



ВЫБОР ПОДХОДЯЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ СЕЛЕКТИВНОЙ ПАЙКИ. ЧАСТЬ 1

Александр Антонов
lines@ostec-group.ru

Перед производителями всегда стоит нелегкая задача выбора подходящего оборудования, которое будет полностью удовлетворять поставленным требованиям и задачам. В данной статье представлены результаты сравнения работы двух установок селективной пайки, выполненные сотрудниками компании Shenzhen Kaifa Technology Co. Ltd. Шеньчжэнь, Китай («Selective Soldering Technology Selection», Francisco Fernandez, Eddie Tang, Feng Lu). Это пример того, как выбор той или иной установки оказывает влияние на окончательные результаты при работе в реальных производственных условиях.

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на то, что в последнее время наблюдается повсеместная тенденция уменьшения массогабаритных характеристик изготавливаемой продукции, а также упрощения процесса сборки изделий путем повсеместного использования поверхностно-монтируемых компонентов взамен штырьевых, нередко возникают сложности при поиске аналогов компонентов с необходимыми характеристиками в поверхностном исполнении. Именно поэтому на многих предприятиях применяется технология селективной пайки выводов штырьевых компонентов миниволной припоя.

Хотя во всем мире технология селективной пайки известна уже на протяжении 30 лет, и сейчас на рынке представлено большое количество оборудования от различных производителей, отличающиеся не только техническими характеристиками, но и конструктивным исполнением, в российских условиях данная технология еще не до конца изучена и освоена. Поэтому перед отечественным производителем остро стоит вопрос: какая из представленных на рынке установок будет наилучшим образом соответствовать требованиям его производства.

Выбор той или иной установки может быть обусловлен целым рядом различных критериев: требованиями к качеству и надежности изготавливаемой продукции, необходимой программы выпуска, сложности изделия и т.д. Немаловажным является также количество первоначальных инвестиций для реализации процесса селективной пайки на производстве.

Конечно, хотелось бы иметь установку, которая позволяла бы при минимальных капиталовложениях поддерживать необходимое качество пайки при заданной программе выпуска. Однако есть множество факторов, которые могут повлиять на реальную производительность установок и качество изготавливаемой продукции. Эти факторы напрямую зависят как от конструктивных особенностей применяемой системы пайки, количества выводов, подлежащих

пайке, качества используемых материалов, так и от заданных технологических параметров.

В данной статье представлены результаты сравнения и тестирования двух установок селективной пайки (далее установка А и установка Б), которые проводили сотрудники компании Shenzhen Kaifa Technology, Китай.

Мы рассмотрим сравнительный анализ реализации всех технологических операций селективной пайки на установках: нанесение флюса, предварительный нагрев печатных узлов (ПУ), пайку штырьевых выводов; в заключение будут представлены результаты анализа качества пайки изготовленных ПУ, а также сравнение производительности установок при работе в реальных производственных условиях. Сравнительные характеристики установок А и Б представлены в таблице 1.

Таблица 1 Сравнительные характеристики установок селективной пайки

Характеристика	Установка А	Установка Б
Технология пайки	пайка миниволной	пайка миниволной
Тип флюсователя	струйный	струйный
Параллельная пайка мультизаготовок	да	да
Волнообразователь, смачиваемый припоем	да	да
Работа в конвейерной линии	да	да
Пайка точками или по линии	да	да
Угол между платой и ванной с припоем	0°	0°
Преднагрев	сверху	снизу
Пайка бессвинцовыми припоями	да	да
Тип насоса	механический	электромагнитный
Начальные инвестиции	Стоимость установки А в 2 раза ниже, чем установки Б	

На первый взгляд может показаться, что обе установки очень похожи как по способу реализации технологии селективной пайки, так и по общим функциональным возможностям. Однако в процессе тестирования в реальных производственных условиях при массовой сборке печатных узлов обе установки показали различные результаты.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ УСТАНОВОК

Используемые материалы

Для проведения исследования в установках использовались одни и те же материалы и печатные платы, параметры которых представлены ниже:

1. Флюс: органический флюс без галогенов на спиртовой основе.
2. Бессвинцовый припой: сплав SAC 305.
3. Четырехслойные печатные платы размерами: 280x200x1,6 мм.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СЕЛЕКТИВНОЙ ПАЙКИ

Максимальной производительности и минимального цикла можно добиться при конструкции установки, в которой производится параллельная обработка нескольких ПУ. Данная концепция реализована как в установке А, так и в установке Б. Однако у них различные подходы к последовательности обработки ПУ. Отличия представлены в таблице 2.

