

В ПЕРСПЕКТИВЕ МЫ ВИДИМ СЕБЯ В РОЛИ КОРПОРАТИВНОГО ЦЕНТРА ПРОИЗВОДСТВА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Визит на Азовский оптико-механический завод

Текст: Владимир Мейлицев

”

Одно из ведущих предприятий Юга России – Акционерное общество «Азовский оптико-механический завод» – начало выпускать продукцию, содержащую электронные узлы, еще в начале 1960-х годов. Как и все производители электронной техники тех лет, предприятие само изготавливало платы для своих устройств, и эта традиция непрерывно продолжается до сегодняшнего дня. За время существования завода его производство печатных плат пережило три полномасштабных технологических перевооружения, последнее из которых завершилось в текущем году. По приглашению руководства АОМЗ мы отправились посмотреть, чем сегодня располагает цех изготовления печатных плат и каков уровень выпускаемой им продукции. Разговор начался в кабинете первого заместителя генерального директора АО «Азовский оптико-механический завод» Василия Валерьевича Аксёнова.

Василий Валерьевич, расскажите немного об истории завода.

Акционерное общество «Азовский оптико-механический завод» (АОМЗ), носившее тогда другое название, начало свою деятельность как предприятие по изготовлению агрегатов сельскохозяйственных машин и оборудования для производства сельхозтехники. В течение нескольких последующих лет номенклатура выпускаемой продукции расширялась и изменялась, но кардинальное переупрофилирование завода связано с именем его многолетнего (с 1956 по 1987 годы) директора Николая Георгиевича Васильева. За время его руководства на АОМЗ были освоены разработка и производство широкого спектра оптико-механических и оптико-электронных приборов самого различного назначения – от бытовой и медицинской техники до агрегатов космических аппаратов. Вместе с первым оптико-электронным изделием у нас начало развиваться и изготовление электронных узлов и, соответственно, плат для них – сначала несущих, а потом и печатных..

И какими же они были, эти первые печатные платы?

В 1972 году на базе штамповочного цеха был организован участок производства печатных плат (ПП), с 1974 года преобразованный в цех с численностью персонала около 200 человек. Цех изготавливал одно- и двухсторонние платы негативным методом, переходные отверстия прошивались медной проволокой, металлизировались и гальванически затягивались – гальваническая технология у нас к тому времени уже давно была освоена.

Следующий этап развития производства ПП состоялся в 1980-х годах, когда в Москве на выставке было приобретено новое оборудование, в частности, химико-гальваническая линия швейцарской фирмы STS. Для того времени это было самое передовое оборудование в своем классе, и оно подтвердило свою репутацию: линия STS работает у нас до сих пор.

Этот комплект машин позволил выпускать платы, соответствующие 3 и 4 классам точности. Многослойные ПП (МПП) мы делали тогда по методу открытых контактных площадок: в вышележащих слоях прессом вырубались окошки до контактных площадок на внутренних слоях, и после прессования пакета на эти площадки монтируются выводы компонентов. Таким образом мы изготавливали 12-, 16- и даже 18-слойные ПП, надолго обеспечив потребности предприятия в этой части комплектации наших изделий.

Почему потребовался следующий этап развития производства печатных плат?

Думаю, это очевидно. Требования заказчиков постоянно растут – и в части расширения, усложнения функционала приборов, и в части минимизации их массо-габаритных характеристик. И возможности микроэлектроники позволяют следовать этим требованиям: микросхемы становятся все более производительными и многофунк-

циональными, растут частоты каналов и шин передачи данных внутри электронного узла, продолжается процесс микроминиатюризации электронных компонентов. Для разработчиков ПП это означает рост плотности монтажа и предъявление требований в части СВЧ-характеристик, а для технологов – необходимость уменьшения размеров основных элементов топологического рисунка ПП, точности их воспроизведения и, в ряде случаев, освоения специальных материалов. Параллельно с этим возрастает роль качества, стоимости и надежности – как выпускаемых изделий, так и технологических процессов, в ходе которых они изготавливаются.

Некоторое время нам приходилось заказывать особо сложные МПП на другом предприятии, но было ясно, что нужно полностью переоснастить собственное производство. И это сделано – при помощи средств Федеральных целевых программ мы в три этапа создали новый технологический комплекс. На нем мы можем производить многослойные (до 24 слоев) ПП, в том числе высокочастотные, максимальным размером 610 × 457 мм, толщиной до 3,2 мм. По основным параметрам проектной нормы это платы 5 класса точности, а по некоторым элементам – до 7-го: минимальная ширина проводников/зазоров 0,05/0,07 мм с точностью 5 мкм, максимальное отношение диаметра металлизированного отверстия к его глубине 1:20. Кроме того, на этом оборудовании могут изготавливаться гибко-жесткие ПП, платы на металлическом основании, гибкие печатные схемы.

Когда запущен новый комплекс оборудования?

Оборудование было запущено в эксплуатацию в начале текущего года. Последняя закупка МПП у сторонней организации прошла в апреле-мае. В этом интервале времени мы провели цикл испытаний, подтвердивший способность комплекса производить платы с требуемыми параметрами точности, подписали все официальные акты. Одновременно переработали под новую технологию конструкторскую документацию (КД), подготовили маршрутно-операционные описания технологических процессов.

Должен отметить, что вся эта работа была сделана совместно с ООО «Остек-СТ». Выбор этой компании для долгосрочного партнерства обусловлен тем, что она, во-первых, обладает широким кругом компетенций – от инжиниринговой проработки помещений и инфраструктуры до разработки проекта очистных сооружений – и, во-вторых, предлагает технологическое сопровождение как продукт, за который несет ответственность. Это ценно, потому что немногие поставщики готовы братья за столь полноформатные программы сотрудничества.

Как вы можете описать характер вашего производства?

