

Вторая жизнь технологии пайки волной

Часть 1

О. Вахрушев¹

УДК 621.791.3 | ВАК 05.27.06

Что мы знаем о групповой пайке волной? При упоминании этого процесса у большинства предприятий в первую очередь возникают негативные ассоциации: пенный флюсователь флюсует всю нижнюю поверхность печатного узла; нужно загружать много припоя; с поверхности припоя необходимо удалять шлам; если речь о платах, на которых присутствуют SMD-компоненты на обеих сторонах узла, приходится разрабатывать защитные паяльные маски под каждый тип изделия, а это дорого и трудозатратно. И так далее и тому подобное. В силу этих и других соображений укрепилось представление, что групповая волна оправдана только на серийных проектах. Поэтому среди российских производителей, осуществляющих автоматизированный монтаж в отверстия, всё более проявляется склонность к технологии селективной пайки мини-волной, а классическая пайка волной всё чаще остается «за бортом».

В первой части статьи попробуем разобраться, насколько эта тенденция оправдана, рассмотрим оборудование для обоих техпроцессов и сравним их по стоимости владения и производительности.

Технология пайки штыревых компонентов волной припоя была разработана в Европе в 1950-х годах и используется в основном для монтажа в отверстия компонентов, расположенных на одной стороне платы. В настоящее время в мире для пайки штыревых компонентов широко применяются две технологии – групповой пайки волной и селективной пайки мини-волной припоя, которая, в свою очередь, появилась сравнительно недавно – в 1990-х годах. Существуют также такие экзотические процессы, как селективная пайка лазером или горячим газом.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОЙ ПАЙКИ МИНИ-ВОЛНОЙ

В России оборудование селективной пайки мини-волной широко представлено автоматизированными установками немецких компаний Seho и Kurtz Ersa, которые, в общем, имеют одинаковую идеологию построения.

Автоматы включают в себя три модуля: флюсования, предварительного нагрева и, собственно, пайки.

Модуль флюсования представляет собой каплеструйный электромагнитный флюсователь (рис. 1), который перемещается по плоскости и работает по принципу мелкодисперсного распыления. Флюс наносится только

в область пайки вывода компонента с заданной дозировкой, что позволяет избежать загрязнения соседних компонентов и значительно снизить содержание флюсового тумана. Применяемый флюс должен удовлетворять следующим требованиям:

- тип флюса – спиртовой или на водной основе;
- содержание твердых веществ не более 5%, что связано с диаметром калиброванного отверстия в форсунке распылителя, составляющим несколько десятков микрометров.

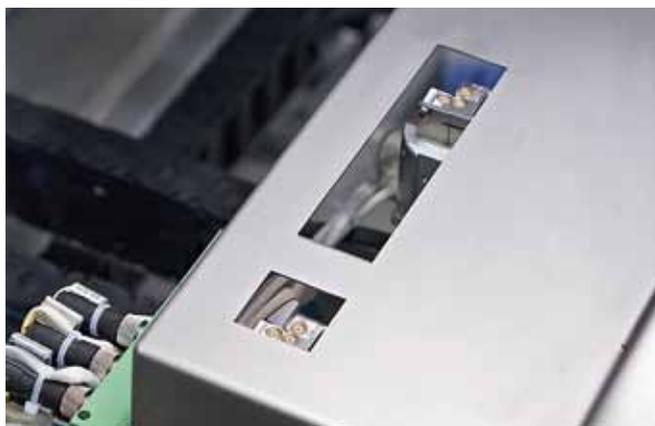


Рис. 1. Внешний вид каплеструйного флюсователя

¹ olegwah@gmail.com.



Рис. 2. Модуль предварительного нагрева печатной платы

Модуль предварительного нагрева (рис. 2) реализуется на базе нескольких кварцевых излучателей, работающих в ИК-диапазоне и располагающихся под печатной платой. Опционально оборудование может оснащаться ИК-излучателями также и с верхней стороны. Число одновременно включенных излучателей, мощность и длительность излучения регулируются программно. Целями предварительного нагрева являются:

- активация флюса для более интенсивного удаления окислов с паяемых поверхностей;
- предотвращение термоудара печатной платы при пайке.

