

# ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОТОТИПНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Актуальность разработки новых изделий в сжатые сроки вызывает необходимость в быстром изготовлении печатных плат самим разработчиком, поскольку новый проект за ограниченное время должен пройти несколько итераций, прежде чем будет передан в серийное производство. Кроме того, и серийные предприятия также заинтересованы в быстром изготовлении единичных образцов плат без обращения к основной технологической линии своего производства. Создание опытных образцов предоставляет разработчику значительные преимущества при доведении конструкции изделия до совершенства и проведении необходимых испытаний.

Целесообразность создания опытного производства печатных плат (ПП) на месте их проектирования подтверждается многими обстоятельствами. Проектные организации, размещающие заказы своих проектов на стороне, в том числе за рубежом, испытывают значительные неудобства. Если для подтверждения очередного варианта проекта нужно 2–3 образца платы одного типа, то для зарубежного поставщика приходится оплачивать заказ, по объему эквивалентный 50–100 шт. плат. Таким образом, низкие поштучные цены на изготовление ПП на самом деле оборачиваются серьезными издержками.

Второе обстоятельство, усложняющее размещение заказов за рубежом – различия в системах стандартов. Третье обстоятельство – наличие госзаказов с соответствующей приемкой. Можно аттестовать готовые платы зарубежного производства на соответствие требованиям ГОСТа, но для этого нужно иметь соответствующее автоматическое тестирующее оборудование стоимостью в комплекте порядка 150 тыс. долларов. Поэтому при строгом отношении к качеству заказы плат за рубежом становятся дороже и, кроме того, заказчик не имеет возможности управлять качеством в ходе изготовления плат.

При самостоятельном же изготовлении опытных образцов разработчик получает преимущества при доведении конструкции изделия до совершенства и проведении необходимого объема испытаний. Еще более целесообразно организовывать кустовые производства, изготавливающие платы по заказам предприятий ближайшего региона. Поскольку от региональных предприятий ожидаются самые разнообразные заказы малыми партиями – от односторонних и простых двухсторонних до многослойных плат (МПП) 4–5 класса сложности, планируемое производство должно стать многономенклатурным и единичным. При организации прототипного производства приходится ориентироваться на высокие проектные нормы, соответствующие потребностям разра-



Ю.Пинус  
pinus@elserv.ru

ботчика и тенденциям развития технологий, поскольку только они обеспечиваются современным оборудованием. Выбор такого оборудования делается в основном с ориентацией на импорт.

Технология изготовления ПП в прототипном производстве мало чем отличается от производства серийного, так как используются те же материалы, химикаты и процессы. Зато в наборе оборудования различия существенны.

Единственный метод прототипного производства, который не может быть принят в серийном производстве, – это "сухой" метод. Он заключается в следующей последовательности операций [1]:

- предварительное сверление отверстий, которые должны быть металлизированными, на станке с ЧПУ;
- фрезерование фольги по контуру рисунка схемы на том же станке;
- установка пустотелых заклепок во все необходимые отверстия с последующей пайкой для обеспечения проводимости между заклепкой и контактной площадкой.

Использование сухого метода в прототипном производстве обусловлено тем, что за 3–5 ч можно получить готовую плату при управлении станком прямо от компьютера; не требуется применение каких-либо химических процессов; можно использовать любой материал подложки; отпадает необходимость в очистных сооружениях или локальной очистке стоков, поскольку их нет.

В серийном же производстве данный метод не применяется из-за его ограниченных возможностей: минимальный диаметр заклепки – 0,4 мм (а нужно до 0,2 мм); ширина проводника/зазора не может быть ниже 0,2/0,2 мм; повышенный расход дорогостоящего инструмента для вырезки контура проводников; ухудшенные характеристики электрической изоляции из-за неизбежной подрезки диэлектрического основания; высокая трудоемкость установки заклепок в отверстия при необходимости имитации двухсторонних плат.

Рассмотрим применяемое оборудование для прототипного производства.

**Раскрой материала.** Фирмы Bungard (Германия) и Mega Electronics (Великобритания) выпускают гильотинные ножницы для раскроя половины листа материала на заготовки (рис.1). Кроме того, фирма Bungard поставляет



Рис.1. Гильотинные ножницы NE-CUT фирмы Bungard



**Рис.2. Сверлильно-фрезерный станок с ЧПУ фирмы Bungard**

готовые заготовки фольгированного стеклотекстолита по заказу, а также заготовки, покрытые фоторезистом [2].

**Сверление отверстий.** В прототипном производстве целесообразно применять настольные одношпиндельные станки с программным управлением, которые являются универсальными сверлильно-фрезерными (рис.2). Эти машины поставляются в трех модификациях:

- модель CCD\2 под заготовки 200x300 мм с ручной сменой инструмента – самая недорогая модель;
- модель CCD\MTC под заготовки 300x400 мм с ручной сменой инструмента;
- модель CCD\ATC под заготовки 300x400 мм с автоматической сменой инструмента.

