

Продолжение. Начало в № 6.

Совмещение в технологии печатных плат

Владимир Сергеев,
к. т. н.
Александр Ливерко

svp@msk.org.ru

Анализ погрешностей

Провести полный строгий анализ погрешностей довольно сложно. С уменьшением размера мишени количество погрешностей, которые необходимо учитывать, возрастает, то что вчера было пренебрежимо мало и как бы не существовало, сегодня может быть источником неприятностей. К счастью, в полном анализе погрешностей нет прямой производственной необходимости. Представляется целесообразным анализировать конечную погрешность с тем, чтобы выделить из нее систематическую составляющую и в дальнейшем компенсировать ее программными методами. При таком подходе к технологическому процессу предъявляются требования не столько по минимизации погрешностей, сколько по их стабилизации. Это упрощает технологический процесс, так как можно использовать простую схему совмещения, снижает требования по условиям его проведения: не нужно особенно заботиться об абсолютных значениях климатических параметров в помещениях и термостабильности материалов. Съем информации с готовой печатной платы целесообразно производить с тест-купонов, расположенных на технологическом поле платы.

На рис. 3 условно изображена заготовка печатной платы. По периметру заготовки в характерных точках расположено 8 отверстий, а на фотошаблоне, соответственно им, 8 контактных площадок. Эти восемь элементов являются «свидетелями» технологического процесса в крайних его проявлениях, так как некоторые из этих элементов расположены на минимально возможном расстоянии от репера,

другие — на максимально возможном. Поэтому по ним можно с высокой вероятностью оценивать погрешность расположения отверстий на плате. Расположение отверстий относительно контактной площадки было получено в результате моделирования случайной величины, подчиненной закону распределения, близкому к треугольному. Кроме того, в распределение «запихи» смещение фотошаблона относительно заготовки на 10 мкм по оси X и минус 10 мкм по оси Y как единого целого и смещения, вызываемые температурными перемещениями элементов фотошаблона и заготовки. Естественно предположить, что смещения, причиной которых являются температурные деформации, будут линейно зависеть от расстояния между отверстием и точкой крепления. Нами принято смещение 1,5 мкм на 10 мм, одинаковое по осям. Диаметр отверстия принят равным 0,7 мм, диаметр контактной площадки — 1,0 мм, таким образом, размер мишени в соответствии с формулой (1) равен 100 мкм. Для наглядности изображения печатные элементы (отверстия, контактные площадки) и габаритные размеры заготовки выполнены в разных масштабах. На заготовке расположены три изображения мишеней для разных случаев базирования.

Расположение отверстий относительно контактных площадок по периметру заготовки получено нами для случая базирования фотошаблона на отверстия, расположенные вдоль оси X, эти смещения отражает левая мишень. Средняя мишень соответствует симметричному базированию, то есть базированию на 4 кнопки, в этом случае значения погрешности делятся пополам. Правая мишень соответствует случаю, когда на основании экспериментальных данных производится анализ и корректировка программы сверления. Тогда не имеет значения, как базируется фотошаблон, главное, чтобы его фиксация была надежна, а систематические погрешности будут учтены программой.

В таблице 2 приведены цифровые данные, по которым были построены мишени. По этим данным могут быть рассчитаны числовые характеристики, определяющие случайное число формулы (5–7), и, с учетом которых, можно производить корректировку программы сверления. Мы не приводим эти данные, так как описание алгоритмов корректировки не является задачей авторов этой статьи. Даже беглый взгляд на мишени, да и просто здравый смысл показывают перспективность программной корректировки. Среднее расстояние расположения отверстий от центра на левой мишени рав-