Таблица 2 Реализация процессов для установок селективной пайки

Операция	Установка А	Установка Б
1 процесс	Загрузка	Загрузка
2 процесс	Флюсование	Флюсование
3 процесс	Преднагрев + Пайка	Преднагрев
4 процесс		Пайка

Как можно видеть, в установке А область пайки совмещена с областью предварительного нагрева. Реализовано это благодаря размещению в зоне пайки модуля нагрева с верхней стороны. Такая концепция позволяет уменьшить занимаемую площадь и стоимость установки А по сравнению с установкой Б, в которой зоны флюсования, предварительного нагрева и пайки физически разделены, и плата при обработке проходит все стадии последовательно одну за другой.

СПОСОБ ЗАГРУЗКИ ПУ

Конструкция и расположение двух волнообразователей в случае необходимости параллельной пайки мультизаготовок может оказывать сильное влияние на то, как они будут ориентированы относительно конвейера (вдоль или перпендикулярно). В свою очередь, ориентация ПУ оказывает влияние на степень коробления и качество пайки плат после обработки.



Рис. 1 Загрузка ПУ и ориентация волнообразователей



Рис. 2 Оснастка для предотвращения прогиба

На рис. 1 можно видеть, что в платформе А платы в мультизаготовке при загрузке ориентированы вдоль конвейера, таким образом вероятность прогиба платы минимальна. В установке Б, напротив, платы ориентированы перпендикулярно конвейеру. В этом случае не исключается прогиб платы при больших размерах мультизаготовок. Поэтому для платформы Б рекомендуется использовать специальную оснастку для предотвращения влияния деформации платы на итоговое качество пайки (рис. 2) или применять системы компенсации прогиба.

ФЛЮСОВАНИЕ

Обе установки селективной пайки в данном исследовании оснащены программируемыми струйными флюсователями сходной конструкции, которые дают возможность наносить точное количество флюса на отдельные участки ПУ. Можно наносить флюс как отдельными точками, так и по линии. Однако наблюдается некоторая разница в параметрах в пользу установки Б, которая позволяет наносить дозы флюса диаметром до 3 мм, что означает меньшее количество его остатков после процесса пайки. Параметры флюсователей установок представлены в таблице 3.

Таблица 3 Спецификация на флюсователи

Параметр	Установка А	Установка Б
Скорость флюсования	50 доз/сек	60 доз/сек
Ширина струи	4 – 6 мм	3 – 8 мм

Как было отмечено выше, в зависимости от количества контактных площадок под штырьевые компоненты флюс на установках наносится либо отдельными точками (для уменьшения остатков флюса), либо по линии (для ускорения операции флюсования групп выводов). Общее время на операцию флюсования, таким образом, зависит от количества выводов и заданных технологических параметров.



Рис. 3 Внешний вид флюсователей



В процессе исследования оба флюсователя показали хорошие результаты по точности и качеству нанесения материала. При этом ни разу не наблюдалось засорения или отказов форсунок флюсователей.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ НАГРЕВ

Температура и время предварительного нагрева напрямую зависят от типа используемого флюса, количества слоев на плате и теплоемкости установленных компонентов. В случае пайки многослойных плат с большим количеством слоев и межслойных переходов, теплоемких компонентов с различной спецификацией система предварительного нагрева должна быть достаточно гибкой. В противном случае возможно неравномерное распределение температур на поверхности ПУ и компонентах, что, в конечном счете, приведет к некачественной пайке. В процессе программирования параметров предварительного нагрева обязательно нужно учитывать спецификацию штырьевых и поверхностно-монтажных компонентов, требования к допустимой скорости их нагрева и максимально допустимой температуре.

Технологический процесс селективной пайки требует, чтобы все печатные узлы проходили стадию предварительного нагрева. Стадия предварительного нагрева необходима по ряду причин:

- необходимо, чтобы непосредственно перед процессом пайки из флюса испарился весь растворитель, в противном случае во время пайки миниволной возможно разбрызгивание припоя;
- если печатный узел не будет достаточно прогрет перед процессом пайки, тепло припоя в волнообразователе при касании вывода и контактной площадки будет расходоваться не на формирование паяного соединения, а на нагрев непрогретых участков ПУ и компонентов. В результате – плохая смачиваемость стенок монтажного отверстия и вывода компонента и плохое заполнение отверстия;
- преднагрев нужен также для снижения теплового удара по компонентам и печатной плате для исключения их повреждения.