По количеству изделий, выпускаемых для основных заказчиков, – 50, 100, 200 комплектов в год по отдельным видам продукции – мы представляем собой типичное мелкосерийное производство. Но зачастую наши платы



Валентина Шпикат

имеют сложную форму, а разнообразие их конструкций достигает и превышает 500 видов. При этом на сегодня многослойные ПП составляют 15–20 % от общего выпуска, остальное – одно- и двухсторонние.

Какие задачи вы ставите перед собой на ближайшее будущее?

Производство ПП проектировалось под объемы выпуска, превышающие плановый уровень загрузки по основным типам изделий. Это понятно – было бы непредусмотрительно заранее лишать себя возможности увеличения выпуска при необходимости, а также запаса мощностей, которые можно использовать для привлечения дополнительных заказов. Поэтому теперь, когда производство запущено, мы ставим задачу постепенно обеспечить оборудование полной загрузкой.

Первый этап на этом пути – окончательный перевод нашей базовой номенклатуры на собственные мощности, полное исключение сторонних закупок. Дальше будем

предлагать свои услуги предприятиям концерна, в который входит АОМЗ. Мы провели анализ, с кем из них можем войти в кооперацию; в первую очередь это, конечно, прибористы. Мы уже наладили контакты с некоторыми из них, сделали для них платы, провели испытания. Сейчас передаем изготовленные платы для испытаний у заказчиков, а после этого представим результаты на научно-техническом совете концерна. Считаю, перспектива у нас хорошая, поскольку больше в составе объединения нет заводов, имеющих запущенное и отлаженное производство печатных плат.

Наконец, на третьем этапе, после того, как первые два будут реализованы и превратятся в нашу повседневность, будем пробовать заместить поставщиков ПП для предприятий Южного федерального округа.

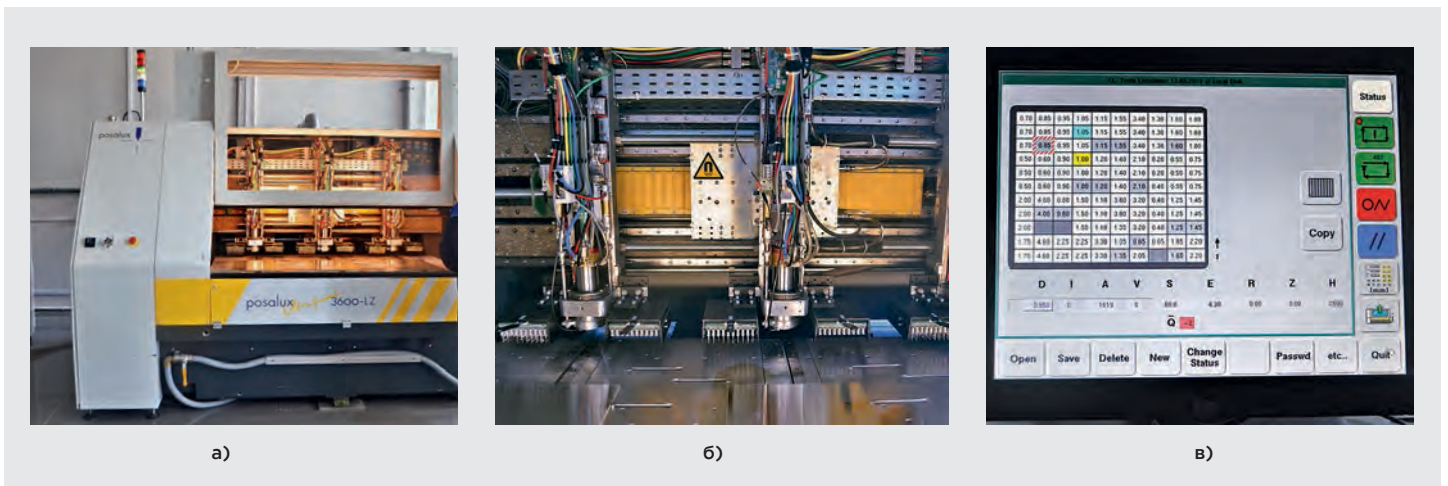
О составе и особенностях нового производственного комплекса изготовления печатных плат нам рассказала «на местности» начальник технологического бюро печатных плат АОМЗ Валентина Сергеевна Шпикат.

Валентина Сергеевна, какую технику вы используете на механическом участке?

Сейчас у нас два основных станка: скоростной сверлильный Posalux Ultraspeed 3600-LZ и сверлильно-фрезерный Posalux Ultraspeed Mono Combi.

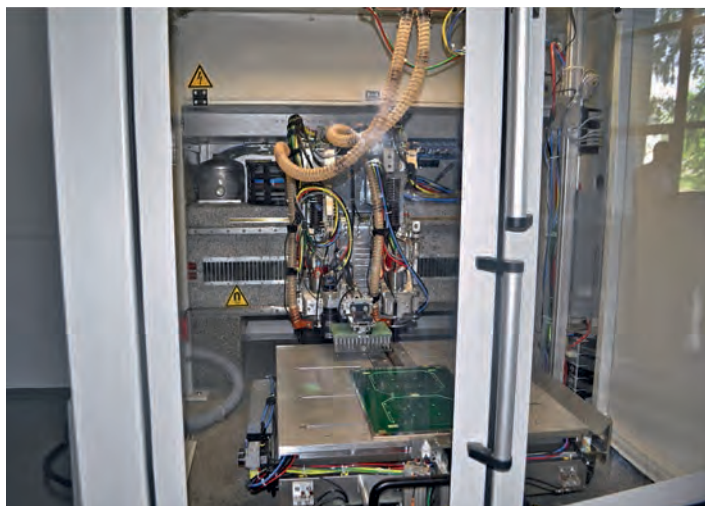
Первый имеет три станции с высокооборотными – до 170 тыс. об/мин – шпинделями (рис 1). Каждую из трех станций можно включить либо выключить, но работают они по одной программе; поэтому станок применяется в первую очередь для работы с серийными платами, когда важна высокая производительность. На нем мы обрабатываем все типы плат: от прецизионных до самых простых.

