

Пайка в паровой фазе (конденсационная):

настоящее и будущее электронной промышленности

Любой способ пайки преследует одну цель: сформировать качественные паяные соединения между выводами компонентов и контактными площадками. Но когда заходит речь об их надежности, повторяемости процесса (или когда это мелкосерийный процесс с использованием дорогостоящих компонентов), то задача технологов усложняется.

**Станислав Борисенков
Кирилл Дятлов**

svb@est-smt.ru

Краткая информация о процессе

Пайка в паровой фазе (конденсационная) — это наиболее простой и надежный метод пайки. Он идеально подходит для всех типов SMD-компонентов и материалов, из которых изготавливаются ПП. Физические принципы конденсационной пайки позволяют паять ответственные изделия без длительного и сложного процесса подбора термопрофилей. Основной физический принцип заключается в передаче тепла за счет конденсации пара на электронном модуле. Источником образования пара является химически инертная, безвредная, не вызывающая коррозии жидкость, которая может сочетаться с любыми материалами. Температура кипения такой жидкости составляет 200 °С при использовании свинцовосодержащих припоев или 230 °С — при использовании бессвинцовых припоев. При индивидуальных требованиях к условиям пайки может использоваться жидкость с температурой кипения от 160 до 260 °С.

Выход на режим в установках пайки в паровой фазе заключается в получении нужной концентрации пара в камере пайки. В процессе кипения жидкости над ванной поднимается пар, не содержащий кислорода и с молекулярным весом выше воздуха. Пар вытесняет из камеры пайки воздух и образует бескислородную среду для пайки без использования дополнительных инертных газов, таких как азот. Как только изделие попадает в камеру пайки, на нем начинает конденсиро-

ваться пар, передавая изделию свое тепло. Независимо от времени нахождения изделия в камере пайки его температура никогда не превысит температуру пара. Из чего следует безупречная повторяемость процесса и отсутствие перегрева. Пайка в паровой фазе позволяет паять изделия любой сложности: начиная от гибких печатных плат и заканчивая сложными многослойными платами, в том числе и на алюминиевом основании.

Рассмотрим сущность процесса подробнее:

- Электронный модуль с установленными на паяльную пасту компонентами перемещается в зону пайки (рис. 1). Во избежание термоудара он может быть предварительно нагрет ИК-излучением или верхним слоем паров кипящей жидкости меньшей температуры.
- Модуль погружается в пар и таким образом нагревается (рис. 2). Благодаря запатентованному компанией IBL Löttechnik GmbH режиму «мягкой» паровой фазы (более подробно о нем будет рассказано ниже), модуль выводится на режим предварительного нагрева, то есть выдерживается при температуре активации флюса заданное время (140 °С для свинцовосодержащих паяльных паст и 180 °С — для бессвинцовых паяльных паст).
- Изделие перемещается ниже в камеру пайки (ближе к кипящей жидкости), где концентрация пара наиболее высока (рис. 3). Это позволяет нагреть изделие с заданным градиентом до температуры оплавления припоя.

