



## КАК ОТМЫВКА МОЖЕТ ВЛИЯТЬ НА НАДЕЖНОСТЬ И СЕБЕСТОИМОСТЬ ВЛАГОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ

Александр Савельев  
materials@ostec-group.ru

Для обеспечения максимальной надёжности электронных устройств рекомендуется отмывать печатные узлы (ПУ) после пайки и покрывать их влагозащитным покрытием (более подробно в статье «О влагозащите начистоту!», бюллетень «Поверхностный монтаж», №5(69), 2008). В ряде случаев производители отказываются от предварительного процесса отмывки ПУ перед нанесением влагозащитного покрытия, опасаясь повышения себестоимости производства.

Компании Zestron и Nordson Asymtek провели совместное исследование по оценке влияния процесса отмывки на надёжность и себестоимость печатных узлов. Исследования проводились на базе Фраунгоферовского института кремниевых технологий (ISIT). Целью исследования являлся поиск решения, которое позволяет внедрить этап отмывки в технологический процесс производства без увеличения себестоимости изделия.

### ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

В ходе исследования характеристик отмытых и не отмытых плат были проведены работы и эксперименты в следующем порядке:

- подготовка тестовых плат (установка компонентов и оплавление паяльных материалов);
- отмывка половины (от общего количества) печатных узлов;
- измерение количества ионных загрязнений ( $\text{мг}/\text{см}^2$ ), содержащихся на плате, при помощи классического ионографа;
- замер поверхностного натяжения не отверждённого влагозащитного покрытия на поверхности печатных узлов;
- покрытие отмытых ПУ влагозащитным покрытием толщиной 50 мкм и не отмытых – толщиной 100 мкм;
- содержание печатных узлов в течение семи дней в условиях повышенной влажности при температуре 25°C;
- проведение CoRe-теста (Coating Reliability Test) – тест на надёжность покрытия;
- анализ полученных результатов и выводы.

В начале эксперимента на поверхность части тестовых плат была нанесена и оплавлена паяльная паста, установлены керамические конденсаторы. На другие платы была нанесена и оплавлена паяльная паста без установки компонентов (рис. 1) Использовались две различные популярные марки паяльных паст.

После оплавления паяльной пасты половина плат была отмыта жидкостью на водной основе. Отмывка проводилась в оборудовании класса «spray in air» - струи в воздухе, с использованием популяр-

ной жидкости на основе технологии MPC® (microphase cleaning technology).

Затем был проведён контрольный тест отмытых и не отмытых плат в соответствии с инструкцией по тестированию поверхностей GfKORR (Европейская Ассоциация по антикоррозионной защите). Тестирование качества поверхности ПУ проводилось согласно стандарту

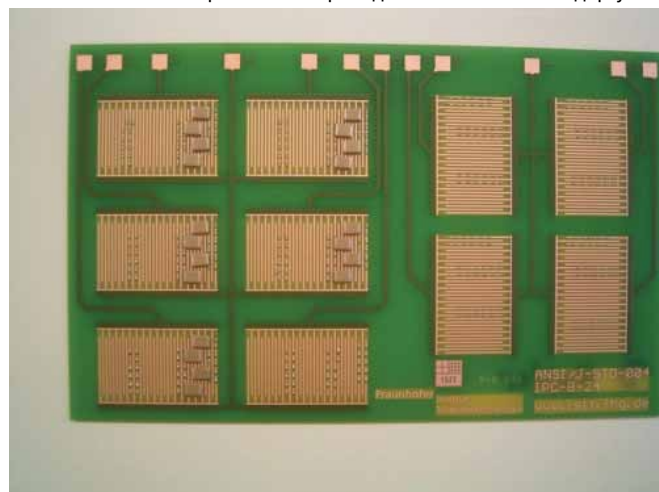


Рис. 1 Печатная плата (тестовая гребёнка) для проведения SIR-теста с частично установленными компонентами

Таблица 1 Контрольный тест состояния качества поверхностей ПУ в соответствии с инструкцией по покрытиям GfKORR

Метод тестирования	Паста А		Паста В		Допустимый уровень согласно рекомендациям GfKORR
	Не отмытая тест-плата	Отмытая тест-плата	Не отмытая тест-плата	Отмытая тест-плата	
Ионные загрязнения*	1,27 мг/см <sup>2</sup>	0,03 мг/см <sup>2</sup>	0,75 мг/см <sup>2</sup>	0,02 мг/см <sup>2</sup>	<0,4 мг/см <sup>2</sup>
Поверхностное натяжение не отверждённого влагозащитного покрытия	32 мН/м	44 мН/м	34 мН/м	46 мН/м	>40 мН/м
ZESTRON® Flux Test	Присутствие активаторов	Отсутствие загрязнений	Присутствие активаторов	Отсутствие загрязнений	Отсутствие активаторов и загрязнений
ZESTRON® Resin Test	Присутствие канифоли (смолы)	Отсутствие загрязнений	Присутствие канифоли (смолы)	Отсутствие загрязнений	Отсутствие канифоли и загрязнений
Суммарный рейтинг	-	++	-	++	

