



## СЕЛЕКТИВНОЕ НАНЕСЕНИЕ ВЛАГОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА

Владимир Копытов  
lines@ostec-smt.ru

**С**овременная электронная аппаратура по стандарту IPC классифицируется на три группы: общего назначения (бытовая), специализированная (промышленного применения) и высококачественная (специального назначения). Каждая из групп характеризуется своими условиями эксплуатации, которые определяются климатическими, механическими, биологическими и другими факторами воздействия. Аппаратура должна выдерживать требования, предъявляемые стандартом, и обеспечивать необходимый уровень надежности. Для защиты от агрессивного воздействия внешней среды применяют нанесение влагозащитных покрытий на печатные узлы (ПУ). О методах нанесения влагозащитных покрытий и дефектах, связанных с этим процессом, и пойдет речь в данной статье.

### ГДЕ ПРИМЕНЯЕТСЯ ВЛАГОЗАЩИТА

Как правило, ПУ от прямого воздействия влаги защищен корпусом устройства, в котором он используется. Однако даже для герметичных конструкций существует риск проникновения паров влаги и пыли из окружающего воздуха, что приводит к отказу электроники. Разработчики электронной аппаратуры (ЭА) часто пренебрегают применением средств защиты своих изделий, дабы уменьшить их себестоимость. Такой подход оправдан для техники, работающей в условиях минимального воздействия влаги. Но даже если нет непосредственного контакта аппаратуры с водой, ее все равно нужно защищать от пыли, насекомых и бактерий. В этом случае применение полимерного покрытия снижает вероятность возникновения коротких замыканий, воспламенений и пожароопасных ситуаций. Для ЭА ответственного применения, где от выхода из строя, казалось бы, недорогого узла может зависеть жизнь человека или сохранение дорогостоящей техники, обеспечение надежности приобретает первостепенное значение.

Чем же опасны для электроники технологические загрязнения, влага, пыль, различные биологические факторы? Во-первых, происходит изменение функциональных характеристик устройства. Воздействие влаги на ПУ ведет к резкому ухудшению его электрических параметров. Это выражается в виде ухудшения свойств диэлектри-

ков и роста тангенса угла диэлектрических потерь, возникновения токов утечки и коротких замыканий. Во-вторых, снижается срок службы изделий, нарушаются механические и внешние параметры конструкции, появляется коррозия металлов, отслаивание защитной паяльной маски и расслоение ПП. В-третьих, это частые отказы, вплоть до полной неработоспособности ЭА. Влага способствует протеканию процесса электролиза между противоположно заряженными проводниками. Растворение одного проводника в электролите и вторичное выделение растворенных ионов на другом проводнике ведут к образованию кристаллических ветвящихся структур – дендритов (рис. 1) Вместе с остатками флюса и другими загрязнениями на поверхности ПП после процесса сборки влага создает короткие замыкания, что, в конечном итоге, приводит к полной деградации ПУ и выходу его из строя. При растущей микроминиатюризации современной элементной базы и уменьшении расстояния между проводниками и контактными площадками проблемы отмывки и некачественной влагозащиты напоминают о себе все чаще и чаще. Молекула воды очень мала и обладает исключительной проникающей способностью. По этой причине даже микротрещины на поверхности ПП и корпусах элементов представляют потенциальную опасность. Расслоение ПП ухудшает её конструкционные свойства и способность выдерживать требуемые механические нагрузки. Компоненты за счет капиллярных и осмотических явлений также могут впитывать влагу. Это приводит к возникновению внутренних напряжений, нарушению изоляции и разгерметизации корпуса элемента.

Грибковая плесень также может стать причиной многих вышеперечисленных дефектов. Грибковые колонии удерживают влагу на поверхности ПУ, не давая ей испаряться. К тому же продуктами их жизнедеятельности являются различные виды химически активных веществ, среди которых лимонная, уксусная, щавелевая кислоты.

### МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПУ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЛАГИ

Рассмотрим основные методы обеспечения защиты от влаги. Некоторые из них известны человечеству на протяжении тысячелетий и до сих пор применяются в технологиях XXI века.

Методы нанесения влагозащитных покрытий:

- 1 нанесение кистью;
- 2 окунание;
- 3 нанесение распылением;
- 4 селективное нанесение влагозащиты.

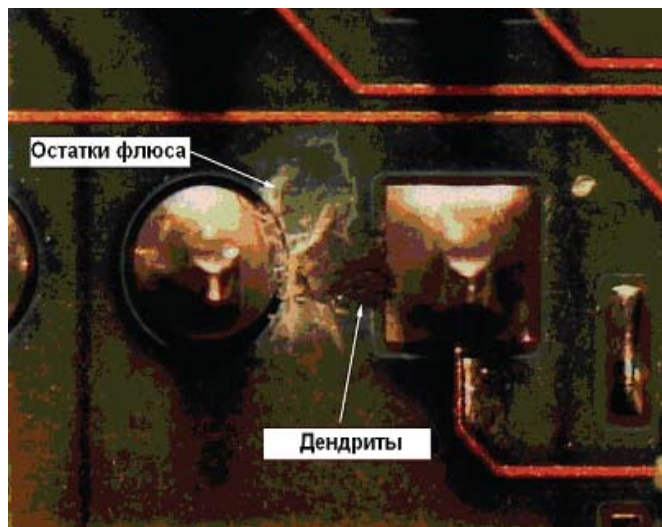


Рис. 1 Образование дендритов



Рис. 2 Нанесение влагозащитного покрытия кистью

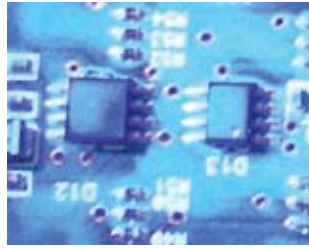


Рис. 3 Типичный пример нанесения влагозащитного покрытия кистью

### 1 Нанесение кистью

Является самым старым методом защиты изделий из различных материалов (рис. 2, 3). Минимальные затраты на оборудование и рабочую силу делают его одним из самых распространенных. От оператора требуются высокая аккуратность и внимание к процессу. Для покрытия сложных ПУ необходим опыт подготовки и качественного нанесения материала. Метод вполне можно использовать для опытно-конструкторских и мелкосерийных производств. С ростом производительности и требований к готовой продукции нанесение влагозащитных покрытий кисточкой становится неэффективным. Требуется увеличение штата сотрудников, уменьшается повторяемость процесса (если вообще о ней можно говорить), растет количество брака.

Плюсы:

- небольшие капиталовложения;
- не требуется маскирование.

Минусы:

- влияние человеческого фактора;
- проблема с покрытием сложных плат;
- непостоянство процесса нанесения;
- невозможно автоматизировать процесс;
- загрязнения, остатки ворсинок и пыли;
- механический контакт;
- грязный и вредный процесс.

### 2 Метод окунания в ванну с наносимым материалом

Окунание в ванну - первый шаг на пути к автоматизации (рис. 4). Печатную плату опускают в ванну с материалом покрытия, после чего плату вынимают и дают избытку лака стечь. Этот процесс нестабилен, возникают проблемы с образованием подтеков и капель. Т.к. ванна обычно открыта, происходит испарение растворителей, материал меняет свою вязкость, следовательно, возникает проблема с выбором необходимой скорости извлечения и времени выдержки ПП. Довольно сложно обеспечить необходимую толщину и равномерность полимерного покрытия. Проблема избытка материала частично решается с помощью операции центрифугирования. Для этого ПУ помещают в центрифугу, работающую со скоростью 100-500 оборотов.

Еще одним недостатком являются ограничения при конструировании ПУ, вносимые процессом окунания. Маскирование разъемов, индикаторов, элементов управления и настройки обычно затруднено (рис. 5, 6), и поэтому их размещают в той области ПП, которая в



Рис. 4 Ванна для окунания ПП



Рис. 5 Процесс маскирования ПП

процессе нанесения материала всегда находится выше уровня лака в ванне.