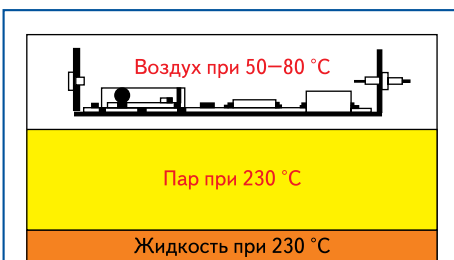


Рис. 1. Электронный модуль перемещается/покидает зону пайки

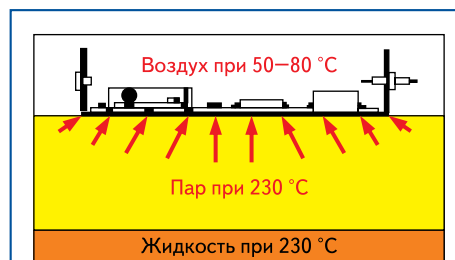


Рис. 2. Модуль погружается в пар

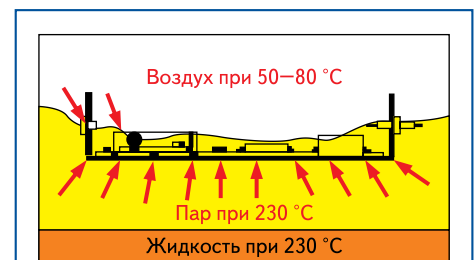


Рис. 3. Изделие перемещается ниже в камере пайки

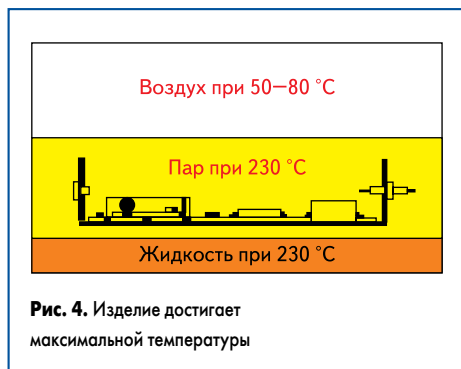


Рис. 4. Изделие достигает максимальной температуры

- Изделие достигает максимальной температуры — температуры пара (рис. 4). Эту температуру модуль не может превысить физически, как бы долго он не оставался в камере пайки.
- После того как изделие покидает зону пайки, на нем остается конденсированная жидкость, но благодаря тому, что изделие имеет более высокую температуру по сравнению с окружающей средой, она вся испаряется, и из установки выходит сухое изделие (рис. 1).

Основные преимущества использования систем пайки в паровой фазе

- Не требуется тщательная обработка термопрофилей, поскольку перенос энергии осуществляется за счет конденсации, и градиент температуры фактически зависит только от массы изделия.
- Невозможно нагреть компоненты выше температуры пара (200 °C для свинцовых или 230 °C — для бессвинцовых припоев).
- Идеальное применение для единичного, мелкосерийного и серийного производства.
- Идеальная повторяемость процесса пайки.
- Одинаковая температура в любой точке печатной платы и, как следствие, исключение коробления плат из-за неравномерного прогрева.
- Пайка проходит в инертной атмосфере, при этом нет затрат на дополнительное оборудование.
- Процесс применим к любым компонентам, включая любые типы BGA и QFN.
- Исключается возникновение эффекта «попкорна» за счет равномерности прогрева всего корпуса компонента.
- Возможен прогрев ПП как сверху, так и снизу.
- Легкая выпайка компонентов при выполнении ремонтных работ.
- Низкие производственные затраты благодаря минимизации расхода жидкости для пайки, а также низкому потреблению электроэнергии — по сравнению с традиционными конвекционными печами.
- Встроенная система охлаждения, основанная на принципе воздушной конвекции.
- Рабочая жидкость для пайки не токсична, не имеет срока хранения, не требует специальных условий для хранения и утилизации.
- Наличие в установке обзорного окна, что дает возможность визуально контролировать процесс.

Таблица. Сравнение технологий пайки

Требования к пайке		ИК-пайка	Конвекционная пайка	Пайка в паровой фазе
1	Условия воспроизводимости	2	3	4
1.1	Равномерность распределения температуры	2	3	4
1.2	Воспроизводимость температурного профиля	2	3	4
1.3	Механические нагрузки на компоненты	2	3	4
1.4	Ограничение времени воздействия на ПП макс. температуры (защита от перегрева)	2	3	4
1.5	Пайка в инертной среде (отсутствие кислорода)	3	3	4
2	Пайка сложных ПП	2	3	4
2.1	Пайка сложных ПП (сочетание мелких и массивных компонентов)	2	3	4
2.2	Пайка многослойных ПП	2	3	4
2.3	Пайка с высокой плотностью монтажа	2	3	4
2.4	Пайка сложных компонентов (с выводами под корпусом)	2	3	4
3	Качество пайки	2	3	4
3.1	Отсутствие эффекта «попкорна» при пайке BGA в пластиковых корпусах	1	3	4
3.2	Механические нагрузки на компоненты	2	3	4
3.3	Применимость к мелкосерийному производству	1	2	
3.4	Применимость для массового производства	4	4	4
3.5	Соответствие качества пайки стандарту ISO-9000	2	3	4
4	Стоимость	1	2	4
4.1	Потребление энергии	1	3	4
4.2	Стоимость оборудования	3	2	2
4.3	Заработная плата персонала	2	3	4
4.4	Пайка бессвинцовыми припоями (SnAg3,5) на ПП из FR4	1	1	4
4.5	Ремонт электронных модулей	1	2	4
4.6	Выбросы в атмосферу	1	2	4
Общая оценка		2	3	4