\* Согласно рекомендациям GfKORR допустимый уровень ионных загрязнений составляет 0,4 мг/см<sup>2</sup>

IPC-B-24 (ширина проводника - 0,4 мм, расстояние между проводниками - 0,5 мм, материал проводников - медь). Полученные результаты представлены в таблице 1. Далее печатные узлы были покрыты влагозащитным покрытием на основе растворителей толщиной 50 мкм вместо обычных 100 мкм<sup>1</sup>. Эксперимент призван был показать, можно ли сохранить гарантированную надёжность покрытия без дополнительных расходов, если добавить этап отмывки и снизить толщину влагозащитного материала на 50%. После семи дней хранения в условиях повышенной влажности и при температуре 25°C все покрытые образцы были подвергнуты CoRe тесту.

### АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ПЕЧАТНОГО УЗЛА ПРИ ПОМОЩИ CORE-ТЕСТА

CoRe-тест, разработанный компанией Zestron, основан на погружении тестовой платы в деионизованную воду (рис. 2) и является эффективным, проверенным методом выявления проблемных участков на этапе разработки. CoRe-тест разработан как наилучший сценарий развития событий и позволяет определить локальное распределение источников всех внутренних дефектов за короткий промежуток времени.

Во время теста печатный узел полностью погружен в деионизованную воду, которая имитирует воздействие условий повышенной влажности. Затем на печатный узел подают напряжение смещения. В нашем случае было использовано постоянное напряжение 10 В. В цепь последовательно включён резистор, с которого снимается падение напряжения, и вычисляется протекающий по цепи ток. В течение следующих десяти часов падение напряжения на резисторе непрерывно измеряется и отображается на графике. Этот интервал времени эмпирически имитирует воздействие максимального климатического стресса, который является настоящим испытанием на выносливость для большинства печатных узлов, использующихся в сложных климатических условиях. Применяя данный метод испытаний, достаточно легко определить, является ли влагозащитное покрытие печатного узла надёжным (рис. 3).

В лучшем случае, падение напряжения на резисторе является постоянным и не меняется, когда тестовая плата погружена в воду. При возникновении коротких замыканий, происходящих из-за дефектов покрытия или загрязнений под покрытием, ток резко возрастает. Стремющийся вверх зубчатый профиль графика указывает на рост дендритов, вызванный электрохимической миграцией под покрытием.

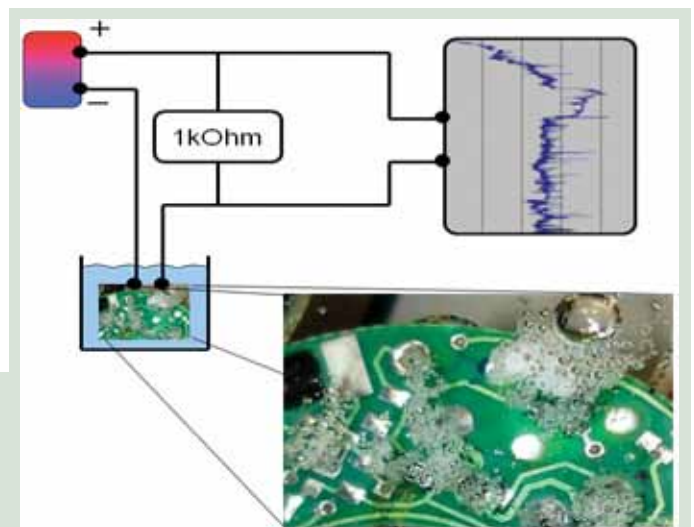


Рис. 2 Схема установки для проведения CoRe-теста

Критерием неисправности был промежуток времени до возникновения короткого замыкания. Для каждой из разновидностей плат (спаяных различными паяльными материалами, с установкой конденсаторов или без таковых) испытания проводились три раза. То есть брали по три тестовые платы каждого типа, фиксировали время выхода из строя, в итоге было вычислено среднее время до отказа.