Станок очень «умный». Перед началом работы оператор проверяет наличие в магазинах необходимого



1

Сверлильный станок Posalux Ultraspeed 3600-LZ: а – общий вид; б – рабочая зона. Возле каждой из станций располагаются по два магазина со сверлами; в – управляющий экран с отображением состояния сверл в магазине. Зеленая подсветка – сверло из этой ячейки магазина сейчас находится в шпинделе, серая – сверло уже использовалось, желтая – сверло выработалось, его надо заменить. Красной пунктирной границей отмечена ячейка, которую оператор программирует в данный момент



2
Рабочая зона станка Posalux Ultraspeed Mono Combi. Левый шпиндель – фрезерный, правый – сверлильный

инструмента и, если надо, пополняет их. Делается это под управлением программы, которая показывает размещение сверл в магазине и их состояние. В ходе работы станция сама забирает из магазина нужное в данный момент сверло, контролирует его годность при помощи лазерного датчика; в случае негодности останавливается и выдает сигнал оператору.

Операция фрезерования участвует в производстве любых ПП, но платы для СВЧ-устройств предъявляют к ней особые требования: на них нужно формировать заглубленные металлизированные пазы и контуры с точным соблюдением глубины и формы в плане. Поэтому в состав оборудования участка входит прецизионный сверлильно-фрезерный станок Ultraspeed Mono Combi (рис 2). Он имеет одну станцию, но с двумя шпинделями, сверлильным и фрезерным. Число обо-

ротов сверлильного шпинделя 250 тыс. в минуту, фрезерного – до 60 тыс. Фрезерный шпиндель мощнее, его, кроме фрезерования, используют для сверления отверстий диаметром 4 мм и более. Сверлильный шпиндель применяется в основном для обработки высокоточных плат, он может работать с самыми тонкими сверлами – от 0,05 мм.

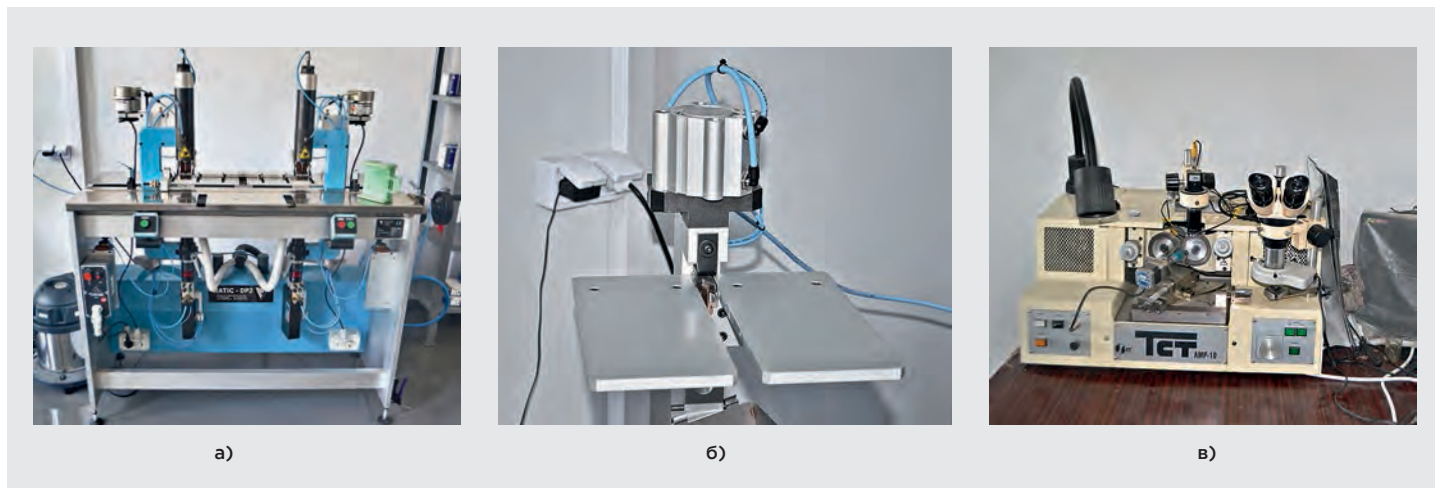
Оба станка имеют систему контроля вертикального положения шпинделя над поверхностью, позволяющую сверлить и фрезеровать на заданную глубину с точностью 12,5 мкм.

Перед тем как подать плату на сверлильный станок, собирается пакет для сверления, в который, кроме самой заготовки (а чаще – нескольких одинаковых заготовок), входят верхняя и нижняя накладки. В пакете сверлятся два отверстия, в которые вставляются скрепляющие штифты. Для одно- и двухсторонних плат эта операция выполняется на установке Matic-DP2. После сверления пакет расштифтовывают, разбирают, и платы переходят на следующие этапы обработки (рис 3).

Куда направляются платы после сверления?

После сверления заготовки передаются на участок «мокрых» процессов и гальваники. Это наш самый большой участок, здесь установлены следующие линии: подготовки поверхности перед нанесением фоторезиста; подготовки поверхности перед прессованием; проявления фоторезиста и защитных паяльных масок; кислотного и щелочного травления; подготовки поверхности перед горячим лужением (процесс HASL) и финишной отмывки после него. Здесь же расположены две гальванические линии – одна для химического, другая для гальванического меднения, линия иммерсионного золочения и сама установка HASL.