Несмотря на все минусы, процесс окунания широко применяется в отечественном производстве, благодаря хорошей производительности.

Плюсы:

- небольшие капитальные вложения;
- простой техпроцесс;
- высокая производительность;

Минусы:

- образование подтеков и капель (рис. 7);
- эффект апельсиновой корки (рис. 8);
- проблема поддержания стабильных параметров технологического процесса;
- загрязнение материала;
- требуется маскирование;
- технологические ограничения на конструкцию ПУ;
- большие затраты на чистку и обслуживание оборудования;
- вредность производства.

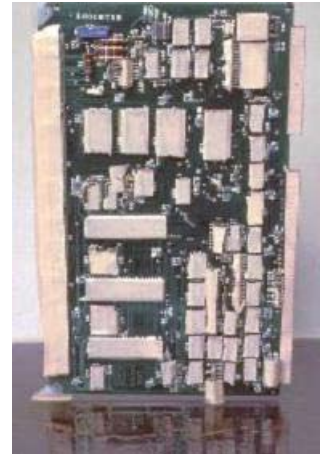


Рис. 6 ПП с участками для маскирования

### 3 Нанесение распылением

Метод распыления также очень известен в радиоэлектронике. Он применяется для нанесения лаковых покрытий на поверхности ПП и краски на корпуса электронных средств. Для распыления материала используются сжатый воздух, который создает необходимое давление. Распыление производится с помощью пистолета в специальной камере (рис. 9), либо с помощью аэрозольного баллона. Последнее особенно часто используется как альтернатива кисточке при покрытии макетов, опытных образцов и ремонте аппаратуры. Недостатком является большой расход материала, из которого 25-30% распыляется в воздух (рис. 10). Процесс вреден, оператор должен быть одет в средства индивидуальной защиты, а комната должна хорошо проветриваться. Процесс поддается автоматизации, но возникают проблемы при переходе на новое изделие. В основном они вызваны необходимостью маскирования и покрытия теневых зон. Возможно появление подтеков и неравномерного нанесения покрытия.

Плюсы:

- небольшие капитальные вложения;
- простота реализации;

Минусы:

- влияние человеческого фактора;
- требуется маскирование;
- грязный, вредный для здоровья процесс;
- проблема покрытия теневых зон;
- большой расход материала.

### 4 Автоматическое селективное нанесение влагозащитных покрытий

Селективное нанесение полимерных материалов позволяет избирательно покрывать ПП в тех местах, где защита от влаги необходима.



Рис. 7 Подтеки на поверхности ПП

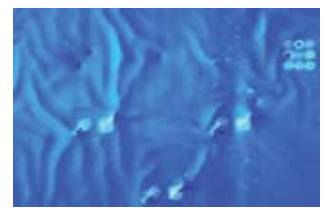


Рис. 8 Эффект апельсиновой корки

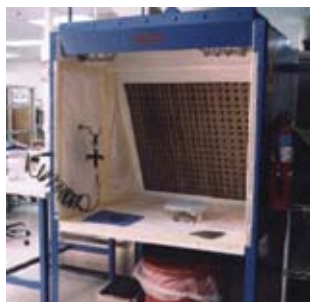


Рис. 9 Камера для нанесения влагозащитного покрытия распылением

Основным преимуществом такого подхода является решение проблемы маскирования. Этот процесс является узким местом всех описанных ранее технологий. Он практически не поддается автоматизации. В большинстве случаев маскирование производится вручную, с помощью пластыря, изоляционной ленты или специально разработанных материалов. Они могут взаимодействовать с

влагозащитным покрытием, оставлять загрязнения на ПП, оплавляться, сгорать при отверждении, влиять на адгезию основного покрытия к ПП и компонентам.