Результаты данного исследования показали, что преднагрев с нижней стороны, используемый на установке Б, обладает рядом преимуществ по сравнению с верхним преднагревом, используемым на установке А. Благодаря расположению нагревателей с нижней стороны, то есть со стороны расположения выводов и нанесения флюса, достаточно просто удается добиться полного испарения растворителя и активации флюса, а также прогреть все выводы компонентов непосредственно перед процессом пайки. Равномерный нагрев платы и компонентов позволяет добиться хорошей смачиваемости выводов и монтажных отверстий даже в случае использования бессвинцовых припоев. Внешний вид нижних нагревателей установки Б представлен на рис. 4 справа.

Использование только верхнего нагревателя (рис 4, слева), как в системе А, не гарантирует полного испарения растворителя, из-за чего возможно разбрызгивание припоя во время пайки выводов



Рис. 5 «Уплывание» компонентов

и загрязнение ПУ остатками флюса. В этом случае может потребоваться введение дополнительных операций отмывки для удаления остатков флюса или увеличение времени на преднагрев для полного его испарения, что негативным образом скажется на себестоимости и продолжительности изготовления одной единицы продукции. Программируя параметры верхних нагревателей, нужно четко следовать требованиям, предъявляемым к штырьевым компонентам по максимально допустимой температуре и скорости нагрева, в противном случае весьма вероятно их повреждение. Иногда для исключения смещения или «уплывания» компонентов, установленных вблизи штырьевого компонента, подлежащего пайке (рис. 5), сверху их фиксируют с помощью специальных грузиков. Однако в этом случае использование только верхних нагревателей может привести к тому, что компоненты и выводы не будут прогреты должным образом в связи с расходами тепла на нагрев грузиков.

МОДУЛИ ПАЙКИ

От продуманности конструкции модулей пайки напрямую зависят сложность и периодичность их обслуживания, повторяемость и качество пайки штырьевых компонентов. Обе платформы, используемые в исследовании, оснащались двояными модулями пайки, внешний вид которых представлен на рис. 6.

Установка А использует только одну ванну с припоем и один насос для пайки двумя волнообразователями. Установка Б использует независимые насосы и ванны в своей конструкции, что гарантирует достаточную мощность для поддержания необходимой высоты мини-волны припоя и температуры в течение длительного времени. Для исключения поломки внутренних деталей модуля пайки все его составные части должны быть рассчитаны не только на работу при повышенных температурах, но и выдерживать периодическую сбор-



Рис. 4 Верхние и нижние нагреватели



Рис. 6 Модули пайки



Рис. 7 Сломанная деталь насоса (установка А)



Рис. 8 Внешний вид волнообразователей

ку/разбору, которая может потребоваться в процессе технического обслуживания.

Из-за непродуманной конструкции составных частей модуля пайки в установке А в процессе технического обслуживания произошла поломка одной из деталей его насоса (рис. 7). Это привело к остановке производственной линии и последующей замене неисправной детали.

Несмотря на общую концепцию построения тех или иных систем селективной пайки, установки могут иметь существенные различия в конструкции и качестве исполнения (например, волнообразователей или модулей пайки). Все недостатки конструкции будут мгновенно сказываться как на качестве паяных соединений, так и на общей производительности.

ВОЛНООБРАЗОВАТЕЛИ

В данном исследовании обе установки используют волнообразователи, полностью смачиваемые припоем. При массовом выпуске продукции (22,5 часа в день, 6,5 дней в неделю), как в данном исследовании, время жизни насадок составило: для установки А – примерно 3 недели, для установки Б – 8 недель. На рис. 8 показан внешний вид обоих волнообразователей.

ТЕПЛОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Оба волнообразователя испытывают температурные расширения по длине и ширине при достижении температуры в 290 градусов. Несмотря на схожий коэффициент температурного расширения, температурная деформация и внутреннее напряжение по результатам моделирования отличаются для волнообразователей разных конструкций.