Рис. 3 Тестовая плата, не прошедшая испытания CoRe-теста

<sup>1</sup> Современные влагозащитные покрытия обеспечивают хорошую степень защиты при гораздо меньшей толщине, например, влагозащитные покрытия HumiSeal допускают нанесение покрытия толщиной всего в 25 мкм, обеспечивая при этом доказанную на практике надёжность (в реальной ситуации чаще всего толщина покрытия составляет до 100 мкм).



Таблица 2 Результаты CoRe-теста

Тестовая плата		Толщина влагозащитного покрытия (мкм)	Время работы до выхода из строя (час)
Паста А	не отмытая	100	1:30
	отмытая	50	Без отказов
Паста В	не отмытая	100	2:45
	отмытая	50	Без отказов

## РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ ВЛАГОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА НАДЁЖНОСТЬ

Анализ измерений показал следующие результаты для отмытых тестовых плат:

- только отмытые тестовые платы имеют уровень ионных загрязнений ниже предельно допустимого уровня в  $0,4 \text{ мг/см}^2$ ;
- для хорошего смачивания поверхности влагозащитным покрытием поверхностное натяжение должно быть более  $40 \text{ мН/м}$ . Как показывают измерения, только подвергавшиеся отмывке тестовые платы могут соответствовать этим требованиям;
- благодаря предварительной отмывке не зафиксирован ни один отказ за весь период испытаний в течение 10 часов на любой конфигурации платы, несмотря на снижение толщины слоя покрытия до 50 мкм (рис. 4). Удалив остатки загрязнений, используя комплексный процесс отмывки, можно повысить качество покрытия и срок службы, а условия эксплуатации готового изделия могут быть расширены;

Анализ измерений для не отмытых тестовых плат показал, что остатки паяльной пасты привели к преждевременному выходу из строя. Это можно было спрогнозировать по результатам контрольного теста поверхности. Серии испытаний доказали, что тип паяльной пасты также влияет на продолжительность работы до отказа (таблица 2). Средняя наработка на отказ без отмывки составляет только 1 час 30 минут при использовании пасты А. При использовании пасты В в идентичных условиях эксперимента средняя наработка на отказ составляет 2 часа 45 минут. Такие результаты говорят о том, что выбор типа и марки пасты очень важен для определения ожидаемого срока службы электронного устройства, особенно при сборке печатных узлов без последующей отмывки.

Эксперимент подтвердил, что конструкция (топология, элементная база и т.д.) печатного узла влияет на механизм выхода из строя. Дефекты не могут быть определены с вероятностью 100% для любых тестовых плат. Основными факторами, которые могут повлиять на результаты испытаний, являются острые края компонентов и токопроводящих частей, а также частичная потеря смачиваемости поверхности за счёт капиллярного эффекта. Эксперименты только

с тестовыми платами без компонентов дают малозначительные результаты. Для того чтобы сделать реалистичные выводы, необходимо использовать опытные образцы с установленными компонентами (их конфигурация должна быть максимально схожа с серийно выпускаемыми образцами).

Анализ результатов качества влагозащитного покрытия говорит о том, что процесс отмывки перед нанесением влагозащитного покрытия позволяет уменьшать толщину защитных покрытий до 50 мкм, гарантируя надёжность покрытия даже в экстремальных условиях тестирования. Однако возникает вопрос: какие затраты вносит дополнительный этап отмывки и как это сказывается на стоимости конечного продукта? Постараемся на него ответить.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС ОТМЫВКИ БЕЗ ЗАТРАТ

Для расчёта модели предположим, что компания А не производит отмывку собранных печатных узлов перед нанесением влагозащитного покрытия стандартной толщиной 100 мкм. Компания В применяет предварительный процесс отмывки. Используется типовая система струйной отмывки (spray in air) со средним расходом промывочной жидкости 0,5 л за цикл. Для обеспечения качества отмывки ежеквартально проводится смена моющего раствора, что составляет примерно 4200 руб в год. Затраты на оборудование, включая амортизацию, обслуживание и энергопотребление, составляют примерно 400000 руб ежегодно. Ежедневное количество производимых печатных плат идентично в обоих случаях. Итоги расчётов приведены в таблице 3.

Расчёт показывает, что можно интегрировать процесс отмывки без увеличения расходов за счёт сокращения толщины используемого влагозащитного материала в два раза. Несмотря на дополнительный процесс отмывки, общие затраты для компании В не увеличиваются. Затраты компании В в среднем сравнимы с общими затратами компании А, которая не использует процесс предварительной отмывки. Кроме того, компания В получает повышенную надёжность печатных узлов, и, следовательно, высокую конкурентоспособность на рынке.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые исследования подтвердили, что процесс отмывки может повысить функциональную надёжность покрытых печатных узлов, и, следовательно, конечное качество изделия. Кроме того, использование отмывки даёт возможность уменьшить количество материала, необходимого для влагозащитного покрытия, на значительную величину без ущерба для надёжности печатного узла. Это особенно важно для изделий высокого класса, используемых в суровых климатических условиях.

