

# Металлографический анализ многослойных печатных плат

**Наиболее достоверно контроль металлизации отверстий и внутренних соединений МПП выполняется с помощью микрошлифов. По микрошлифам можно выявить нарушение формы элементов соединений, дефекты срачивания металлизации с контактной площадкой внутреннего слоя, глубину подтравливания диэлектрика в МПП, качество механической обработки отверстий, толщины межслойной изоляции и другие важные элементы внутренней структуры печатных плат.**

**Иван Анчевский**

ivan.anchevsky@struers.ru

**Аркадий Медведев,  
д. т. н., профессор МАИ**

medvedev@elserv.ru

Изготовление микрошлифов связано с разрушением образцов, что исключает применение этого метода для контроля металлизации отверстий на рабочем поле платы, а результаты измерений толщины меди по микрошлифам отверстий, расположенных на технологических слоях, могут дать ошибочные результаты — при недостаточной рассеивающей способности электролитов, вследствие краевого эффекта толщина металлизации на краях платы может оказаться неопределенно больше, чем на рабочем поле платы. Однако при отработке методов контроля выбор критериев годности по толщине и качеству металлизации отверстий может быть осуществлен только по сечению микрошлифов.

На первых этапах отработки новых технологических процессов металлографический контроль печатных плат по микрошлифам тест-элементов (купонов) технологического поля является обязательным для каждой платы. По мере отработки процесса контроль по микрошлифам становится выборочным и служит лишь для проверки стабильности технологического процесса.

Для извлечения тестовых купонов из платы применяется специальное оборудование, оснащенное

видеосистемой для высокоточного выпиливания образца и высверливания направляющих отверстий (рис. 1).

Возможна одновременная подготовка к исследованиям до 6 тестовых купонов в одной заливке. Для этого на стадии извлечения купона из печатной платы делаются направляющие отверстия в строго определенном месте на каждом купоне. Затем на специальном приспособлении (рис. 2) купоны нанизываются на стальные направляющие. На этом же устройстве производится последующее извлечение заливок с образцами из форм.

Для получения плоской поверхности среза образцы устанавливаются в фторопластовую или металлическую форму и заливаются компаундом, например эпоксидным компаундом холодного отверждения Д-9 или Д-9а либо акрилатными составами (такими, как бутакрил технический или смола типа ViaFix с коротким временем затвердевания). В некоторых случаях может успешно применяться запрессовка образца пластмассами и смолами горячего отверждения. Заливочный состав должен иметь хорошую адгезию с поверхностью образца.

Затем после застывания компаунда (около 30 мин) заливка извлекается из формы с помощью



**Рис. 1.** Извлечение тестовых купонов.  
ViaSampler (Struers)



**Рис. 2.** Установка направляющих в купоны.  
Vialnserter (Struers)



**Рис. 3.** Извлечение заливки с образцами из форм.  
Vialnserter (Struers)



Рис. 4. Держатель образца для ручной подготовки. Accustop (Struers)



Рис. 5. Держатель образца для автоматической подготовки. ViaHolder (Struers)

специального устройства (рис. 3). Один из ключевых моментов подготовки — это удаление заданного количества материала с поверхности заливки при механической подготовке. В случае ручной шлифовки используется держатель образца с микрометром и керамическим стопором (рис. 4). В случае шлифовки с применением автоматического оборудования используется держатель на 6 образцов. Такой держатель позволяет одновременно готовить до 36 тестовых купонов и имеет алмазный стопор (рис. 5).

При механической обработке шлифа должны быть предусмотрены меры, исключающие нагрев образца. Для этого при обработке на шлифовальной бумаге необходимо обеспечить подачу воды на диск, при полировании использовать специальные охлаждающие жидкости, лубриканты или алмазные суспензии, содержащие лубрикант. Срез следует отшлифовать и отполировать известными способами, применяя все более и более тонкие абразивы. Шлифование производят на шлифовальной бумаге, закрепленной на вращающемся круге, от грубой до тонкой зернистости абразива. При переходе на более мелкозернистый абразив необходимо соблюдать особую осторожность и чистоту, чтобы не перенести частицы крупного абразива на операцию более тонкой обработки. Во избежание