После сверления плата поступает на автоматическую установку зачистки поверхности с жесткими валами и системой промывки водой под давлением (рис 4),



3
Оборудование механического участка: а – установка сверления двух отверстий и пневматического штифтования пакетов заготовок ПП Matic-DP2; б – станок для расштифтовки пакетов; в – станок для заточки сверл. Перетачиваются сверла диаметром от 0,6 мм для работы с одно- и двухсторонними платами, для сверления МПП переточенные сверла не применяются



4

Установка зачистки поверхностей производства компании Universal. Справа – модуль механической обработки, в центре – промывка и шкаф управления (вверху), слева – модуль горячей сушки

главное назначение которой – удаление заусенцев, оставшихся после механической обработки. Кроме того, установка может применяться для подготовки поверхности перед нанесением фоторезиста.

Теперь можно приступить к металлизации отверстий?

Для этой задачи предназначены две гальванические линии компании PAL (рис 5). Первый из двух процессов – химическое меднение. Он состоит из целого ряда операций: диэлектрик в отверстиях протравливается для очистки и механической подготовки поверхности, которая затем активируется раствором-кондиционером, после чего на нее осаждается палладий, на который, в свою очередь, осаждается медь – непосредственно к диэлектрику она прикрепиться не может. Слой меди получается сплошным, но тонким – порядка 1 мкм. По-



5

Гальваника: справа – линия химического меднения, слева – гальванического меднения

этому дальше в этой же линии производится гальваническая затяжка, в ходе которой слой меди наращивается до толщины 6 мкм.

На второй линии, также компании PAL, толщина меди доводится до значений, заданных в КД.

Почему выбор остановился именно на линиях PAL?

Эти линии очень хорошо продуманы. В них реализована комбинированная система промывки – погружная и струйная. Струйная система включается до того, как подвеска погрузит плату в ванну, и остатки раствора от предыдущей операции полностью удаляются не только из сквозных, но и из глухих отверстий, из всякого рода пазух. Одна лишь погружная система, даже с учетом вибрации подвески, не гарантирует такой результат.

Еще одна особенность линий PAL: в них применена система погружных штанг, на которых в растворе держатся аноды. Обычно они закрепляются на медных штангах, располагающихся над поверхностью раствора, где подвергаются воздействию паров раствора, забрызгиванию, от этого окисляются, возникают проблемы с электрическими контактами. Для того, чтобы погруженная в электролит штанга не растворялась сама, как растворяются аноды, ее медный стержень плакирован слоем титана толщиной примерно 1 мм. Результат: штангам в линиях PAL обслуживание требуется на порядок реже, чем штангам обычной конструкции.

Аноды размещаются в титановой корзине, подвешенной к штанге на титановом же крючке. Причем они представляют собой шарики диаметром порядка 3 см – такая форма обеспечивает равномерное выработка меди и ее распределение в растворе, что также работает на общее качество процесса.

Все, что необходимо, удобно регулируется. В программу вводится площадь обрабатываемой платы, выставляется плотность тока, задается рабочий диапазон температур; если измеренное значение ниже его нижней границы, линия не включится, если ванна перегрелась – автоматически включится охлаждение от чилера.

Конечно, почти все эти функции и конструктивные особенности в том или ином сочетании имеются и у других гальванических линий. Но можно с большой долей уверенности утверждать, что гальванические линии PAL – это лучшее, что можно приобрести в рамках тех цен, которые предлагаются их производителем.

Хотелось бы отметить, что во всех наших химических процессах используются реактивы компании J-КЕМ. Они везде дают хорошие результаты; так, с аддитивными добавками этой компании, применяемыми при металлизации отверстий, мы получаем пластичность меди 20 %, что является очень хорошим результатом для производственной технологии и позволяет без всяких проблем металлизировать отверстия с соотношением диаметра к глубине (aspect ratio, AR) 1:10 и более.



6
Участок «мокрых» процессов: а – конвейерная установка струйного проявления защитной паяльной маски. Шкаф управления, как обычно у Universal, смонтирован «вторым этажом»; б – линия иммерсионного золочения. Можно видеть индивидуальные пульта для каждой из ванн линии

Судя по тому, что мы видим на этом участке, для всех «мокрых» процессов, кроме гальваники, вы используете линии и установки компании Universal.

Кроме гальванических линий PAL, на участке есть и другие исключения, впрочем, немногочисленные. Большинство же машин, действительно, произведено крупной китайской фирмой Universal. Оборудование, которое она изготавливает, в последние годы завоевало прочную репутацию в мире, оно пользуется устойчивым и расширяющимся спросом – даже в Европе, где многие именитые компании сами умеют производить весь спектр подобных машин. Никакого особенного секрета здесь нет, просто в своем классе техники машины Universal имеют наилучшие показатели по критерию «стоимость-эффективность». Они укомплектованы всеми необходимыми агрегатами и приспособлениями для высококачественного проведения химических процессов, легко конфигурируются под конкретную задачу, надежны, просты в управлении и обслуживании и при этом стоят значительно меньше, чем оборудование других производителей со схожими характеристиками.