Эти станки позиционируют высокооборотный шпиндель с дискретом 25 мкм. Кроме сверления и фрезерования контура, они способны скрайбировать многослойные покрытия и гравировать металл, что делает их полезными в многообразных приложениях.

**Подготовка поверхности.** Предлагаются щеточные установки подготовки поверхности типа RBM 300, RBM 400 (рис.3), оснащенные двумя осциллирующими щетками из нетканого волокна, наполненного абразивом, камерой промывки и сушки.

**Металлизация отверстий.** Химико-гальванические процессы выполняются на небольших установках с названием



**Рис.3. Зачистная машина RBM-400 фирмы Bungard**

Compaста (рис.4). Выпускаются они как в фирменном исполнении, так и по техническому заданию заказчика или исполнителя проекта прототипного производства. В стандартном исполнении установка состоит из набора ванн, оборудованных сис-



**Рис.4. Химико-гальваническая лабораторная линия Compaста**

темой перемещения плат, системами термостатирования и перемешивания растворов, где это предусмотрено проектировщиком и поставщиком химикатов. Непременный атрибут установки – универсальная промывная система, состоящая из двух ванн промывки погружением и одной ванны струйной промывки. В состав линейки включены ванны гальванического меднения с источниками питания и таймерами. Применительно к комбинированному позитивному методу в состав линии включена ванна гальванического осаждения олова (олова-свинца).

Процесс металлизации отверстий может быть произведен либо из стандартного раствора химической металлизации, либо из современного раствора "прямой металлизации" с использованием химических концентратов, централизованно поставляемых со склада фирмы ЭСТ. В последнем случае число ванн в линейке меньше, технологический процесс короче и, соответственно, цена оборудования ниже. При тентинг-методе процесс на установке проводится в единой цепочке вплоть до нанесения полного гальванического покрытия на всю поверхность заготовки и в отверстия. При изготовлении плат комбинированным позитивным методом производится "разрыв" процесса на проведение фотохимических операций.

#### **Фотолитография.**

Для проведения операций нанесения рисунка схемы применяются практически те же решения, что и для серийного производства. Отличия состоят лишь в производительности операций.

**Ламинирование.** Для нанесения фоторезистов предлагаются небольшие ламинаторы типа RLM 419P/RLM 426P фирмы Bungard (рис.5) или GX12/GX24 фирмы MEGA. На этих ламинаторах фоторезист наносится одновременно на обе стороны заготовки. Ламинаторы точно поддерживают заранее заданную температуру, что обеспечивает хорошую устойчивость и воспроизводимость результатов.



**Рис.5. Ламинатор RLM 419P фирмы Bungard**



**Рис.6. Настольная установка экспонирования HELLAS фирмы Bungard**

**Экспонирование.** Для этого процесса предлагаются небольшие лабораторные установки с набором ламп мощностью по 20 Вт: шесть вверху и шесть внизу с общей мощностью светового потока 240 Вт. Экспозицией управляет таймер. Установки фирмы Bungard дополнительно оснащены счетчиком интенсивности светового потока (рис.6).

**Проявление.** Для проявления фоторезиста предлагаются различные технические решения, которые заказчик выбирает для своего производства в зависимости от необходимой производительности. Предлагаются установки с вертикальным расположением одиночной заго-



**Рис.7. Установка струйной обработки типа DL-500 фирмы Bungard**

товки, которая обрабатывается с двух сторон раствором, подающимся насосом через распылительные форсунки. Это установки типа Splash или Jet 34. Для большей производительности предлагаются конвейерные установки типа DL-500 фирмы Bungard (рис.7) или CP 500 фирмы Mega



**Рис.8. Стол трафаретной печати Screen Printing Units фирмы Mega Electronics**

(рис.8) с последующей сушкой, экспонированием, проявлением и отверждением в термошкафах. Для проявления защитной маски желательно использовать отдельную от проявления фоторезиста установку, так как смешивание растворов для проявления маски и фоторезиста не рекомендуется.

**Финишные покрытия.**

Последний этап перед механической обработкой контура заготовки – нанесение паяемого покрытия. Применение технологии горячего лужения очень дорого для прототипного производства. Поэтому рекомендуется процесс нанесения иммерсионного олова с барьерным подслоем на компактной установке типа Compacta.

**Контроль качества.** Визуальный контроль по признакам внешнего вида производится на всех операциях технологического процесса с помощью обычных стереомикроскопов. Это наиболее информативный вид контроля, позволяющий управлять качеством процессов. Электрическое тестирование ПП – процесс дорогой, не доступный по цене прототипному производству. Поэтому выявление ошибок и дефектов в межсоединениях возлагается на функциональный контроль электронного модуля. Наладочный ремонт и устранение дефектов производятся с помощью набора соответствующих средств пайки, монтажа и демонтажа.