Примечание. 1 — плохо; 2 — удовлетворительно; 3 — хорошо; 4 — отлично.

- Выход на режим занимает не более 15–20 минут.
- При использовании вакуумной установки пайки в парогазовой фазе значительно снижается количество пустот в шариковых выводах корпусов BGA.
- Только пайка в парогазовой фазе полностью соответствует требованиям стандарта ISO 9000.

Сравнить технологии пайки компонентов можно при помощи таблицы, которая основана на практических данных крупнейших мировых производителей электронной техники.

Использовать все преимущества пайки в паровой фазе позволяют установки немецкой компании IBL Löttechnik GmbH.

Компания IBL Löttechnik GmbH была основана в 1985 году и занимается разработкой и производством систем пайки в паровой фазе. Результатом стало завоевание лидирующих позиций в данной отрасли промышленности. Теперь эта ведущая компания признана не только в Германии, но и во всем мире. Достаточно упомянуть, что ее заказчиками и постоянными клиентами являются такие предприятия, как BMW, Siemens, Rohde&Schwarz, Европейское аэрокосмическое агентство и большинство технологических университетов Германии. В 2006 году компания IBL Löttechnik GmbH была удостоена гранта правительства Баварии как самая динамично развивающаяся компания.

IBL Löttechnik GmbH предлагает целую гамму установок пайки в паровой фазе, что позволяет применять данную технологию как в единичном и прототипном, так и в массо-

вом производстве. Всю линейку продукции условно можно разделить на две подгруппы: установки эконом (Economy) и премиум (Premium) класса.

Установки эконом (Economy) класса

Три установки наиболее оптимальны для лабораторий и прототипного производства.

Установка MiniLab

Максимальный размер электронного модуля — 300×275 мм (рис. 5). Несмотря на свои скромные размеры, установка обладает возможностью регулировки мощности нагревателей, уникальной системой транспортировки плат в зону пайки, не требующей обслуживания и свойственной всем установкам пайки компании IBL Löttechnik GmbH, а также обзорным окном и встроенной подсветкой зоны пайки. Еще одним преимуществом данной установки является система минимизации расхода жидкости для пайки: открытие верхней крышки установки, через которую происходит загрузка изделий, не влечет за собой



Рис. 5. Установка MiniLab

попадания паров жидкости в окружающую среду, чего нет в подобных установках других производителей. Такая система загрузки, при работе в одну рабочую смену, позволяет сэкономить на дополнительной жидкости сумму, эквивалентную стоимости новой установки.

Установки SV260 и SV360



Рис. 6. Установка SV360

Установки SV260 и SV360 (рис. 6) являются более крупными и производительными, их можно применять в условиях мелкосерийного производства. Эти двухкамерные установки отличаются друг от друга размерами обрабатываемых плат: 300×260 и 360×540 мм соответственно. Все установки эконом (Economy) класса позволяют сохранять до 20 термопрофилей, управлять мощностью нагревателей, а следовательно, концентрацией пара и градиентом температуры. Во всех установках пайки компании IBL Löttechnik GmbH имеется встроенный режим пайки Heat Level Mode и система автоматической пайки Solder Automatic. Основной особенностью данных технологий является то, что при погружении изделия в пар происходит конденсация последнего на модуле, то есть его уровень снижается, а при наступлении теплового равновесия между паром и изделием пар начинает подниматься на прежний уровень. При достижении паром в камере первоначального уровня (изделие, а следовательно, и припой достигли температуры, равной температуре пара) срабатывают датчики, и контроллер в автоматическом режиме отсчитывает заранее установленное время, необходимое для оплавления припоя.