Основной модуль пайки – «сердце» всей установки. Рассмотрим его более подробно. Он представляет собой ванну с припоем, рассчитанную обычно на загрузку 15–20 кг, и прецизионного электромагнитного насоса, который обеспечивает стабильную высоту мини-волны. Пополнение ванны происходит в автоматическом режиме – с катушки проволоочного припоя с диаметром проволоки 2 или 3 мм. Мини-волна формируется на так называемых волнообразователях (насадках), которые делятся на смачиваемые и несмачиваемые (рис. 3).

Смачиваемые насадки – это насадки, которые смачиваются припоем равномерно по всей их поверхности. Они позволяют осуществлять пайку штыревого компонента при перемещении мини-волны в любом направлении.

Внутри ванны припоя и вокруг волнообразователя создается защитная среда инертного газа – азота с чистотой 10–20 ppm (по остаточному кислороду). Наличие «шапки» из чистого азота позволяет снизить образование шлама в ванне с припоем, а также увеличить ресурс волнообразователя. При снижении чистоты азотной среды до 80–100 ppm обычно начинают возникать множественные дефекты паяных соединений, повышается расход припоя (так как увеличивается шламообразование) и сокращается срок службы волнообразователя (если применяется

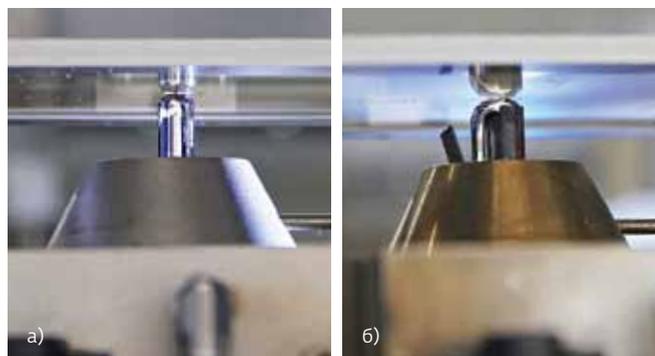


Рис. 3. Волнообразователи (насадки): а – смачиваемый, б – несмачиваемый

смачиваемый тип). Средний объем азота, потребляемого одной ванной припоя, составляет 2–4 м³/ч.

Средний ресурс работы волнообразователя смачиваемого типа в круглосуточном режиме работы (три смены по 8 ч) на свинцовом припое составляет порядка 1–2 мес., после чего его необходимо менять. Пайка бессвинцовыми материалами, которые требуют большей рабочей температуры, чем свинцовые припои, и низкая чистота азота сокращают и без того небольшой ресурс работы волнообразователя, стоимость которого составляет от 150 до 250 долл. за штуку.

Для увеличения производительности установки селективной пайки мини-волной оборудуют комплектом из двух связанных между собой ванн припоя. Возможно также расширение до двух-трех таких комплектов в одной установке, то есть суммарно до шести ванн припоя, и более. Взаимосвязь между собой двух ванн, работающих в паре, может накладывать свои ограничения по минимальным и максимальным размерам групповой заготовки печатных плат и их количеству в заготовке.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГРУППОВОЙ ПАЙКИ ВОЛНОЙ

Оборудование групповой пайки волной в течение прошедших 70 лет не стояло на месте, а совершенствовалось и развивалось (рис. 4). Современные системы построены на тех же базовых принципах, что и установки селективной пайки мини-волной. Они включают в себя модуль флюсования, модуль предварительного нагрева и модуль пайки волной. Более прогрессивное оборудование позволяет проводить пайку в так называемом азотном туннеле. В этом случае расход азота составляет от 15 до 20 м³/ч.

Модуль флюсования представляет собой струйный распылитель – форсунку. На простых установках объем флюса регулируется вручную. В отличие от флюсователей на установках селективной пайки мини-волной, у большинства установок групповой пайки волной флюсование



Рис. 4. Система групповой пайки волной MaxiWave 2340C от компании Seho

происходит по всей поверхности печатной платы или ее части, если пайка производится в технологических палетах со вскрытыми местами пайки. Но также существуют системы для селективного нанесения флюса, которые представляют собой отдельную единицу оборудования.

Модуль предварительного нагрева разбит на индивидуально программируемые зоны. Его длина может варьироваться от 0,8 до 3,3 м, что позволяет сформировать температурный профиль, необходимый для активации нанесенного на печатную плату флюса путем задания скорости конвейера, которая может достигать 2 м/мин и более. Современные установки групповой пайки волной (например, от компании Seho) могут оснащаться нагревателями типа Pulsar, обладающими высокой плотностью энергии и быстрым откликом (рис. 5).