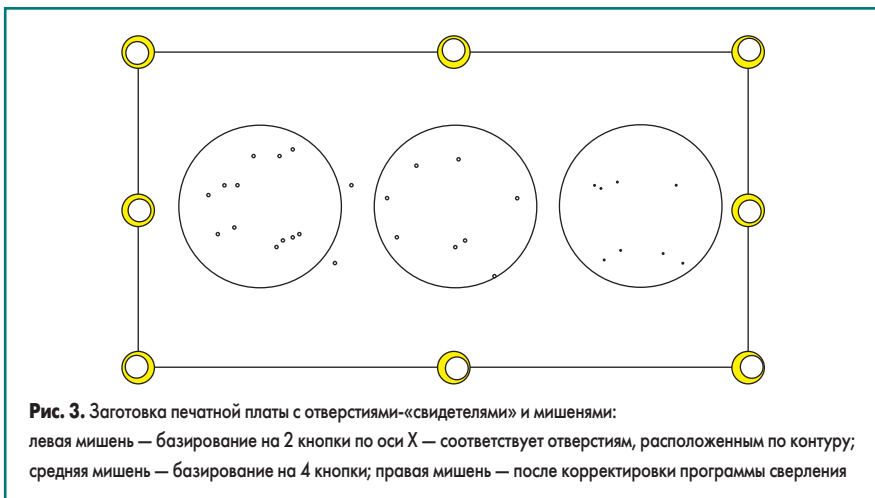


Рис. 3. Заготовка печатной платы с отверстиями-«свидетелями» и мишенями:
левая мишень — базирование на 2 кнопки по оси X — соответствует отверстиям, расположенным по контуру;
средняя мишень — базирование на 4 кнопки; правая мишень — после корректировки программы сверления

Таблица 2. Данные для построения мишеней
(нумерация отверстий по часовой стрелке, первое отверстие — нижний левый угол)

Номер отверстия	Без коррекции		Симметричное смещение		Программное смещение	
	X, мкм	Y, мкм	X, мкм	Y, мкм	X, мкм	Y, мкм
1	-65,8	24,8	-90,8	9,8	-55,8	34,8
2	18,2	-39,2	-6,8	-49,2	28,2	-49,2
3	-53,2	-24	-78,2	-39	-43,2	-54
4	-26,2	63,6	-46,2	48,6	-46,2	33,6
5	21,2	72	-3,8	57	-28,8	42
6	27,8	-33,8	2,8	-43,8	-22,2	-43,8
7	92,6	26	67,6	11	42,6	36
8	71,6	-71,2	51,6	-86,2	51,6	-61,2

но 73,1 мкм, максимальное расстояние — 110,01 мкм, здесь даже два отверстия лежат за пределами мишени; на средней мишени соответственно 69,77 мкм и 100,46 мкм и на правой — 60,57 мкм и 80,05 мкм.

О многослойных печатных платах

Технологические проблемы изготовления многослойных плат (по сравнению с двухсторонними) связаны, в основном, с проблемами совмещения. Если при сверлении заготовки для двухсторонней платы мы задумываемся только о точности привязки базового отверстия к нулю станка, то в случае многослойной платы приходится думать о привязке звездного поля контактных площадок внутренних слоев к математическому звездному полю. При травлении внутренних слоев происходит изменение их размеров (усадка), вследствие релаксации внутренних напряжений, высвобождающихся по мере удаления медных участков. Усадка потенциальных слоев будет меньше, чем у сигнальных, поскольку у них меньше доля стравливаемой поверхности. Поэтому при сборке пресс-пакета возникает проблема, как распорядиться разницей в размерах слоев. Максимум, чего здесь можно добиться, — это уменьшить значение погрешности в 2 раза. Тогда отверстия для совмещения пробивают после травления, ориентируясь на реперные знаки и минимизируя при этом погрешность относительно номинала. Для этого требуется довольно сложная установка, у которой, однако, будет своя погрешность, эту установку надо будет периодически проверять, ее использование в той или иной мере будет накладывать ограничения на номенклатуру типоразмеров плат. Поэтому с этой погрешностью часто поступают по принципу «там растянется, здесь умнется»: просто нанизывают слои на штифты пресс-формы. Такой подход возможен, если в потенциальных слоях зоны высвобождения под сверло выполняются достаточно больших размеров. По опыту знаем, что размер мишени должен быть не менее 0,5 мм, тогда обеспечивается приемлемый выход годных и над технологом не висит «дамоклов меч» короткого замыкания потенциальных слоев. Такой размер мишени обеспечивает при сверле 1 мм вытравку в слое 2 мм, обычно этого можно достичь проведением сетки проводников шириной 0,5 мм и с шагом 2,5 мм.

При прессовании принимаются меры, чтобы уменьшить перемещение слоев под воздействием касательных напряжений, возник-

ающих при размягчении и вытекании смолы. Для этого осуществляют штифтование по периметру заготовки, а в последнее время находит применение более технологичный и эффективный способ бондирования. Даже при идеальном бондировании в спрессованной заготовке многослойной платы размеры внутренних слоев будут отличаться от исходных. Величина этого отклонения, так же как и в предыдущем случае, будет иметь зависимость от размера, близкую к линейной. Поэтому среднее значение этих отклонений (математическое ожидание) может быть скомпенсировано программой сверления. В результате мы добиваемся оптимального совмещения отверстий с внутренними слоями: значение погрешности в разнице размеров потенциальных и сигнальных слоев делится пополам (в принципе можно использовать и другое соотношение), компенсируется «уход» заготовки от математических размеров. При получении рисунка схемы наружных слоев можно использовать фотошаблоны, при изготовлении которых учитывались бы эти смещения.

