технологических переходов.
2. Материалы и комплектующие, используемые для изготовления оборудования, должны обеспечить его безотказную и длительную работу.
3. В конструкции должны использоваться технические решения, позволяющие быстро проводить необходимые регламентные работы на линии силами специалистов средней квалификации.
4. Оборудование должно иметь минимальные габариты и энергоемкость.
5. Стоимость должна быть заведомо меньше аналогичного по своим функциональным возможностям импортного оборудования. Конечно, эту концепцию было бы очень просто реализовать без большого практи-

ческого опыта по разработке, производству и вводу в эксплуатацию подобных линий.

При определении требований к габаритам конвейера исходили из того, что его ширина должна быть достаточной для обработки групповой заготовки размером 500×600 мм. При определении требований к производительности исходили из того, что объемы производства ПП значительно сократились. Поэтому данный показатель должен быть в пределах 5 м²/ч.

Для обеспечения наиболее полной функциональности линий был определен и освоен в производстве базовый набор модулей в следующем составе:

1. Основной операционный модуль для струйной обработки ТМ1. Назначение: двухсторонняя струйная обработка с осцилляцией коллектора с форсунками, нагревом и охлаждением для кислого и щелочного травления, проявления, снятия металлорезиста и пр. Для обеспечения повышенной производительности (до 15 м²/ч) изготавливаются модули ТМ1,5 и ТМ2, аналогичные по конструкции модулю ТМ1, но имеющие увеличенную соответственно в 1,5 и 2 раза длину зоны обработки.
2. Вспомогательные модули струйной обработки СОМ1, СОМ2, СОМ3. Назначение: струйная двухсторонняя обработка с нагревом и охлаждением для операций осветления, химической обработки, промывки и пр. Модули выполняются с одной, двумя или тремя камерами обработки, которые могут работать либо как независимые зоны обработки, либо в режиме каскадного перелива для многоступенчатой каскадной промывки. В каждом каскаде модулей могут устанавливаться нагреватели и охладители. Длина рабочей зоны модулей может варьироваться по требованию заказчика.
3. Модуль раздубливания фоторезиста РФМ. Назначение: погружная обработка в растворе для раздубливания (набухания) фоторезиста на поверхности заготовки ПП перед его снятием.

4. Модуль снятия фоторезиста СФМ. Назначение: обработка жесткими струями нагретой воды или раствора для снятия фоторезиста или краски с поверхности заготовки ПП.

5. Модуль сушки ГСМ. Назначение: высушивание обработанных заготовок.

6. Модуль загрузки и модуль разгрузки. Назначение: прием заготовок для обработки и выдача обработанных заготовок соответственно.

Модули изготавливаются из листового поливинилхлорида и полипропилена, оснащаются погружными насосами разной мощности, в зависимости от необходимых требований обработки и производительности (рис. 3). Конвейер выполняется из титановых стержней с мягкими пластикатовыми роликами. Передача вращения с распределительного вала на транспортные валки производится при помощи цевочного зацепления. В нагнетательных магистралях насосов используются легкоразборные быстрообслуживаемые фильтры. В коллекторах полива используются керамические щелевые и факельные форсунки трех типоразмеров. Камеры обработки всех модулей оснащены двойным набором прозрачных крышек для исключения протечек раствора. Между зонами обработки устанавливаются отжимные валы для уменьшения переноса раствора из одной камеры обработки в другую.

Кроме модульных линий, на предприятии производятся установки травления, которые могут использоваться для различных технологических операций струйной обработки заготовок ПП в условиях опытного и мелкосерийного производства.

По сравнению с зарубежными аналогами, линии струйной обработки заготовок ПП, выпускаемые НПП «Спецтехоборудование», имеют в целом сопоставимые технические характеристики при меньшей стоимости. Отличает их то, что в конструкции системы управления использованы простые релейные схемы управления. Отсутствие информативности, которую дают микропроцессорные



Рис. 3. Модули линий струйной обработки ПП

системы управления, компенсируется простотой релейной системы управления, что позволяет обслуживающему персоналу невысокой квалификации самостоятельно находить и быстро устранять возможные неисправности. Система управления построена таким образом, что позволяет гибко переконфигуровывать модули в линии, исключать или добавлять новые путем подключения силовых и сигнальных цепей к транзитному шлейфу самостоятельно самим потребителем. Это позволяет адаптировать оборудование к изменяющимся технологическим требованиям в процессе эксплуатации. Отсутствие необходимости использовать для работы на оборудовании и для его обслуживания персонал высокой квалификации в совокупности с высокой надежностью значи-

тельно снижают стоимость эксплуатации оборудования.

За время существования предприятия изготовлено свыше 70 линий струйной обработки, которые поставлены на ведущие предприятия стран СНГ. По отзывам специалистов, работающих и обслуживающих эти линии, они полностью оправдали возлагавшиеся надежды. Особенно эксплуатационники подчеркивают тот факт, что оборудование очень просто и удобно в обслуживании и не требует высококвалифицированного персонала. На оборудовании обрабатываются односторонние, двухсторонние и многослойные платы с минимальной шириной дорожки и зазором между проводниками 0,15 мм. О возможности обработки плат, которые изготовли-

ваются по более высоким технологическим нормам, заказчики не смогли ничего сказать по той причине, что пока не изготавливали такие платы.

Стремление наиболее полно удовлетворить требования заказчиков оборудования по составу технологических переходов, выполняемых на линии, а также производительности и стоимости дает постоянный стимул для совершенствования конструкции модулей, повышения удобства их обслуживания и надежности.

Подводя итог, хочется отметить следующее: несмотря на высокую сложность современного технологического оборудования для изготовления ПП, его освоение и производство отечественными производителями является необходимым и возможным. ■