Модуль пайки часто оснащается двойной волной припоя (двумя насадками). Различными комбинациями типов двух используемых насадок решаются разные задачи: пайка SMD-компонентов, монтаж многослойных плат большой толщины, пайка при высокой скорости конвейера и т.п. Если стоит задача за один проход припаять

на волне и чип-компоненты, зафиксированные с помощью клея, и штыревые компоненты, то, как правило, используется комбинация насадок, формирующих ламинарную и турбулентную волны.

Волна создается нагнетанием расплавленного припоя крыльчаткой электродвигателя, частота вращения которого контролируется программно. Также установки пайки волной оборудуются системами автоматического измерения и корректировки высоты волны (рис. 6).



Рис. 5. Нагреватель типа Pulsar

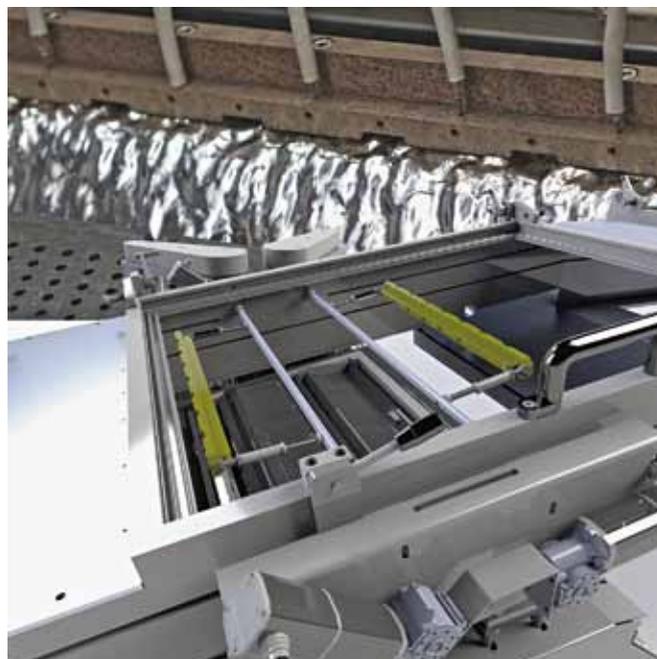


Рис. 6. Система автоматического измерения и корректировки высоты волны в установке групповой пайки волной

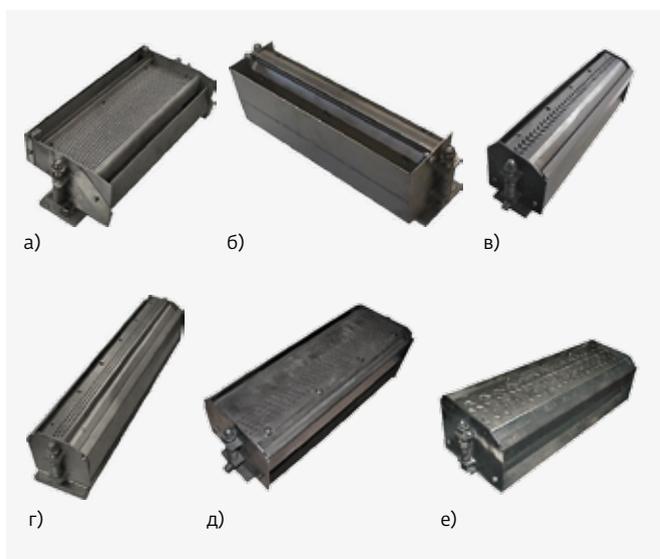


Рис. 7. Насадки для пайки волной компании Seho: а – дельта-волна; б – тип Chip; в – тип EnergyWave45; г – тип LW (узкая); д – тип LW (широкая); е – омега-волна

Насадки для пайки волной

Не углубляясь в детали, отметим, что насадок существует огромное множество. На рис. 7 приведены варианты насадок от компании Seho.

Помимо хорошего внешнего вида галтелей штыревого монтажа, не стоит забывать и о качественном заполнении припоем монтажного отверстия, для чего при подготовке к пайке волной, кроме правильно подобранного флюса и качественного прогрева изделия, необходимо позаботиться о выборе подходящих насадок с учетом скорости конвейера над волной, требуемого времени контакта припоя с платой и прочих аспектов.