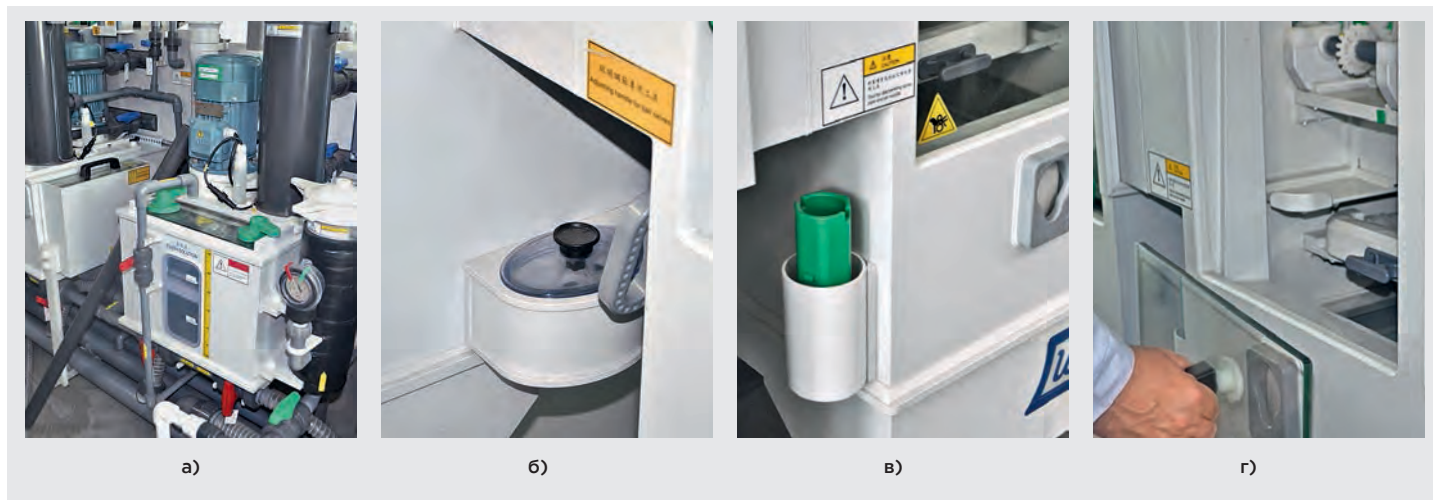
Возьмем, например, линию щелочного травления. Она оборудована автоматической системой регенерации меди: при превышении установленной концентрации меди в расходном баке часть раствора из него сбрасывается в агрегат регенерации, а из него бак дополняется регенерированным раствором до тех пор, пока содержание меди не снизится до нижнего предела допустимого диапазона.

Имеется система дозирования аммиака, автоматически поддерживающая стабильное значение водородного показателя (рН) раствора. Значение допустимого отклонения является параметром управляющей программы, его можно точно регулировать, что,

вместе с управлением температурой и плотностью раствора, позволяет получить фактор травления 4,5 и более.

Еще одно полезное решение Universal – возможность устанавливать давление для каждой отдельной форсунки, через которые плата омывается травильным раствором; так удается получить высокую однородность травли меди по всей поверхности ПП. Причем давление в форсунках устанавливается с пульта, что позволяет оперативно подбирать режим травления, не вмешиваясь в управляющую программу и, следовательно, избегая ошибок, возможных при таком вмешательстве.

Вообще, оборудование компании Universal, установленное у нас, хорошо приспособлено к потребностям многономенклатурного производства. Впрочем, то же самое можно сказать обо всех машинах участка «мокрых» процессов. Например, линия иммерсионного золочения (рис 6). Сообразуясь с планируемыми объемами выпуска продукции, мы выбрали установку фирмы Baoding Landun с ручной «логистикой»: оператор сам переносит подвески с платами из одной ванны в другую. Но при этом на небольшом, очень просто устроенном индивидуальном пульте каждой ванны выставляется время, необходимое для прохождения процесса, и по его истечении подается сигнал, так что ошибки, связанные с человеческим фактором, сведены к минимуму. Кроме того, технолог получает возможность оперативно регулировать длительность процессов, что значительно облегчает подбор параметров при освоении нового изделия – если бы длительность протекания процессов управлялась компьютером, то при каждом ее изменении приходилось бы переписывать программу, внося корректировки в общий цикл работы установки.



7

Эргономика в исполнении компании Universal: а – оборудование приподнято на стойках, все коммуникации проложены под ним. Можно также видеть краны всех трех цветов: синего, зеленого, красного; б – контейнер для запасных форсунок; в – пластмассовый ключ для отсоединения коллекторов хранится в кармане, сделанном специально для него; г – снятая крышка не ставится на пол, а вывешивается на стенке машины

Есть еще какие-то качества, которые добавляют привлекательности оборудованию Universal?

Еще одно достоинство машин Universal относится к области эргономики (рис 7). Шкафы управления расположены «вторым ярусом», это не только экономит площадь, но и оберегает их от проливов и забрызгивания, вполне возможных в помещении, по которому транспортируется множество различных химических растворов. Оборудование опирается на стойки, и все коммуникации проходят под ним – нет опасности споткнуться о трубу, перетаскивать через нее тележку при перевозке тяжестей.

Краны на коммуникациях окрашены в три разных цвета: синими имеют право манипулировать операторы, зелеными – только инженеры-технологи, положение красных кранов меняется только в особых случаях по специальному распоряжению.

Китайские дизайнеры далеко продвинулись в создании самых незначительных удобств – в том, чем раньше славились европейцы. Например, в подходящем месте машины устроен контейнер, в котором хранится комплект чистых форсунок для оперативной замены; на выходные дни в контейнер заливается раствор для предохранения форсунок от загрязнения. Сделаны карманы для инструмента, а стеклянные крышки отсеков, снятые для доступа к агрегатам и органам управления, не надо ставить на пол – на стенке машины есть гнезда, куда они вставляются специальными пластмассовыми кронштейнами.

Вы сказали про иммерсионное золочение. Какие еще виды защитных покрытий вы применяете?

Кроме иммерсионного золочения, мы применяем горячее лужение – HASL-процесс – и иммерсионное оловянирование.

Горячее лужение выполняется на трех установках (рис 8). Первая реализует подготовительные процессы:

очистку, микротравление для создания шероховатостей на поверхности меди и флюсование. Затем плату монтируют на рамку и отправляют собственно в установку горячего лужения, где она окунается в ванну свинцово-оловянного припоя ПОС-63 с температурой 250 °С, а затем обрабатывается воздушными ножами – потоками горячего воздуха, выравнивающего слой припоя и выдувающего его из отверстий в плате.