Установки премиум (Premium) класса

Принципиальным отличием установок данного класса является наличие запатентованного компанией IBL Löttechnik GmbH режима «мягкой» паровой фазы (Soft Vapour Phase, SVP). Этот режим позволяет получать термопрофили классической формы: с предварительным нагревом и выдержкой для активизации флюса в паяльной пасте. По сути, единственный критерий для выбора профиля — это масса паяемого изделия, и, как показывает практика, хватает всего лишь трех-четырех профилей для решения практически любых задач. Но для получения качественных паяных соединений при наличии на плате большого количества слож-

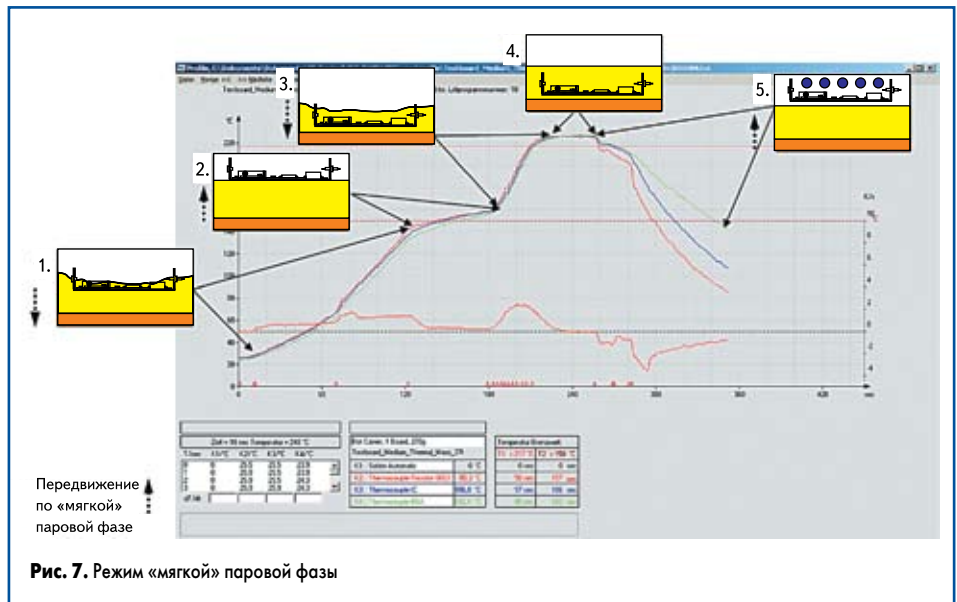


Рис. 7. Режим «мягкой» паровой фазы



Рис. 8. Отдельстоящая установка серии XLC



Рис. 9. Установка серии XLC встраиваемая в линию

ных и тепломассивных элементов необходимы предварительный нагрев изделия и выдержка его при температуре 140 или 180 °С для активизации флюсов, содержащихся в паяльной пасте, а также последующий быстрый нагрев до температуры плавления припоя. При использовании стандартных режимов пайки в паровой фазе получить классический термопрофиль с предварительным нагревом не представляется возможным.

Режим «мягкой» паровой фазы (SVP mode)

Очевидно, что концентрация пара различается по уровню: чем выше пар от кипящей жидкости, тем концентрация меньше. Сущность режима «мягкой» паровой фазы

заключается в том, что держатель в камере пайки может принимать 20 положений. Соответственно, переместив изделие в нижнее положение, можно достигнуть температуры, например, 120 °С, а затем в верхних слоях, с соответствующей концентрацией пара, выдержать эту температуру (рис. 7).

Помимо этого, установки премиум (Premium) класса могут быть оснащены ИК-подогревом и дополнительной системой охлаждения, что позволяет существенно сократить цикл пайки, а также повысить ее функциональность. В частности, использование ИК-подогрева в установке позволяет отверждать клеи и SMT-адгезивы. Премиум (Premium) класс подразделяется на три серии: XLC, LV/CM и VAC.