При пайке одного изделия (одной рамки-носителя) может быть настроено до 16 индивидуально программируемых секторов (рис. 8).



Рис. 9. Головка флюсователя спрей-типа

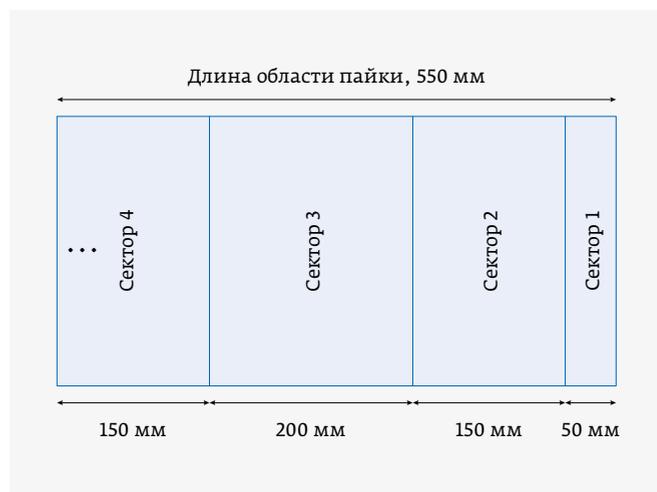


Рис. 8. Пример разделения области пайки на секторы

Виды флюсователей

Сегодня вряд ли можно найти на рынке установку для групповой пайки волной, оборудованную флюсователем пенного типа. Классическая установка имеет спрей-флюсователь (рис. 9), который наносит флюс снизу на всю поверхность печатной платы.

Однако отдельного внимания заслуживает внешний координатный флюсователь (рис. 10), выполняющий непрерывное селективное (избирательное) нанесения флюса в процессе движения изделия по конвейеру без его остановки.

Применение координатного флюсователя в совокупности с использованием паяльных масок – оснастки, обеспечивающей нанесение флюса и контакт волны припоя только в определенных областях печатной



Рис. 10. Координатный флюсователь SelectFlux

платы – позволяет уменьшить расходы флюса до 80%, а также существенно сократить частоту отмывки масок и рамок-носителей (оснастки).

Отметим, что термин «паяльная маска» широко используется для обозначения неудаляемых резистов на поверхности плат, в которых вскрыты окна над контактными площадками. В данной статье под паяльными масками (или просто масками) понимается именно оснастка для пайки волной. Подробнее паяльные маски рассмотрены в отдельном разделе статьи ниже.

Головки флюсователей серии SelectFlux (рис. 11) оборудованы насадками одновременно нескольких типов для решения широкого спектра задач.

Со скоростью селективного нанесения флюса могут быть связаны следующие опасения. На волне выгодно паять изделия с большим количеством точек пайки в пределах рамки-носителя, в которой может быть установлена одна или несколько плат. А при большом количестве точек пайки установка пайки волной будет простаивать, пока селективный флюсователь наносит флюс. Поэтому установки пайки волной продолжают



Рис. 11. Головка флюсователя серии SelectFlux

комплектоваться встроенным флюсователем спрей-типа, благодаря чему всегда имеется возможность выстроить производственный процесс наиболее эффективным способом: когда точек пайки много и нужна максимальная производительность, плата проходит селективный флюсователь в режиме bypass, а нанесение флюса выполняется спрей-флюсователем; в противном случае применяется селективный флюсователь, а встроенный модуль флюсования проходит в режиме bypass.

Таблица 1. Расчет стоимости владения для технологии групповой пайки волной на примере оборудования компании Seho (значения носят иллюстративный характер)