Перед прессованием мы перфорируем наружные слои в местах, где на внутреннем слое располагаются технологические мишени. После прессования, просверлив технологические мишени, мы можем судить о величине смещения из-за необратимых напряжений, образующихся в процессе прессования. Величину смещения можно ввести в программу сверления отверстий на плате, этим обеспечивается точное расположение переходных отверстий относительно контактных площадок внутренних слоев.

Компенсировать можно только систематическую часть случайной величины, для нас это средние погрешности, поэтому очень важно поддерживать стабильность процесса. Качество — это, в первую очередь, стабильность. Для снижения случайной погрешности важно производить сборку фотошаблонов с заготовкой и сборку слоев в пресс-пакет без излишних деформаций и не допускать в то же время зазоров, поддерживать стабильную температуру технологического процесса.

Об измерениях

Измерение — не технологическая операция, оно не воздействует на физическую сущность детали. Необходимость проведения замеров возникает, когда технологический процесс в широком понимании (конструктивно-технологические решения, стабильность материалов, технические характеристики оборудова-

ния и т. п.) не обеспечивает необходимые требования конструкции. К сожалению, процесс совмещения соответствует этим требованиям, поэтому технолог-печатнику нужно смириться с тем, что прошло то время, когда при изготовлении плат можно было обойтись даже без измерительной лупы. Если возникают проблемы по совмещению, то без измерений не обойтись, а при корректировке программ сверления измерение становится как бы технологической операцией и должно производиться с некоторой периодичностью.

В прошлом в лабораториях и цехах по производству печатных плат имелось значительное количество оборудования для измерения линейных размеров. В лучшем случае эти измерительные микроскопы использовались для измерения ширины проводников на фотошаблоне и готовой печатной плате, так как более сложные измерения на них было производить сложно и трудоемко, да и не было в том особой надобности. В последнее время на рынке появилось автоматизированное измерительное оборудование, однако, для прототипных и им подобных производств его применение — это стрельба из пушки не то что по воробьям, а по мухам. Дело в том, что нам при измерении необходимо небольшое измерительное поле, так как нас интересует расстояние между центром контактной площадки и центром отверстия и номер отверстия. Этот номер однозначно определяет координаты расположения отверстия относительно базового штифта.

Имеющееся на производстве морально устаревшее измерительное оборудование, если в его состав входят координатный стол и оптическая система, можно доработать путем установки датчиков линейного перемещения и подключения их к компьютеру. Модернизированное таким образом оборудование позволяет проводить измерения в полуавтоматическом режиме, при этом можно осуществлять статистическую обработку результатов измерений, их документирование, получать на этой основе данные для корректировки программ сверления.

Наш опыт

«Измеряй микрометром, отмечай мелом, отрубай топором».

Правило точности Релея

При изготовлении плат даже с размером мишени 0,25 мм (третий-четвертый класс) у нас периодически были проблемы по совмещению. Приходилось совмещать фотошаблоны вручную, расчищать контактные площадки, убеждать заказчика, что это не повлияет на надежность. Существенное обострение ситуации произошло в период срыва финансирования, когда мы вынуждены были изготавливать платы для случайных заказчиков. При сдаче платы заказчик часто выражал неудовольствие, мол, «дырочки плохо попадают в пяточки». И хотя платы, как правило, не требовали жестких норм проектирования, доказывать, что плату можно было бы спроектировать с большими «пяточками», просто было некому и ни к чему.