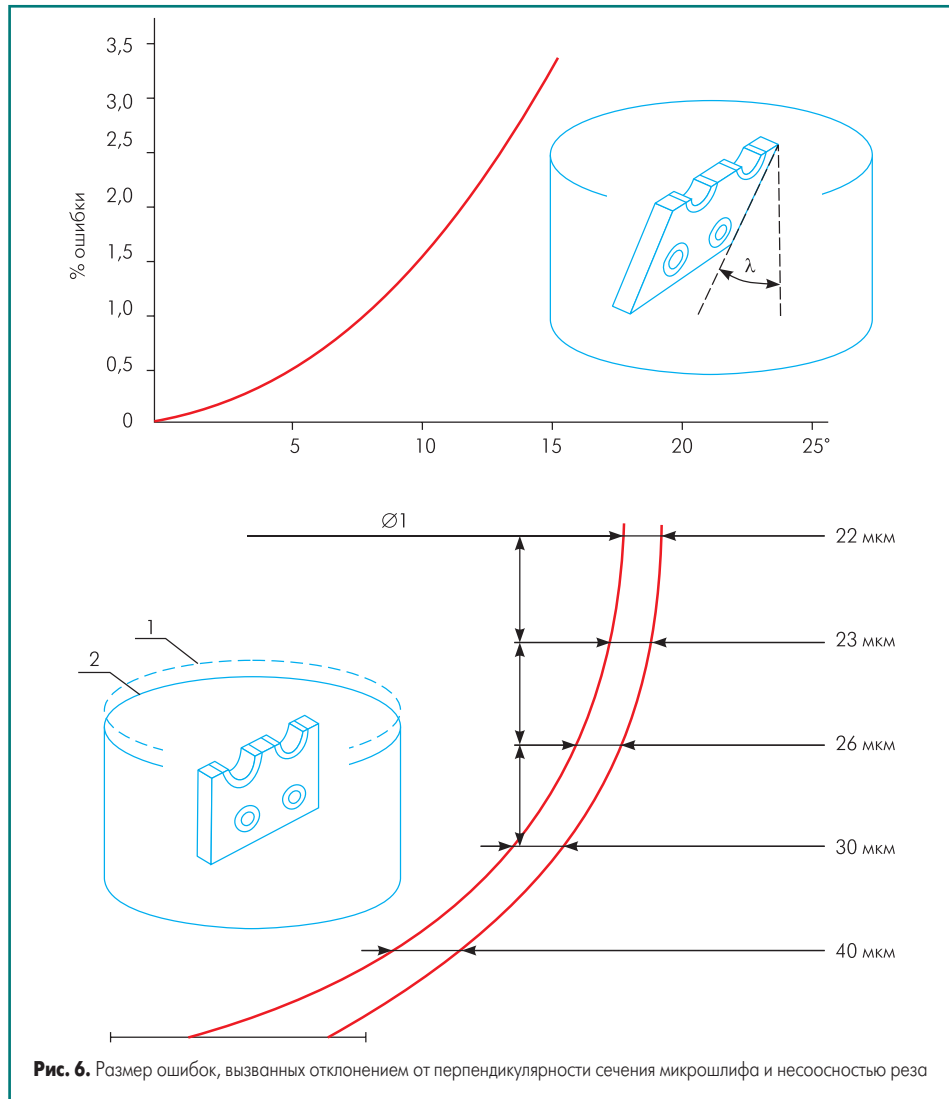


Рис. 6. Размер ошибок, вызванных отклонением от перпендикулярности сечения микрошлифа и несоосностью реза

смазывания металлов следует обработку шлифа вести под углом 45° к образцу, а не вдоль или поперек образца. Переходить к следующей стадии шлифовки можно только тогда, когда повреждения от предыдущего шага окончательно удалены. Окончательная полировка микрошлифа производится на миллиардном сукне или авиационном войлоке (кордном фетре), либо на специализированном металлографическом сукне различной эластичности. Частота вращения диска 50–500 об/мин при ручной подготовке и 150 или 300 об/мин, при автоматической.

При шлифовании среза необходимо выдерживать перпендикулярность плоскости образца к плоскости шлифования, а срез выполнять точно по оси отверстия (рис. 6), иначе неизбежно возникают ошибки в оценке толщины металлизации.

Полирование нужно производить алмазными суспензиями (предпочтительно) или на пастах ГОИ, состав которых приведен в таблице 1.

Продолжительность обработки микрошлифа на пастах ГОИ не должна превышать: на грубой — 3–5 мин, на средней — 2–3 мин, на тонкой — 1–2 мин. Большая продолжительность полировки приводит к заваливанию краев покрытий разной твердости и вследствие этого — к потере четкости границ раздела при наблюдении под микроскопом.