| Атмосфера | Окружающая атмосфера | Локальная подача азота | Азотный туннель | | | | |
|--|----------------------|----------------------------|-----------------|----------------|----------------------------|----------------|-----------------|
| | | | 5.0 (<10 ppm) | 5.0 (<10 ppm) | 4.0 (<100 ppm) | 5.0 (<10 ppm) | 4.0 (<100 ppm) |
| Качество азота | | 5.0 (<10 ppm) | 5.0 (<10 ppm) | 4.0 (<100 ppm) | 5.0 (<10 ppm) | 4.0 (<100 ppm) | 3.0 (<1000 ppm) |
| Оборудование | PowerWave | PowerWave с азотной шапкой | PowerWave N2 | | MaxiWave 2340C MWS 2300 | | |
| Количество производственных смен в сутки (8 ч в смену) | | | | 3 | | | |
| Количество рабочих дней в неделе | | | | 5 | | | |
| Количество рабочих часов в неделе | | | | 120 | | | |
| Потребление азота при <500 ppm остаточного кислорода, м³/ч | 0 | 17–22 | 15–20 | 15–20 | 15–22 | 15–22 | 15–22 |
| Цена азота, евро/м³ | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,11 | 0,15 | 0,11 | 0,08 |
| Затраты на азот в неделю, евро | 0,00 | 306,00 | 270,00 | 198,00 | 306,00 | 224,40 | 163,20 |
| Образование шлама за смену, кг | 2,00 | 1,00 | 0,40 | 0,70 | 0,10 | 0,40 | 1,40 |

| | | | | | | | |
|---|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Образование шлама за неделю, кг | 30,00 | 15,00 | 6,00 | 10,50 | 1,50 | 6,00 | 21,00 |
| Цена припоя, евро/кг | 25,00 | 25,00 | 25,00 | 25,00 | 25,00 | 25,00 | 25,00 |
| Возмещение за шлам, евро/кг | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 |
| Затраты на припой в неделю, евро | 660,00 | 330,00 | 132,00 | 231,00 | 33,00 | 132,00 | 462,00 |
| Время на переработку шлама в смену, ч | 0,7 | 0,4 | 0,2 | 0,4 | 0,1 | 0,3 | 0,5 |
| Время на переработку шлама в неделю, ч | 10,5 | 6,0 | 3,0 | 6,0 | 1,5 | 4,5 | 7,5 |
| Затраты на обслуживание (персонал), евро/ч | 70,00 | 70,00 | 70,00 | 70,00 | 70,00 | 70,00 | 70,00 |
| Затраты на переработку шлама в неделю, евро | 735,00 | 420,00 | 210,00 | 420,00 | 105,00 | 315,00 | 525,00 |
| Время технического обслуживания в неделю, ч | 12,0 | 7,5 | 2,3 | 3,5 | 1,1 | 2,8 | 9,0 |
| Затраты на техническое обслуживание (персонал), евро/ч | 70,00 | 70,00 | 70,00 | 70,00 | 70,00 | 70,00 | 70,00 |
| Затраты на техническое обслуживание в неделю, евро | 840,00 | 525,00 | 157,50 | 245,00 | 73,50 | 196,00 | 630,00 |
| Суммарные затраты в неделю, евро | 2 235,00 | 1 581,00 | 769,50 | 1 094,00 | 517,50 | 867,40 | 1 780,20 |
| Количество недель в году | 50 | | | | | | |
| Суммарные затраты в год, евро | 111 750,00 | 79 050,00 | 38 475,00 | 54 700,00 | 25 875,00 | 43 370,00 | 89 010,00 |
| Экономия в год, евро | | | | | | | |
| PowerWave N2 – PowerWave без азота (при комнатной температуре) | 73 275,00 | | | | | | |
| PowerWave N2 – PowerWave с азотной шапкой | 40 575,00 | | | | | | |
| MaxiWave 2340C/MWS 2300 – PowerWave N2 | 12 600,00 | | | | | | |
| MaxiWave 2340C/MWS 2300 – PowerWave без азота (при комнатной температуре) | 85 875,00 | | | | | | |
| Качество азота: 5.0 – 3.0 | 63 135,00 | | | | | | |

Таблица 2. Обобщенные сравнительные данные для оценки стоимости владения оборудованием

| Технология | Стоимость оборудования, тыс. долл. США | Форма припоя | Цена припоя, долл. США/кг | Расход азота, м ³ /ч | Периодичность замены волнообразователя**, мес. | Стоимость замены волнообразователя, долл. США | Необходимость в составлении программ |
|-------------------------------|--|--------------|---------------------------|---------------------------------|--|---|--------------------------------------|
| Групповая пайка волной | 60–200 | Брусковый | 40–45 | От 20 | 60–84 | 2 500 | Нет*** |
| Селективная пайка мини-волной | 120–300* | Проволочный | 50–60 | От 2 на одну ванну | 1–2 | 150–250 | Под каждый модуль |

* Зависит от количества ванн припоя.