Результаты моделирования показаны на рис. 10. Волнообразователь установки А испытывает одинаковые изменения размеров по длине и ширине. Температурное моделирование для волнообразователя установки Б показало минимальную деформацию по ширине. Как можно видеть, максимальное расширение материала при-

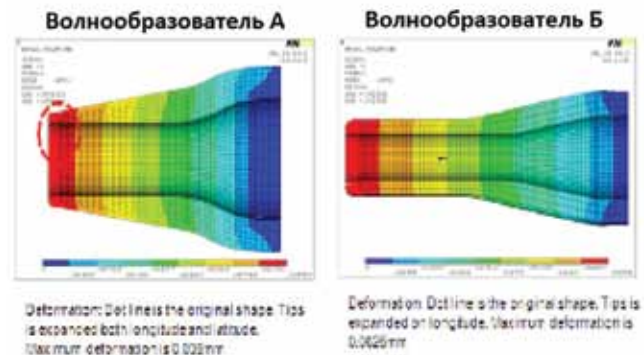


Рис. 10 Температурные напряжения на кончиках волнообразователей

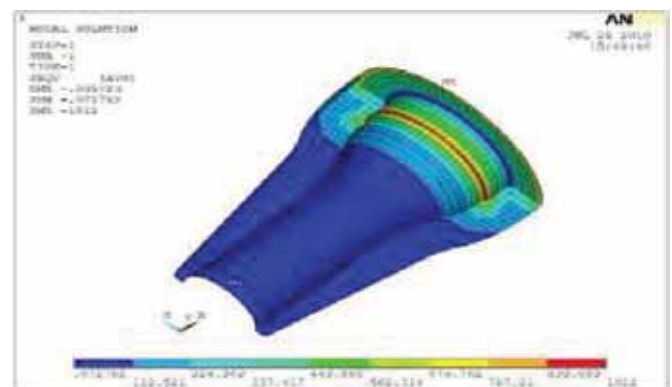


Рис. 11 Температурные напряжения на нижней стороне волнообразователя установки А

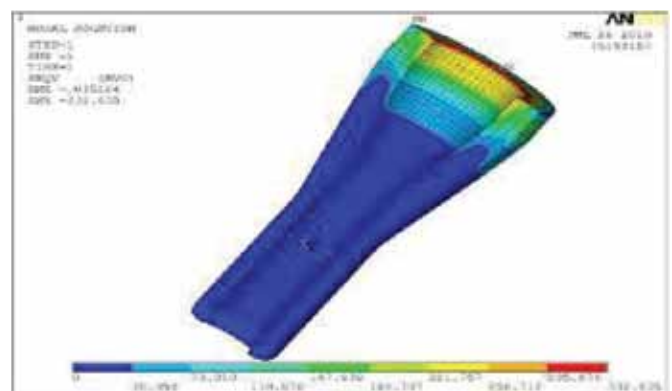


Рис. 12 Температурные напряжения на нижней стороне волнообразователя установки Б

ходит на кончики обоих волнообразователей, именно поэтому в процессе их эксплуатации в первую очередь постепенно изнашивается именно эта часть. При этом степень и характер износа кончика напрямую влияют на стабильность миниволны припоя и, соответственно, на время жизни волнообразователя, отличное для волнообразователей различных конструкций.

На рис. 11 и 12 представлены результаты моделирования температурных напряжений, приходящихся на нижнюю часть волнообразователей установок. Фиксация волнообразователя А на ванне с припоем производится с помощью винтовой нарезки, проделанной в его нижней части. В установке Б винтовая нарезка в волнообразователе отсутствует, здесь фиксация осуществляется благодаря магнитной платформе в верхней части ванны с припоем.

Как можно увидеть на рис. 11, максимальное температурное напряжение приходится именно на область винтовой нарезки. Величина этого напряжения намного больше, чем для волнообразователя установки Б (рис. 12). Это объясняет тот факт, что периодически возникают сложности при снятии волнообразователя А в процессе технического обслуживания или при переходе на другой тип



насадки. В свою очередь, благодаря меньшему температурному напряжению, приходящемуся на нижнюю часть волнообразователя установки Б, его намного проще менять и обслуживать.

СПОСОБ ПОДАЧИ АЗОТА

В технологии селективной пайки подача азота является обязательным условием. Азот подается непосредственно на выводы компонента, которые впоследствии должны быть припаяны. Использование азота уменьшает окисление припоя и снижает образование шлама. В свою очередь, минимальное окисление припоя позволяет добиться наиболее стабильной и предсказуемой миниволны припоя на кончике волнообразователя. Только при таких условиях можно гарантировать качественную пайку штырьевых компонентов. Способ подачи азота, реализованный для участвующих в исследовании установок, можно увидеть на рис. 13 и 14.