Далее плату нужно отмыть, но сразу облить ее водой нельзя, это вызовет недопустимое коробление. Сначала плату нужно остудить, не повредив при этом мягкую еще поверхность припоя. Специалисты Universal нашли эффективное инженерное решение: плата передвигается по входному конвейеру машины на воздушной подушке, которую создает под ней холодный воздух, подаваемый через отверстия в нижней поверхности конвейера. Благодаря уклону конвейера плата под собственным весом «доплывает» примерно до его середины, где ее останавливают выдвинувшиеся штифты. В этой позиции происходит остывание платы до комнатной температуры, после чего штифты убираются, и плата по тому же уклону перемещается к роликовому конвейеру модуля финишной отмывки.

Почему нужны три вида финишных покрытий?

Каждому из них присущи свои преимущества и недостатки, определяющие область оптимального использования.

HASL-покрытие отлично паяется, хорошо сохраняется. Его недостаток – наплывы припоя и разновысотность покрытия, что ограничивает применимость для поверхностного монтажа.

Иммерсионное золото дает прекрасную поверхность для монтажа и, кроме того, допускает монтаж разваркой. Но у золота есть свои недостатки, наиболее серьезный из которых – проблемы экологиче-



8 HASL-процесс: а – линия подготовки поверхности и флюсования (на переднем плане), установка финишной отмывки; б – установка горячего лужения производства китайской компании Dalux LTD; в – перфорированный наклонный конвейер, на котором плата остывает после прохождения воздушных ножей. Направляющие конвейера регулируются по ширине платы

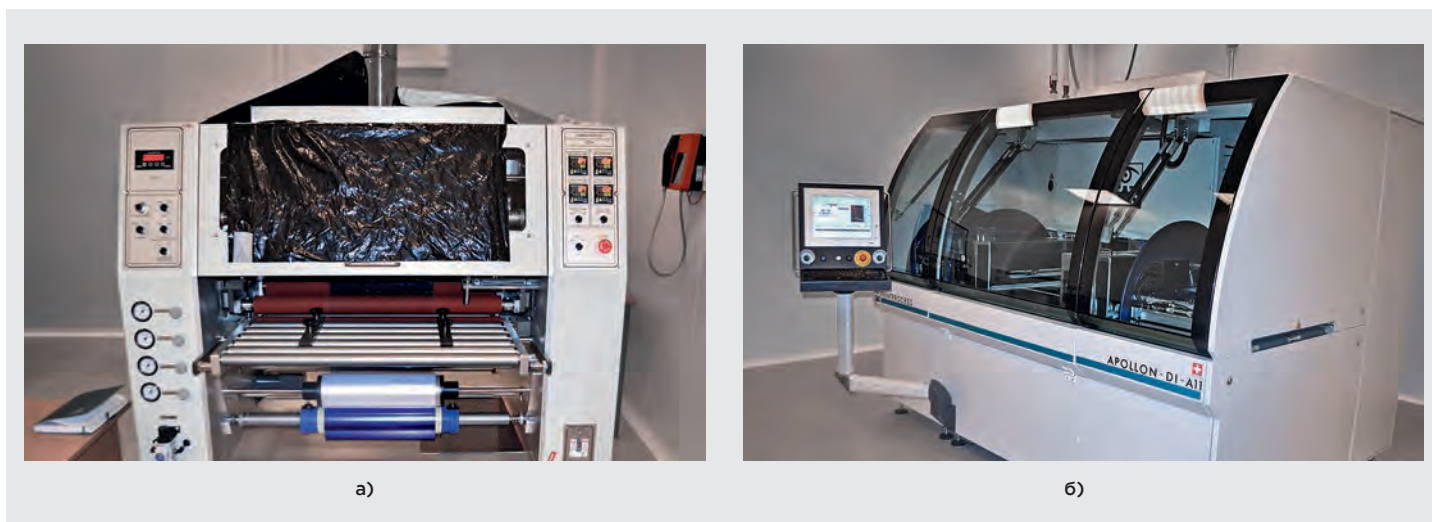
ского характера. Как известно, при осаждении золота используется подслоя никеля и раствор на основе уксусной кислоты; соли никеля обладают канцерогенными свойствами, горячая уксусная кислота – весьма агрессивное вещество. Вдобавок смесь компонентов раствора химического никеля трудно утилизируется. Ну и, конечно, золото как драгметалл очень дорого, а его использование должно сопровождаться строгой отчетностью.

Иммерсионное олово образует такое же по качеству покрытие, как иммерсионное золото, только не позволяющее проводить сварку. Прежде этот тип покрытия имел существенный недостаток: оно сохраняло требуемый уровень паяемости в течение двух недель, а потом портилось в результате образования интерметаллического соединения олова и меди. Для преодоления этого недостатка была разработана технология с разделени-

ем меди и олова подслоем электропроводящей органики; именно этот метод реализуется в нашей установке. Даже с таким усложнением процесс гораздо проще, чем иммерсионное золочение, требует меньше временных и энергетических затрат и, конечно, значительно дешевле вследствие низкой стоимости основного материала покрытия.

Мы уже дошли до финишных покрытий, но при этом пропустили целый ряд предшествующих этапов изготовления плат. Какое оборудование вы используете для работы с фоторезистом?

Для формирования проводящего медного рисунка мы применяем одну из лучших машин – установку прямого экспонирования Apollon D1-A11 швейцарской компании Printprocess (рис 9). Эта компания создает, вероятно, лучшие в мире системы совмещения, и такая система,



9 Фотолитография: а – ламинатор WAT 100F-LH корейской компании OTS; б – установка прямого экспонирования Apollon D1-A11

интегрированная в Apollo, производит эту операцию с погрешностью, не превышающей 5 мкм.

Две экспонирующие головки на ультрафиолетовых светодиодах обеспечивают рабочее разрешение 40 мкм при максимальном 20 мкм и дают практическую производительность по фоторезисту, равную 10 с на сторону заготовки размером 305 × 457 мм. При необходимости в машину можно установить до восьми головок, а также дооборудовать ее, например, модулем автоматического переворота ПП – сейчас эта операция выполняется вручную.