**Многослойные печатные платы.** Потребность в изготовлении МПП также часто возникает у разработчиков. Прототипный комплект оборудования предоставляет и эту возможность.

Фирма Bungard предлагает пресс для прессования заготовок 200x300 мм. Для плат более крупных габаритов может быть

предложен лабораторный пресс фирмы HML типа MP-20V или MP-50V. Эти прессы оснащаются либо вакуумной камерой, либо вакуумной рамкой на каждый этаж прессы. Нагрев прессов – электрический, охлаждение у прессы фирмы Bungard – естественное (конвекционное), у HML – водяное.

Для совмещения двухсторонних структур в прототипном производстве применяется система, при

Electronics. Длина камеры в этих модулях около 500 мм, форсунки расположены стационарно, что обеспечивает для прототипного производства достаточную производительность, но по критериям серийного производства недостаточную. Установки оснащены камерами промывки свежей водой. При тентинг-методе такие же установки рекомендуется применять для травления в кислых растворах: хлорной меди или хлорного железа. При изготовлении плат комбинированным позитивным методом с металлорезистом на основе олова эти установки использовать для травления медно-аммиачным раствором невозможно, так как они не оснащены камерой промывки аммиачной водой и не имеют необходимой герметичности. Поэтому для этих целей рекомендуется приобретать соответствующие линии травления, используемые для серийного производства.

**Стрипп-процессы.** Для снятия фоторезиста после травления и снятия металлорезиста рекомендуется применять лабораторные наборы ванн типа PCB 520 (720), оборудованных нагревательным устройством и промывными ваннами, с выполнением операций вручную.

**Защитные покрытия.** Во всех современных разработках обычно применяют платы с использованием защитной (паяльной) маски. В прототипном производстве для этих целей рекомендуется жидкая маска, наносимая трафаретной печатью

**Комплекты оборудования для заготовок 200x300 мм. Типовой проект с использованием тентинг-метода**

Технологическая операция (ДПП)	1	2	3
Формирование заготовок	Гильотинные ножницы	Гильотинные ножницы	Гильотинные ножницы
Сверление отверстий	Обрабатывающий центр CCD\2	Обрабатывающий центр CCD\2	Обрабатывающий центр CCD\МТС CCD/АТС
Подготовка поверхности	Вручную	RBM-300	Зачистная установка RBM 402
Прямая и гальваническая металлизация	Установка Compacta L 30	Установка Compacta L 30	Установка Compacta L 40
Нанесение фоторезиста	Ламинатор RLM-419	Ламинатор RLM-419	Ламинатор RLM-419
Экспонирование	Hellas	EXP600	EXP2000
Проявление рисунка схемы	Установка PCB 520	Установка Splash (Bungard)	Конвейерная установка DL-500
Травление	См.: проявление рисунка схемы		
Удаление СПФ, подготовка поверхности	Установка PCB 520	Установка типа PCB 520	Установка типа PCB 520
Нанесение защитной маски	Стол трафаретной печати	Стол трафаретной печати	Стол трафаретной печати
Сушка защитной маски	Термошкаф	Термошкаф	Термошкаф
Экспонирование	См.: экспонирование		
Проявление защитной маски	См.: проявление рисунка схемы		
Нанесение иммерсионного олова	Установка Protec 30	Установка Protec 30	Установка Protec 40
Обработка контура и формирование неметаллизированных отверстий	См.: сверление отверстий		
Окончательная отмывка	Ультразвуковая ванна	Ультразвуковая ванна	Ультразвуковая ванна

.....

которой экспонирование слоев производится на базовых штифтах либо фотошаблоны слоев совмещаются заранее и скрепляются между собой. Для многослойных структур фирма PrintProcess выпускает небольшие установки для сборки пакетов по Mass-Lam технологии с применением специального клея для скрепления слоев. Дальнейшее прессование проводится в пресс-формах без штифтов, что намного облегчает процесс и предотвращает сдвиг слоев относительно друг друга. Затем на спрессованной МПП производится выборка фольги с вскрытием реперных знаков.

Формирование базовых отверстий можно производить на станке с ЧПУ, оснащенный видеокамерой.

Как правило, при применении рассмотренного выше комплекта число слоев плат не может превышать 4–6, а класс производимых плат – не выше четвертого (отношение проводник/зазор равно 0,15/0,15 мм, припуск на контактную площадку – 0,4 мм на диаметр отверстия).

В таблице приведены комплекты оборудования для типового проекта, предлагаемые для изготовления плат в прототипном производстве.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. **Медведев А.** "Сухой" метод изготовления печатных плат. – Компоненты и технологии, 2001, №7.
2. [www.bungard.ru](http://www.bungard.ru)