Рис. 10. Высокопроизводительная установка CM800

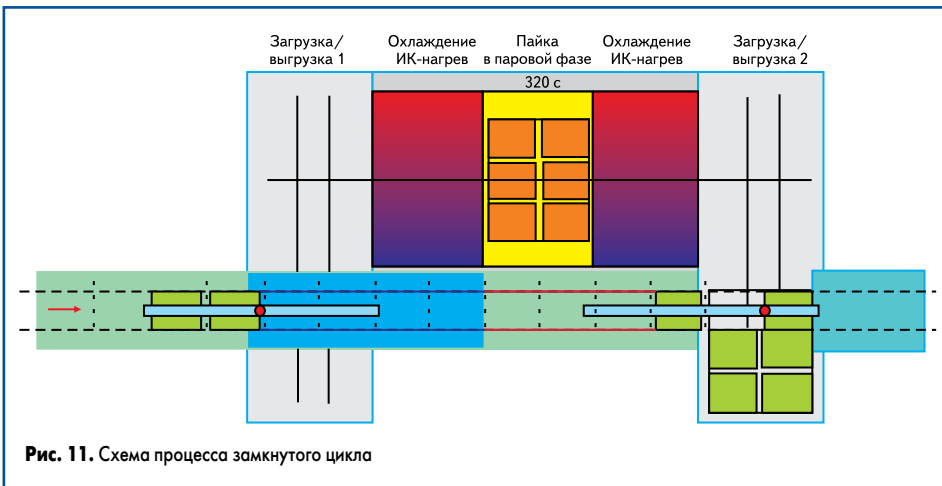


Рис. 11. Схема процесса замкнутого цикла

Установки серии XLC, позволяющие обрабатывать платы с габаритами от 300×340 мм до 840×650 мм, могут работать как отдельно стоящие модули (рис. 8) или могут быть интегрированы в производственные линии (рис. 9).

Высокопроизводительные установки LV600 и SM800 (рис. 10) предназначены для серийного и крупносерийного производства. Благодаря замкнутому циклу, время пайки одной платы не превышает 15–20 с (рис. 11).

Серия установок VAC

Третья серия — VAC, пожалуй, одна из самых интересных, благодаря оснащению модулем вакуумирования (рис. 12). Производители электронных модулей встречаются с таким дефектом при пайке компонентов в корпусах BGA, как пустоты в шариковых выводах после пайки. При использовании систем пайки в паровой фазе с вакуумированием на испытываемых образцах удалось снизить процент пустот в паяных соединениях с 90% до менее 10% (по данным рентгеновской томографии). Подобного результата удалось добиться, интегрировав в систему уникальный модуль вакуумирования. Суть его действия заключается в том, что откачка воздуха происходит непосредственно во время цикла пайки, без перемещения платы с расплавленным припоем (рис. 13).

При использовании метода пайки в паровой фазе и откачке воздуха весь процесс пайки проходит в инертной среде и, в отличие от метода, когда откачка воздуха начинается



Рис. 12. Установка VAC 665

после того, как изделие покинуло зону пайки, не требует дополнительных подключений азота. Кроме того, для компенсации скачка температуры, возникающего при перемещении изделия из зоны пайки в зону вакуумирования, необходима жидкость с более высокой температурой кипения (Galden LS230 вместо LS200 для свинцовосодержащих припоев). Чем выше температура кипения, тем выше стоимость жидкости. Таким образом, разница в цене за килограмм жидкости между LS200 (температура кипения 200 °С, применима для свинцовосодержащих припоев) и LS230 (температура кипения 230 °С, применима для бессвинцовых припоев) на российском рынке составляет около 30 евро. А если учесть, что залить в подобные печи нужно 40 кг жидкости, также необходимо пополнение по мере эксплуатации, что ведет к дополнительным значительным затратам.