** Значения для работы в три смены по 8 ч.

*** Не учитывается настройка режимов: подбор скорости конвейера, настройки флюсователя и групповой волны.

СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГРУППОВОЙ ПАЙКИ ВОЛНОЙ И СЕЛЕКТИВНОЙ ПАЙКИ МИНИ-ВОЛНОЙ

Стоимость владения

В табл. 1 приведен вариант расчета стоимости владения для технологии групповой пайки волной на примере оборудования компании Seho.

Обобщенное сравнение систем пайки волной и селективной пайки мини-волной с точки зрения стоимости владения приведено в табл. 2.

При использовании оборудования селективной пайки от компании Kurtz Ersa необходимо также применять адипиновую кислоту и флюс-гель в шприцах, а для оборудования Seho – УЗ-очистку и специализированные карандаши.

В табл. 2 не учтены затраты на так называемое азотное кольцо, которое применяется в некоторых установках селективной пайки (в частности, компании Kurtz Ersa). При работе в три смены его замена необходима каждые 2–3 мес., а его стоимость составляет порядка 300 долл.

Производительность

Сравнение ежедневных объемов выпуска электронных модулей на установке селективной пайки и групповой пайки волной приводится в табл. 3 на примере одного из ведущих производителей электроники в России.

Сравнение технологий по стоимости владения и производительности

Как видно из табл. 2, стоимость владения при применении селективной пайки мини-волной существенно выше. Эта технология требует периодической замены волнообразователей, обязательного наличия азота с чистотой 10–20 ppm, наличия у персонала квалификации для программирования оборудования. При

этом табл. 3 показывает, что производительность систем пайки групповой волной более чем в два раза выше, чем у систем селективной пайки (в данном примере – с четырьмя ваннами) и практически не зависит от сложности печатного узла и от количества изделий на групповой заготовке.

Так в чем же причина растущей популярности дорогих систем селективной пайки? Вызвана ли она желанием российских производителей электроники быть максимально гибкими? Где та грань, за которой стоит отдать предпочтение волновой пайке? И чем нужно руководствоваться отдавая предпочтение той или иной технологии?

Таблица 3. Сравнительные данные для оценки стоимости владения оборудованием

| Изделие | Количество точек пайки на печатной плате, шт. | Производительность, шт./сут. | |
|---------|---|------------------------------------|--------------------------------------|
| | | Селективная пайка* | Пайка волной |
| 1 | 55 | 600 (четыре платы одновременно) | 1 800 (четыре платы одновременно) |
| 2 | 85 | 500 (две платы одновременно) | 1 100 (одна плата) |
| 3 | 113 | 450 (две платы одновременно) | 1 100 (одна плата) |

* Установка селективной пайки на базе четырех ванн и четырех смачиваемых волнообразователей.

ПРИМЕНЕНИЕ ПАЯЛЬНЫХ МАСОК

Среди недостатков групповой пайки волной наиболее часто называется необходимость маскирования непаяемых областей печатной платы.

Давайте обратимся к конструкциям печатных плат, а именно – к расположению на них компонентов поверхностного монтажа и штыревых компонентов. Как правило, конструкторы печатных плат проектируют их, используя один из типов размещения компонентов, приведенных в табл. 4.

Последний тип – двусторонний смешанный с поверхностным монтажом с двух сторон – преобладает над остальными типами размещения компонентов. Однако при групповой пайке волной таких печатных узлов возникают сложности. Компоненты поверхностного монтажа, расположенные со стороны волны, должны быть защищены от соприкосновения с ней, что, как правило, выполняется с помощью специальных маскирующих материалов. Нанесение таких материалов – достаточно времязатратная процедура. При селективной пайке подобная защита не требуется, и это, как было сказано ранее, часто становится аргументом в пользу этой технологии.

Однако данный недостаток групповой пайки волной может быть устранен путем применения паяльных масок (рис. 12). Еще раз подчеркнем, что под паяльными масками здесь понимается не резист на поверхности платы, а специализированная оснастка.