Сухой пленочный фоторезист наносится на плату при помощи ламинатора WAT 100F-LH, проявление производится на одной из машин Universal на участке «мокрых» процессов.

Как вы формируете на плате защитную паяльную маску?

Для нанесения на платы паяльной маски и маркировки используется трафаретная печать, реализованная в основном на оборудовании компании Gilco. Мы работаем с жидкими светочувствительными паяльными масками от нескольких производителей, двух цветов: зеленого и белого; последние используются для маркировки и в тех случаях, когда имеет значение эффект светоотражения, в частности, при изготовлении светодиодных светильников.

Мы рассмотрели основные процессы, входящие в цикл изготовления одно- и двухсторонних ПП и внутренних слоев МПП. Осталось ознакомиться со сборкой и прессованием многослойных плат.

Прежде чем начинать сборку пакета МПП, необходимо подготовить медные поверхности внутренних слоев – сделать их шероховатыми для увеличения адгезии к препрегу. Для этого на участке «мокрых» процессов имеется установка, реализующая сравнительно новую технологию TOP BOND компании

J-КЕМ. Этот процесс имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционно применяемым для той же цели оксидированием, одним из которых является уменьшение размерной нестабильности слоев вследствие низкой, по сравнению с оксидированием, температуры протекания реакций – не более 50 °С.

Пакет слоев МПП собирается на установке Rivolino компании Printprocess. Перед сборкой каждый слой нужно привязать к ее инструментальной базе – просверлить базовые отверстия. Важный момент: при сверлении этих отверстий необходимо учесть усадку, которой подверглись слои на предыдущих этапах обработки. Для этого служит установка Targomat IV той же швейцарской компании (рис 10). Targomat сравнивает реальное расстояние между реперными знаками слоя МПП с его чертежным значением, вычисляет уход размеров и располагает центры базовых отверстий со сдвигом на половину этого ухода – таким образом вдвое уменьшается погрешность в любой точке МПП.

Надо сказать, что подобная операция производится и после прессования МПП – перед сверлением в ней сквозных переходных отверстий. В этом случае включается в работу еще одно изделие компании Printprocess – установка вскрытия реперных знаков Targomil. Внешние слои МПП на этом этапе еще полностью покрыты фольгой, и Targomil двумя своими шпинделями, сверху и снизу, производит фрезерование на заданную глубину в местах расположения реперов на внутренних слоях. Теперь можно перемещать заготовку на Targomat, который установит уход размеров после прессования и расположит с его учетом базовые отверстия для сверлильного станка.

Давайте вернемся к сборке заготовки МПП.

Метод сборки, реализуемый на установке Rivolino, – бесштифтовой, на заклепках (рис 11). Количество заклепок и расстояние между ними подбирается опытным



а)



б)

путем, оно зависит от размеров, материала и количества слоев в МПП. На штифты установки слой за слоем собирается пакет МПП, зажимается специальным приспособлением – мы называем его «утюжком»; затем задается расстояние между заклепками, и пакет отправляется в рабочую зону.

Процесс склепывания состоит из сверления отверстий, вставления в них заклепок и их расклепывания. Всё это происходит автоматически, одновременно с двух сторон пакета.

Теперь можно собирать пакет для прессования?

Для этой задачи, так же как и собственно для прессования, у нас установлено оборудование фирмы HML (рис 1 2). Склепанные заготовки – их укладывают по три в одну пресс-форму – поступают на линию сборки-разборки пресс-форм. Пакет для прессования – достаточно сложный «пирог», в котором, кроме заготовок МПП, присутствуют термобуферы для выравнивания температуры по площади, антиадгезивные пленки для предохранения пресс-формы от загрязнения вытекающим полимером, прокладочные листы, адгезивная пленка для исключения перемещения тяжелых плит пресс-формы относительно заготовки. Составные части пресс-формы весьма массивны, поэтому линия снабжена магнитным манипулятором.

Промышленные прессы в производстве печатных плат обычно бывают многоярусными, и для удобства загрузки пресс-формы доставляются к ним в стокере – раме с направляющими, расположение которых соответствует по высоте ярусам прессы. Для загрузки в стокер пресс-форм, весящих в сборе около 100 кг, служит пневматический лифт, для их перемещения к прессу – транспортная тележка с подъемным механизмом.

Мы пользуемся двухъярусным вакуумным прессом HML MP-50-2VK. Он позволяет работать как с низкотемпературными, так и с высокотемпературными материалами. Перед загрузкой пресс предварительно разогревается до 80 °С, производится вакуумирование. Параметры режима прессования изменяются по заданному профилю: сначала достигается размягчение препрега до гелеобразного состояния, затем усилие прессования и нагрев возрастают до максимальных значений – наступает стадия стеклования. После необходимой выдержки в работу вступает система водяного охлаждения – начинается фаза контролируемого остывания пресс-формы, и при снижении температуры до значения 50 °С ее можно извлекать и отправлять на разборку.

Дальше – сверление сквозных отверстий, их химическое меднение, фотолитография, гальваническое осаждение меди и травление внешних слоев, контрольные операции, финишное покрытие, нанесение защитной паяльной маски, маркировка. Плата готова к монтажу.



а)



б)



в)

1 1

Установка сборки заготовки МПП Rivilino: а – общий вид; б – прижимное приспособление – «утюжок»; в – зона склепки

Какое оборудование вы применяете для контроля выпускаемых плат?

Помимо обычного визуального контроля мы проверяем качество воспроизведенной на внутренних и внешних слоях топологии с помощью автоматической оптической инспекции (АОИ) Discovery II 8200 производства компании Orbotec. Проанализировав изображение платы, которая удерживается на рабо-



1 2

Оборудование, используемое в технологической цепочке подготовки и прессования МПП: а – пневматический лифт. Справа в стене – шлюзовое окно между помещениями разных классов чистоты; б – двухъярусный вакуумный пресс HML MP-50-2VK

чем столе вакуумным фиксатором, АОИ показывает все отклонения ее элементов от оригинала, сформированного в соответствии с КД; решение о степени критичности отклонений принимает оператор. Допуски программируются в соответствии с классом точности ПП.