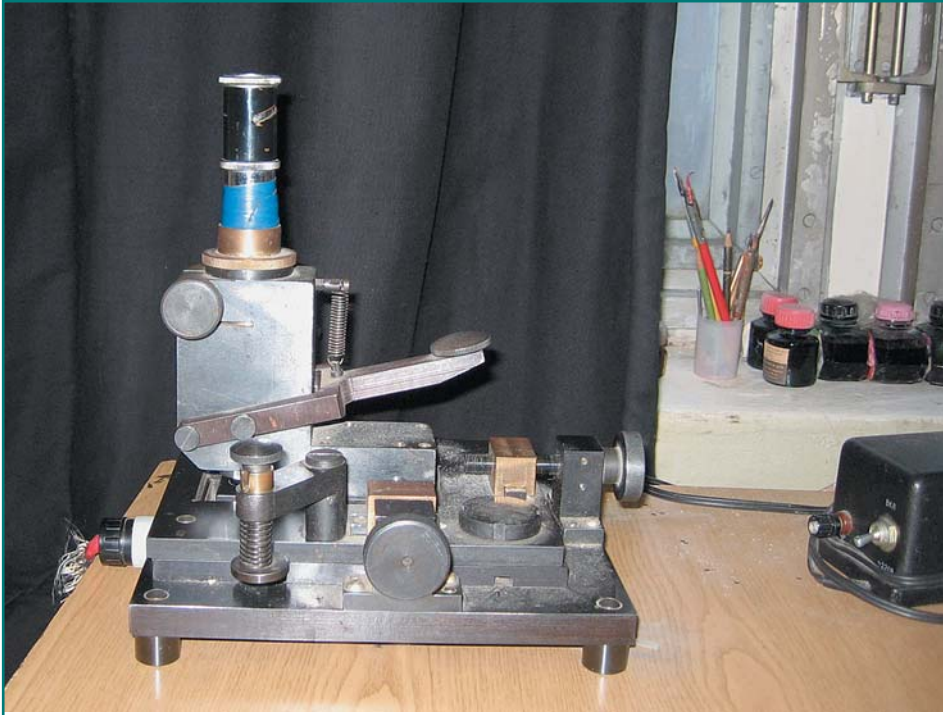


Рис. 4. Приспособление для пробивки реперных знаков

Поэтому часто стали возникать выходы сверла за пределы контактной площадки. Провести серьезный анализ не удалось, так как измерительная лаборатория не могла дать достоверных данных по привязке пробитых отверстий к рисунку (у нас использовалась L-схема совмещения). «Разборка полетов» обычно заканчивалась констатацией того, что необходимо отъюстировать устройство для пробивки фотошаблонов, что «виноват» станок, который не отработал ноль, что шпиндель станка не отъюстирован относительно неподвижного штифта и т. п. И никогда не было виновного субъекта. В конце концов, было принято решение разработать методику совмещения, «прозрачную» на всех операциях и обеспечивающую точность, позволяющую при сдаче платы заявить заказчику: «Что заложили, то и получили».

Сущность методики состоит в следующем:

- Фиксирующие отверстия в фотошаблоне пробиваются отдельно непосредственно в «теле» реперного знака.
- Для пробивки используется приспособление собственной разработки (рис. 4), не требующее юстировки, так как прицеливание на реперный знак производится через отверстие в пуансоне.
- На каждом фотошаблоне имеется три реперных знака: два располагаются вдоль оси и подвергаются пробивке, а третий используется как ключ при совмещении фотошаблонов. По периметру фотошаблона расположено 8 контактных площадок для съема с готовой платы информации о смещениях (рис. 3).
- Совмещение фотошаблонов с заготовкой производится на двух кнопках. При этом одна кнопка должна обеспечить жесткую, без люфтов, фиксацию фотошаблонов относительно заготовки (неподвижная кнопка), вторая (плавающая кнопка) — исключить поворот фотошаблона, компенсируя

разницу в межреперном расстоянии фотошаблонов и заготовки.

- Экспонирование производится без кнопок, фотошаблоны относительно заготовки фиксируются липкой лентой.
- Программа сверления корректируется по исходным полученным результатам замеров готовых плат. При этом программа должна обрабатывать исходные данные применительно к любому размеру заготовки.

Ключевые моменты методики

Пробивка реперных отверстий на фотошаблоне — это единственная операция, в которой точность напрямую зависит от оператора. Поэтому необходимо упростить оператору работу, чтобы до минимума снизить разброс в точности пробивки. С этой целью мы разработали устройство для пробивки реперных знаков. Его особенностью является то, что в нем нет мишени, с которой совмещают фотошаблон перед пробивкой, а роль мишени выполняет отверстие в пуансоне. Оператор, перемещая фотошаблон посредством микрометрических винтов и наблюдая в монокулярный микроскоп, «вписывает» реперный знак в центр круга в пуансоне и затем производит пробивку реперного отверстия. В качестве реперного знака используется контактная площадка несколько меньшего диаметра, чем отверстие в пуансоне. Реперный знак расположен внутри квадрата, поэтому точность пробивки на готовом фотошаблоне легко проконтролировать, измеряя с помощью любого оптического измерительного инструмента расстояния от края отверстия до стороны квадрата.