В заключение хотелось бы сказать, что долгое время технология пайки в паровой фазе была не востребована производителями электронных модулей. На это был ряд причин, основные из которых — это вредность теплоносителя, его дороговизна, а также некоторые дефекты, возникающие при пайке данным методом из-за слишком высокого градиента температуры. В настоящее время эти проблемы нашли решение: разработчики сумели получить безвредную рабочую жидкость, не требующую никаких специальных условий хранения и эксплуатации, с неограниченным сроком годности, а специалисты IBL Löttechnik GmbH создали системы, позволяющие управлять градиентом температуры.

На российском рынке подобные системы еще являются диковинками и зачастую вызывают недоверие со стороны технологов предприятий, производителей электронных модулей. Тогда как на Западе многие производители, особенно ответственных изделий специального назначения (космическая промышленность, медицинская техника, оборонная промышленность), за последние 5–10 лет уже провели полное перевооружение своих предприятий и успешно используют данные системы.

Литература

1. The pain of conventional lead-free soldering // Материалы конференции. Германия. Кенигсбрун, 2009.
2. Vapour Phase Soldering machines. Германия, 2009.
3. www.ibl-tech.com

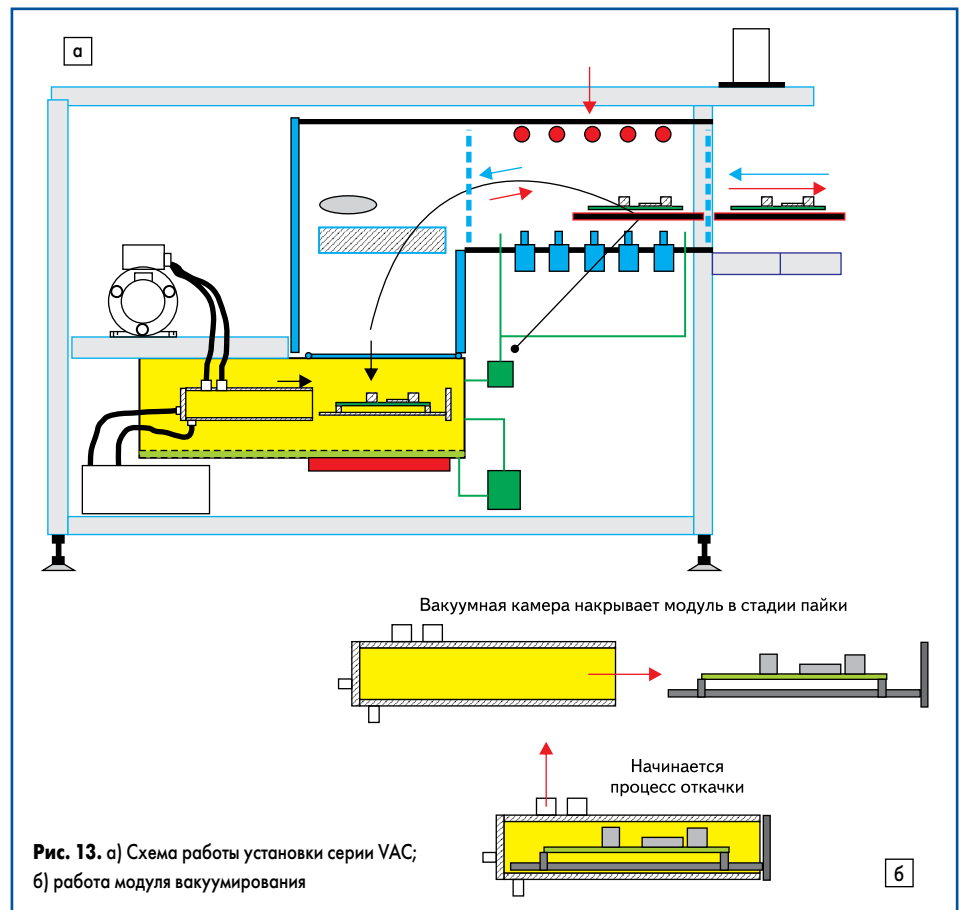


Рис. 13. а) Схема работы установки серии VAC; б) работа модуля вакуумирования