Современные производители автоматов селективного нанесения покрытия предлагают широкий спектр аппликаторов (головок) реализующих различные методы нанесения материала (рис. 11). Среди них есть как прецизионные (рис. 12), для точного нанесения материала на сложных и труднодоступных участках, так и головки с регулируемой шириной струи для скоростного покрытия ПП (рис. 13). Избирательно и точно нанося

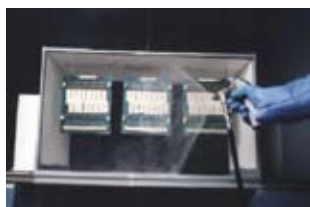


Рис. 10 Нанесение влагозащитного покрытия распылением

материал, можно добиться четких контуров покрытия. Одновременное использование до двух головок в одной установке позволяет наносить два различных материала.

Интересным представляется реализация различных методов нанесения материала в одной головке. Например, аппликатор фирмы Asymtek SC-300 работает в трех режимах: струйном,



Рис. 11 Пленочное нанесение влагозащитного покрытия автоматом Asymtek SL-940E и аппликатором SC-204

закрученной нити и режиме распыления. Помимо области покрытия они отличаются толщиной нанесения материала. При необходимости можно реализовать различную толщину покрытия на разных участках ПП за один цикл работы установки. Такой механизм позволяет повысить эффективность влагозащиты в тех местах, где это нужно,

при этом уменьшается расход материала и снижаются затраты на производство.

Процесс селективного нанесения полностью автоматизирован.



Рис. 12 Прецизионное нанесение покрытия в труднодоступные места с помощью автомата Asymtek



Рис. 13 Автоматическое нанесение влагозащитного покрытия с помощью автомата Asymtek

Эффективность переноса материала составляет 95-99%. Уход от ручного труда и влияния человеческого фактора однозначно повышают качество нанесенного покрытия, к тому же покрывать ПУ можно в закрытой вентилируемой камере, что делает техпроцесс более безопасным и чистым. Программное управление и автоматический контроль параметров нанесения (температура, вязкость материала, толщина покрытия) гарантируют высокую повторяемость процесса.

Плюсы:

- равномерное покрытие;
- высокая точность нанесения;
- повторяемость процесса;
- возможность построения полностью автоматической линии;
- лучший процент переноса материала. Уменьшение потребления материала и растворителя, следовательно, и общей стоимости покрытия;
- уменьшение расходов на рабочую силу за счет уменьшения количества работников, занимающихся маскированием и нанесением покрытия;
- безопасный и экологически более чистый техпроцесс.

Минусы

- увеличение инвестиций в проект.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Защита от влаги является одним из основных средств обеспечения надежности ЭС. Полимерные покрытия позволяют увеличить срок службы устройства и предотвратить большое количество отказов, вызванных воздействием влаги, пыли, плесени. Выход на высокий уровень качества и надежности продукции возможен лишь за счет применения современных защитных материалов и оснащения производства современным технологическим оборудованием для их нанесения.

Сравнительный анализ различных методов нанесения влагозащитных покрытий показал, что наиболее технологичным является процесс селективного, избирательного нанесения. На современном производстве построение линии селективного нанесения влагозащитных покрытий позволяет при снижении расходов на материалы и рабочую силу существенно увеличить скорость и качество нанесения материала. ■■

Таблица 1 Сравнение методов нанесения влагозащитных покрытий

Метод	Маскирование	Загрязнение материала	Повторяемость	Изменение вязкости	Эффективность переноса материала	Производительность	Автоматизация процесса (встраивание в линию)
Нанесение кисточкой	Небольшое	Высокое	Низкая	Высокое	Средняя	Низкая	Нет
Окувание в ванну	Да	Высокое	Низкая	Высокое	Средняя	Высокая	Небольшая
Распыление	Да	Среднее	Средняя	Низкое	Низкая	Средняя	Небольшая
Селективное нанесение	Нет	Низкое	Высокая	Низкое	Высокая	Высокая	Да