Как уже говорилось, кнопки применяются только для того, чтобы совместить и удержать в процессе склеивания фотошаблоны с заготовкой. Кнопка — ответственная деталь, она должна соединить по отверстиям три детали: два фотошаблона и заготовку. Диаметр

кнопки необходимо выбрать таким образом, чтобы обеспечивалась жесткая посадка фотошаблонов и заготовки, при этом деформация фотошаблонов должна быть обратимой. В соответствии с этими требованиями были изготовлены и переданы на участок экспонирования две кнопки, все старые были изъяты. Новые кнопки внешне заметно отличаются от старых: они тяжелые, имеют значительные габариты (15×30 мм) и больше похожи на подставки. Оператор последовательно нанизывает на кнопки фотошаблон, затем заготовку и второй фотошаблон, фиксирует их липкой лентой и потом извлекает кнопки путем их выдавливания. Фиксация лентой фотошаблона с заготовкой происходит в окна, которые предварительно пробиваются в его технологической части.

Переход на новую систему произошел удивительно быстро, так как операторам на экспонировании с новыми кнопками стало более удобно работать, и эффект по совмещению проявился незамедлительно. Проблема совмещения потеряла свою остроту, ее зашли другие проблемы, и до корректировки программ сверления, как часто бывает на производстве, «руки не дошли». Производство печатных плат в ОАО «НПК НИИДАР» закрылось и, поэтому мы не можем сказать, какую величину смещения обеспечили данные мероприятия.

Проблемы и перспективы

«Нельзя заранее правильно определить, какую сторону бутерброда мазать маслом»

Закон своенравия природы

Данная статья не является справочным пособием: расчеты приводятся как примеры подхода к определению погрешностей, математические формулы используются, в основном, как язык техники, а цифровые данные авторы привели на основе своего опыта, поэтому их нужно воспринимать с осторожностью. По нашему мнению, вообще не нужно из литературных источников необходимо подходить с большой осторожностью, так как конкретные производственные погрешности могут значительно отличаться, что может привести к ошибочным выводам.

Поэтому при анализе точности следует ориентироваться на собственные результаты.

Если имеются проблемы с совмещением, в первую очередь, необходимо на готовых платах определить «степень бедствия» — отклонение центра отверстия от центра контактной площадки. Это отклонение должно быть представлено как случайная величина (4–6), по нему во многом можно определить характер дальнейших работ. Обычно это работы по устранению зазоров (люфтов) по ходу технологического процесса и уже затем мероприятия по корректировке программ сверления. Выполнение этих работ гарантирует экономическую эффективность, так как затраты чрезвычайно малы, трудоемкость технологического процесса, по крайней мере, не увеличивается, возрастает выход годных и появля-

ется возможность изготовления плат более высокого класса.

Внедрение нового всегда предполагает какие-то дополнительные усилия со стороны сотрудников. При этом могут быть затронуты их действительные или мнимые интересы. На первом этапе под воздействием «здорового консерватизма» происходит отторжение новых решений. Все это довольно точно определяет само слово «внедрение». Через некоторое время работники начинают воспринимать новшества как свои и, зачастую, даже развивают их.

При внедрении мероприятий по совмещению могут возникнуть две проблемы:

- недостаточная мотивация руководством своих сотрудников на результаты и проблемы при внедрении;
- несовершенство или отсутствие измерительного оборудования, низкая культура измерений.

По первой проблеме особенно писать нечего; несколько слов по второй, в дополнение к сказанному в разделе «Философия проблемы». Чем меньше размер мишени, тем меньшие величины необходимо учитывать, тем с большей точностью необходимо производить измерения и тем более актуальна задача измерений. Бытует мнение: «Не измеряем потому, что нет необходимости». А может, не измеряем потому, что не можем? Наш совет: вы-

ясните, можно ли измерить на вашем производстве погрешность расположения отверстия относительно реперов, и определите, сколько времени у вас займет измерение величины смещения центра отверстия относительно центра контактной площадки.

Литература

1. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969.
2. Геннат Б. Технология и оборудование бесштифтового совмещения и бондирования (mass-lam). DIS Tech (США), 2005.
3. Медведев А. Печатные платы. Конструкции и материалы. М.: Техносфера, 2005.
4. Закон Мерфи. Минск: Попурри, 2000.
5. Одинодворцев М. Современное сверлильно-фрезерное оборудование и роль технолога в получении качественного конечного результата в операции сверления // Технологии в электронной промышленности. 2005. № 1.
6. Семенов П. Снайпер или автомат? // Материалы международной конференции по печатным платам. 2006.
7. Семенов П. Системы совмещения. Часть II. «Тень на плетень», или О том, как нас ведут в 5-й класс // Технологии в электронной промышленности. 2005. № 6.
8. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. М.: Мир, 1972.