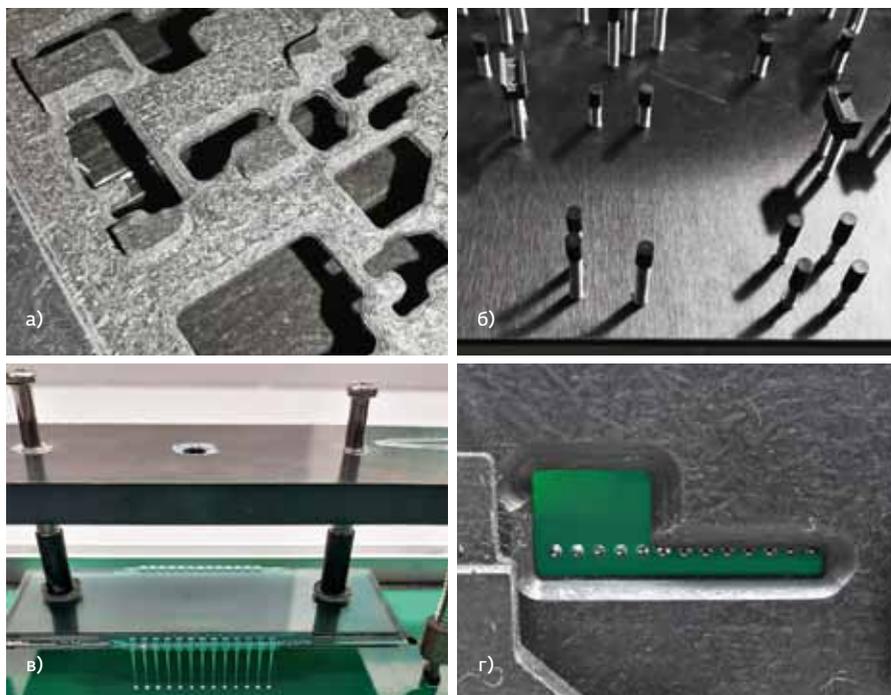


Рис. 12. Примеры паяльных масок из материала Durostone и их применения: а – паяльная маска; б – крышка с прижимами; в – плата, установленная на паяльной маске; г – окно в паяльной маске с установленной платой со стороны пайки

Компания «Глобал Инжиниринг» предлагает использовать для этих целей новейший материал Durostone (Дюростон), представляющий собой армированный специальным волокном пластик и обладающий прекрасными электроизоляционными и термоизоляционными характеристиками. Из данного материала легко получить маски под все перечисленные в табл. 4 типы монтажа с гарантированной стойкостью 10 тыс. и более циклов контакта с волной припоя. Маски из материала Durostone подойдут

Таблица 4. Типы размещения компонентов на печатных платах

| Тип размещения компонентов | Описание |
|---|--|
| Односторонний поверхностный | Компоненты поверхностного монтажа размещаются только на одной стороне печатной платы |
| Односторонний смешанный | Штыревые компоненты размещаются на той же стороне, что и компоненты поверхностного монтажа |
| Двусторонний смешанный с поверхностным монтажом с одной стороны | Штыревые компоненты размещаются на стороне противоположной компонентам поверхностного монтажа |
| Двусторонний смешанный с поверхностным монтажом с двух сторон | Компоненты поверхностного монтажа размещаются на обеих сторонах печатной платы; компоненты, монтируемые в отверстия, размещаются на одной (верхней или нижней) стороне |