В установке А азот подается в область пайки непосредственно из колпачка распыления азота. Однако в случае его повреждения припой может забить канал подачи азота, что приведет к повышенному окислению припоя и некачественной пайке компонентов.

Для установки Б подача азота осуществляется непосредственно на волнообразователь через специальное азотное кольцо (рис. 14). Таким образом, контакт припоя, стекающего по всей поверхности волнообразователя с воздухом, сведен к минимуму, что снижает вероятность образования шлама.

КОНСТРУКЦИЯ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ

Требования к конструкции ПУ для селективной пайки, главным образом, сводятся к свободному пространству вокруг паяных соединений штырьевого компонента, подлежащего пайке. В данном исследовании в связи с недостатками конструкции ПУ было выявлено смывание некоторых поверхностно-монтажных компонентов, слишком близко расположенных к выводам штырьевых компонентов со стороны пайки.

Для исключения смывания компонентов поверхностного монтажа



Рис. 13 Подача азота в установке А



Рис. 14 Подача азота в установке Б

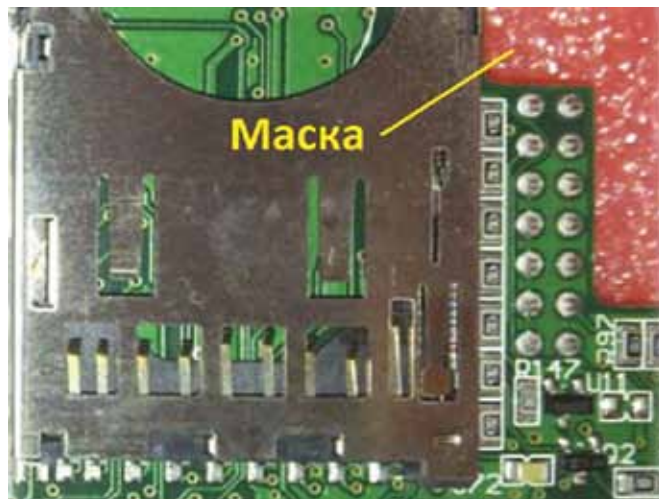


Рис. 15 Близость компонентов поверхностного монтажа к области пайки штырьевого компонента

во время пайки пришлось применить их маскирование. На рис. 15 можно увидеть пример такого маскирования. Расстояние между поверхностно-монтажными компонентами и контактными площадками для штырьевых компонентов в данном случае составляет менее 1,2 мм.

В случае непродуманной конструкции ПУ во время селективной пайки также возможно образование перемычек припоя между контактными площадками или выводами штырьевых компонентов (рис. 16). Перемычки припоя возникают, когда припой не полностью отделяется от двух и более выводов перед последующим отверждением. Это, в свою очередь, может приводить к последующим коротким замыканиям и отказу работоспособности всего изделия.

Для предотвращения возникновения вышеперечисленных проблем рекомендуется разрабатывать конструкцию печатного узла с учетом следующих рекомендаций: выводы штырьевых компонентов должны быть как можно короче, контактные площадки – минимального размера, причем рекомендуется закладывать круглую форму площадок вместо квадратной. Также обязательно нужно учитывать рекомендации производителя оборудования к конструкции ПУ, подлежащего пайке. ■

Продолжение в следующем номере.

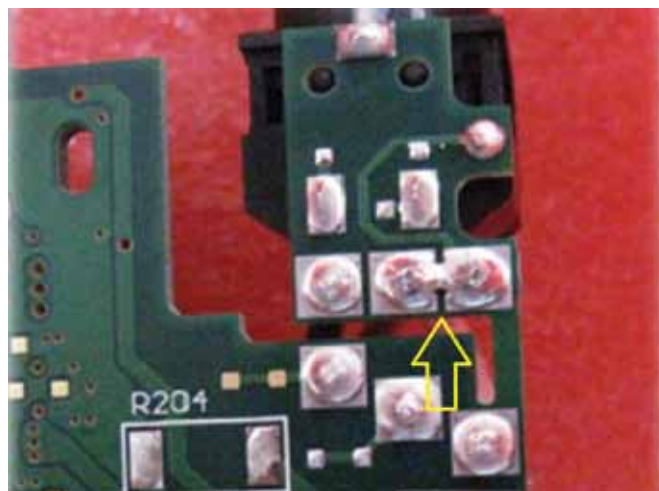


Рис. 16 Проблема образования перемычек