Производится также электрический контроль плат, для чего используется автоматический тестер с «летающими щупами» модели Space Light ESL-610 – машина, способная работать с материалами толщиной от 0,1 мм (рис 1 3).

Как вы контролируете качество самого технологического процесса?

Наиболее полное представление о состоянии основных технологических процессов дает контроль качества исполнения элементов ПП по микрошлифам; особенно большую информацию дает исследование микрошлифов металлизированных сквозных отверстий.

Таким образом проверяется каждая плата, для чего на ее заготовке в выбранных местах при проектировании закладываются тест-купоны, число которых зависит от сложности платы. Каждый купон содержит отверстия, просверленные сверлами тех диаметров, которые используются при изготовлении данной ПП. Вместе с платой купоны проходят все стадии технологического процесса, а затем вырезаются, и из них изготавливаются микрошлифы.

Изготовление микрошлифа – непростая задача. В купоне имеются базовые отверстия для закрепления на технологической оснастке. Несколько купонов на оснастке вставляются в цилиндрическую обечайку и заливаются органической термореактивной смолой, которая затем подвергается полимеризации. Процесс проводится в вакуумной печи – в смоле не должно остаться пузырьков воздуха, которые особенно трудно удаляются как раз из отверстий.

После этого заливочная обечайка отделяется, и купоны в затвердевшей смоле идут на шлифовку. Эта операция



1 3

Автоматизированный контроль изготовленных ПП: а – оптическая инспекция; б – тестер с «летающими щупами»

требует очень большой точности. Задача шлифовки – вывести поверхность шлифа в плоскость, в которой лежат оси тестовых отверстий, причем допуск, установленный ГОСТом на отклонение от нее по глубине, равняется $\pm 10\%$, иначе искажения при измерении толщины металлизации на стенках отверстия будут слишком велики. Если речь идет об отверстии диаметром 0,2 мм, то допуск будет равняться 20 мкм.

Операция шлифовки производится на установке Tegramin-30. Это шлифовально-полировальный станок, так как заключительные этапы обработки шлифов представляют собой серию из нескольких операций полирования с уменьшающимся размером абразивных частиц.

Изготовленный шлиф анализируется на микроскопе фирмы Olympus под управлением компьютерной программы (рис 1 4).

Надо отметить, что контроль по микрошлифу нужен не только для того, чтобы убедиться в годности данной платы и записать этот факт в паспорт, прилагаемый к маршрутному листу. Другую, не менее важную роль они играют при отработке технологии для новых изделий и материалов. Самый простой пример: на тестовой плате из нового материала просверливаем, скажем, 1000 отверстий и потом вырезаем тест-купоны через каждые 100 отверстий – так устанавливается ресурс сверла данного диаметра на данной толщине данного материала. Или на многослойной плате сверлим отверстия диаметром от 0,2 до 1,8 мм при разном числе оборотов и скорости подачи, изготавливаем шлифы, исследуем их – на этом материале подбирается оптимальный режим сверления.

Вы говорите – исследуем микрошлиф. Какие его элементы оцениваются в таком исследовании?

Мы можем посмотреть форму отверстий и толщину их металлизации, обнаружить ее разрывы, проверить соединение меди на стенках отверстия с медью контактной площадки; можем увидеть наносы смолы, стеклование и еще многое другое.

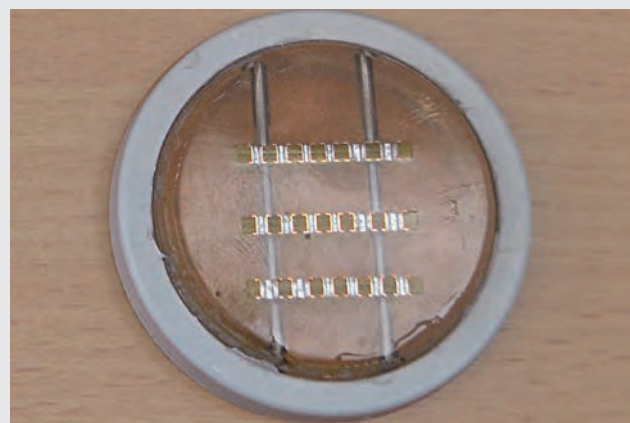
Если мы видим, например, отклонения стеклотекстолитовой границы отверстия, или нанос смолы, – значит, что-то было не так со сверлом, если речь идет об освоенном изделии, либо неверно установлен режим сверления, если отрабатываем технологию для новой платы. Нанос смолы может также свидетельствовать о недостаточно эффективной очистке в ходе процесса химического меднения. Вообще же информация, которую дает анализ микрошлифов, позволяет сделать выводы практически по всем операциям технологического процесса.

Наверняка вы уже провели обширный цикл подобных исследований на новом оборудовании. Расскажите о каком-нибудь из таких испытаний.

Одна из опытных работ была нацелена на проверку качества металлизации отверстий с большим соотношением глубины к диаметру. Проверка проводилась на высоконасы-



а)



б)

1 4

Участок микрошлифов: а – шлифовально-полировальный станок Tegramin-30; б – микрошлиф, готовый к исследованию

щенных многослойных ПП из двух разных базовых материалов, одна из них имела толщину 2,0 мм, другая – 2,1 мм. Отверстия имели диаметр 0,2 мм. Контроль по микрошлифам показал, что все отверстия получили сплошную, без изъянов металлизацию одинаковой по всей поверхности толщины 35 мкм при допуске $\pm 10\%$. То есть мы можем гарантировать безупречное качество металлизации отверстий с AR = 10, а скорее всего и больше.

Спасибо за интересный рассказ.