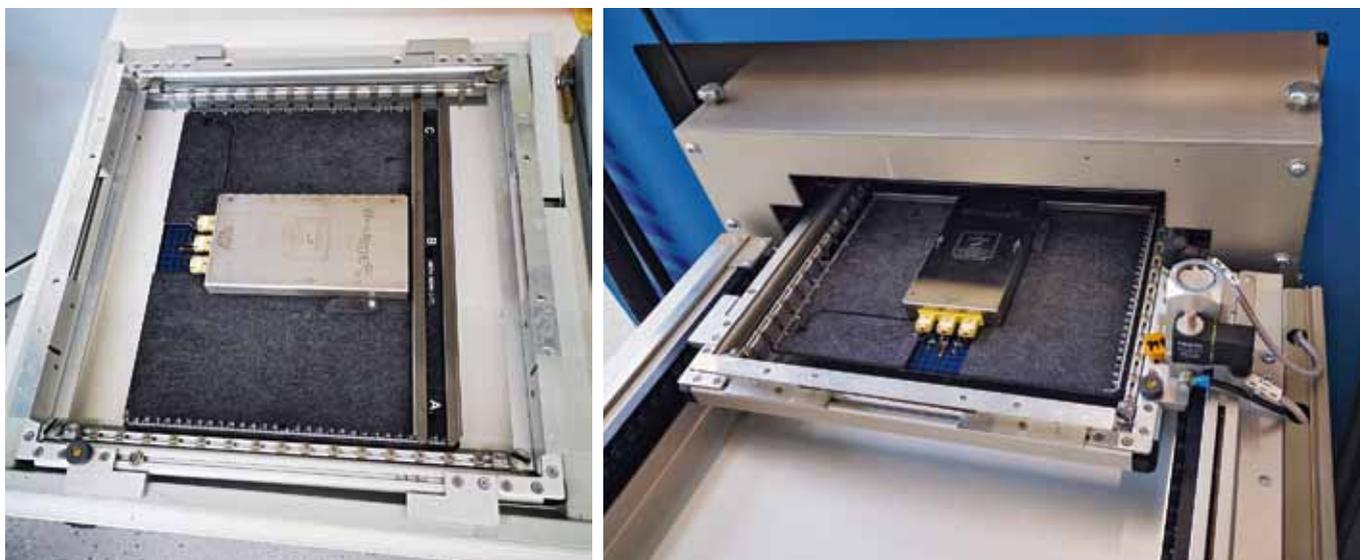


Рис. 13. Рамка-носитель для установок волновой пайки с тестовой палетой WaveRider

для работы с крупно- и среднесерийными изделиями, а также сложными и теплоемкими печатными платами.

Когда печатная плата размещена на паяльной маске, сверху может находиться специализированная быстросъемная крышка, посредством которой могут удерживаться легкие штыревые компоненты. Существует большое количество приспособлений, позволяющих фиксировать компоненты с помощью данной крышки.

Применение групповой пайки волной с использованием защитных паяльных масок из материала Durostone позволяет достигать более высокого качества и повторяемости в сравнении с селективной пайкой мини-волной, в том числе при обработке теплоемких, массивных и габаритных плат по следующим причинам:

- поверхность соприкосновения с волной намного больше, чем у единичного сопла; как следствие, обеспечивается более эффективная передача тепловой энергии;
- установки пайки волной, как правило, имеют несколько зон преднагрева (с нагревом только снизу или в комбинации с модулями верхнего нагрева), поэтому возможен более эффективный прогрев плат за более короткий промежуток времени, а также регулирование прогрева путем варьирования скорости конвейера в зоне преднагрева;
- селективная пайка требует большего предварительного нагрева платы. При большом количестве точек пайки рабочие свойства флюса со временем выработываются, и его активность может снизиться, даже если в зоне пайки используется дополнительный нагрев сверху, не позволяющий плате остывать.

Также можно отметить, что с помощью рамки-носителя (рис. 13) с паяльной маской или без нее можно

легко устранить проблему провисания крупногабаритного изделия или групповой заготовки. На правильно подобранной рамке при наличии в изделии технологических отверстий есть возможность обеспечить дополнительное крепление платы за счет верхней опоры типа «мостового крана». При размещении изделия на паяльной маске дополнительные приспособления для устранения провисания не требуются в принципе.

ВЫВОДЫ

Групповая пайка волной – хорошо отработанная технология для изготовления серийной продукции, обладающая более высокой производительностью и, в целом, меньшей стоимостью владения, чем селективная пайка мини-волной. Современное оборудование позволяет устранить проблему нанесения флюса на всю поверхность платы. Благодаря применению оснастки в виде паяльной маски также можно избежать необходимости в индивидуальном маскировании непаяемых областей, а современные материалы позволяют легко изготавливать паяльные маски для различных типов изделий. В то же время групповая пайка волной обладает преимуществами с точки зрения качества получаемых паяных соединений, в особенности при сборке массивных плат.

Всё это указывает на то, что данная технология, продолжая развиваться, остается предпочтительной для множества задач, прежде всего для серийного изготовления крупногабаритных и теплоемких печатных плат, в том числе смешанного монтажа.

Во второй части статьи рассмотрим более подробно организацию процесса групповой пайки волной с использованием современных решений. ●

19-я Международная выставка технологий,
оборудования и материалов для производства
полупроводников, электронных компонентов
и систем

12-14 апреля 2022

Москва, Крокус Экспо

electrontechexpo.ru

Получите билет
по промокоду **magazine**
на electrontechexpo.ru