Таблица 1. Состав паст ГОИ

Компоненты пасты	Содержание, %		
	Грубая паста	Средняя паста	Тонкая паста
Оксид хрома	81	76	74
Силикагель	2	2	1,8
Стеарин	10	10	10
Расщепленный жир	5	10	10
Олеиновая кислота	–	–	2
Сода двууглекислая	–	–	0,2
Керосин	2	2	2

При большой нагрузке контрольной лаборатории рекомендуется использовать автоматическое оборудование для шлифования и полирования (рис. 7). Возможность контроля таких параметров, как скорость вращения диска, нагрузка на образцы, время каждого шага подготовки и уровень дозирования полировальных суспензий, позволяет достигать высокой воспроизводимости результатов.

В таблицах 2–3 приводится методика подготовки образцов на автоматическом оборудовании с использованием алмазных полировальных продуктов.

Для выявления кристаллической структуры покрытия и получения контраста между покрытиями применяется химическое травление микрошлифа. В таблицах 4–5 приводятся два состава травящих растворов, применяемых в технологии печатного монтажа.



Рис. 7. Автоматический шлифовально-полировальный станок. TegraSystem (Struers)



Рис. 8. Металлографический микроскоп с камерой и ПК. GX-71 (Olympus)

Перед травлением микрошлифы необходимо промывать в спирто-бензиновой смеси для удаления остатков жиров от операции полирования пастой ГОИ, затем обмывать водой и высушивать спиртом.

Толщину и качество покрытий контролируют с помощью обычных или металлографических микроскопов при увеличении 50–200 крат (рис. 8). При тщательном изготовлении микрошлифа можно достичь точности измерения толщины покрытия ±0,7 мкм.

Таблица 4. Раствор № 1

Бихромат калия, г	2
Вода, мл	100
Хлористый натрий, насыщенный раствор водный, мл	4
Серная кислота, мл	8

Таблица 5. Раствор № 2

3-процентный водный раствор перекиси водорода, мл	50
25-процентный водный раствор аммиака, мл	50

Требования, предъявляемые к качеству металлизации и обработки отверстий печатных плат, состоят в следующем:

- толщина медного гальванопокрытия в отверстиях должна быть не менее 25 мкм;
- глубина подтравливания диэлектрика должна находиться в пределах 10–30 мкм;
- медное гальванопокрытие не должно иметь грубой границы с торцами контактных площадок на внутренних слоях;
- поверхность меди в отверстиях должна иметь защитное покрытие заданной толщины;
- не допускаются металлические вкрапления в объеме диэлектрика и инородные включения в металлических покрытиях;
- металлизация отверстий должна быть сплошной, плотной, мелкозернистой с минимальными межкристаллитными прослойками.

На рис. 9 показан пример микрошлифа, выполненного с использованием специального пробоподготовительного комплекса.

Таблица 2. Шлифование

Шаг	Выравнивание	Тонкое шлифование 1	Тонкое шлифование 2
Поверхность	SiC-Paper #180	SiC-Paper #1200	MD-Largo
Тип абразива	SiC	SiC	9 мкм
Тип лубриканта	Вода	Вода	DP-Blue
Скорость [об/мин]	300	300	150
Нагрузка [Н]	240	180	180
Направление вращения держателя с образцами	>>	>>	>>
Время [мин]	2	2	5

Таблица 3. Полирование

Шаг	Алмазное полирование 1	Оксидное полирование
Поверхность	MD-Dac	MD-Nap
Тип абразива	3 мкм	1 мкм
Тип лубриканта	DP-Red	OP-S, 0,04 μm
Скорость [об/мин]	150	150
Нагрузка [Н]	150	90
Направление вращения держателя с образцами	>>	<<
Время [мин]	6	1

Примечание. Последний шаг оксидного полирования не обязателен. При необходимости использовать раствор 96 мл OP-S (окись кремния) + 2 мл H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (перекись водорода 33%) + NH<sub>3</sub> (аммоний 25%) при полировке меди.

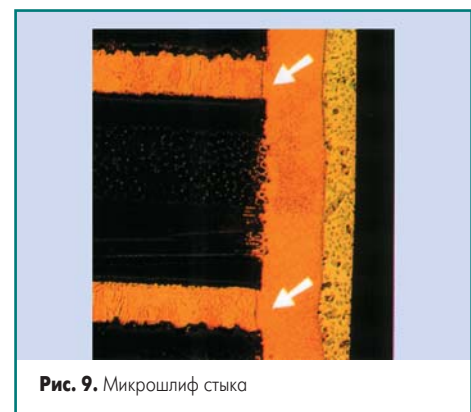


Рис. 9. Микрошлиф стыка