Используя отмывку перед нанесением покрытия, производитель может реализовать максимальную надёжность будущего изделия без увеличения себестоимости производства. ■■

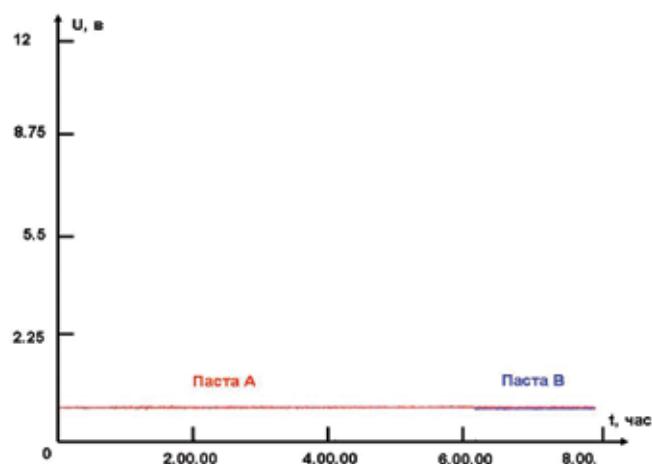
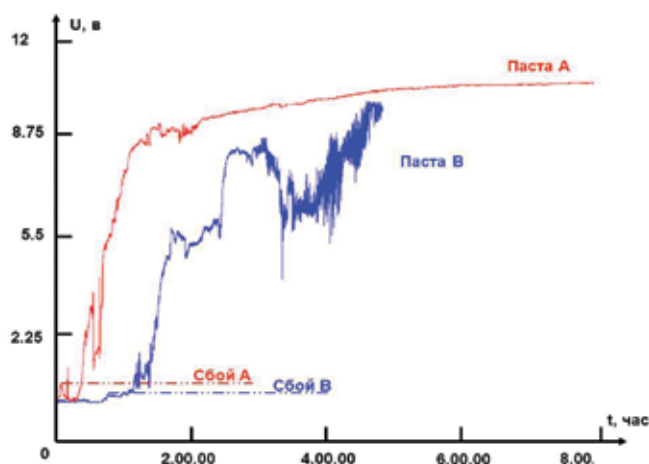


Рис. 4 Пример профиля падения напряжения в течение испытаний на не отмытых ПУ (слева) и на отмытых (справа)

Таблица 3 Расчёт стоимости влагозащитного покрытия с учётом предварительной отмывки и без таковой.

		Компания А Только покрытие		Компания В Отмывка и покрытие		
		Количество	Стоимость	Количество	Стоимость	
Отмывка	в день	Общее количество плат в день, шт.	0	-	400	-
		Количество плат за одну загрузку в машину, шт.	0	-	80	-
		Количество циклов отмывки в день, шт.	0	-	5	-
		Расход отмывочной жидкости на цикл, л	0	-	0,5	0,35
	за год	Годовое количество циклов за 250 рабочих дней, шт.	0	-	1,250	-
		Расход жидкости за год, л	0	-	625	10,95
		Смена раствора 60 л / 4 раза в год, л	0	-	240	4,2
		Затраты на оборудование (амортизация, тех. обслуживание, электроэнергия и т.п.), тыс. руб.	0	-	-	400,0
	<b>Стоимость отмытых печатных плат, тыс. руб</b>	-	<b>0</b>	-	<b>415,15</b>	
		<b>Количество</b>	<b>Тыс. руб</b>	<b>Количество</b>	<b>Тыс. руб</b>	
Влагозащита	Общее количество плат в день, шт.	400	-	400	-	
	Толщина слоя влагозащитного покрытия, мкм	100	-	50	-	
	Объём материала на 1 плату, см <sup>3</sup>	10,8	-	5,4	-	
	Ежедневный расход материала, кг	3,9	3,9	1,9	1,9	
	Годовой расход материала за 250 рабочих дней, кг	975	975,0	475	475,0	
	<b>Стоимость плат с влагозащитой, тыс. руб</b>	-	<b>975,0</b>	-	<b>475,0</b>	
	<b>Итого, тыс. руб</b>	<b>975,0</b>		<b>890,15</b>		