

Вторая жизнь технологии пайки волной

Часть 2

О. Вахрушев¹

УДК 621.791.3 | ВАК 05.27.06

В первой части статьи мы рассмотрели две конкурирующие технологии автоматизированной пайки компонентов, монтируемых в отверстия, – селективную пайку мини-волной и групповую пайку волной, и показали, что групповая пайка волной, несмотря на почтенный возраст данной технологии, активно развивается и для широкого спектра задач оказывается предпочтительной благодаря не только большей производительности, но и меньшей стоимости владения в сравнении с селективной пайкой, а также способности обеспечивать высокое качество паяных соединений даже при обработке больших массивных и сложных изделий (в том числе серверных и материнских плат). При этом основные недостатки данного метода, которые часто являются ключевым аргументом при выборе технологии и приводят к тенденции расширения применения на российских предприятиях селективной пайки, могут быть легко устранены.

Теперь обратим внимание на некоторые аспекты организации процесса групповой пайки волной с использованием современных решений, которые позволяют достичь высокого качества изделий.

КОНВЕЙЕР ДЛЯ ПЛАТ ИЛИ ДЛЯ РАМОК-НОСИТЕЛЕЙ?

Когда принято решение об организации монтажа штыревых компонентов на основе групповой пайки волной, одним из важных вопросов при выборе комплектации оборудования является определение того, какой будет использоваться тип конвейера. Установки групповой пайки волной могут быть оборудованы конвейерами различного типа, в частности позволяющими работать с платами непосредственно либо с платами, расположенными в рамках-носителях.

Чем привлекателен конвейер для транспортировки плат (так называемый пальчиковый конвейер)? Во-первых, это привычно. Во-вторых, такой подход позволяет построить сборочный техпроцесс непрерывного цикла, в котором платы с линии поверхностного монтажа поступают не в магазины-накопители «классического» разгрузчика, а непосредственно на конвейер установки штыревых компонентов и далее – в установку селективной пайки или групповой пайки волной.

Однако довольно часто перед монтажом и пайкой штыревых компонентов требуется выполнить отмычку печатных узлов с установленными SMD-компонентами или иные промежуточные технологические операции. Поэтому очень часто участок штыревого монтажа

и пайки располагается отдельно и независимо от участка, на котором находится автоматизированная линия поверхностного монтажа.

Пример рамки-носителя показан на рис. 14. Привлекательной (а иногда просто необходимой) чертой конвейера

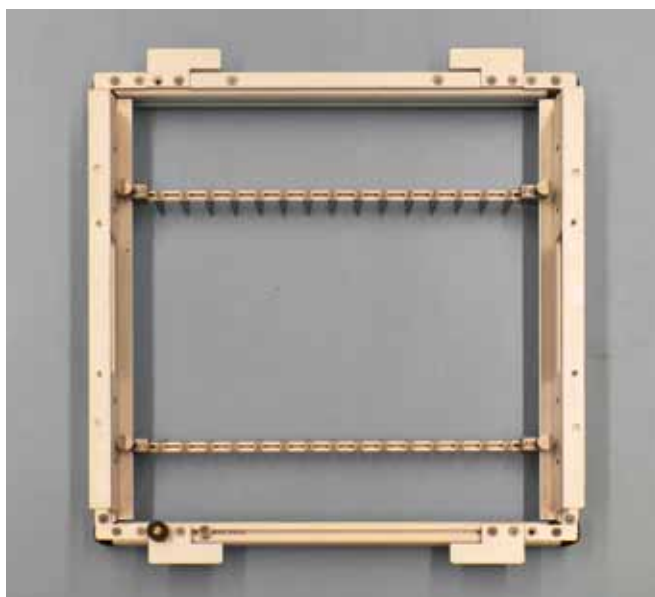


Рис. 14. Рамка-носитель для установки волновой групповой пайки PowerWave N2

¹ olegwah@gmail.com.

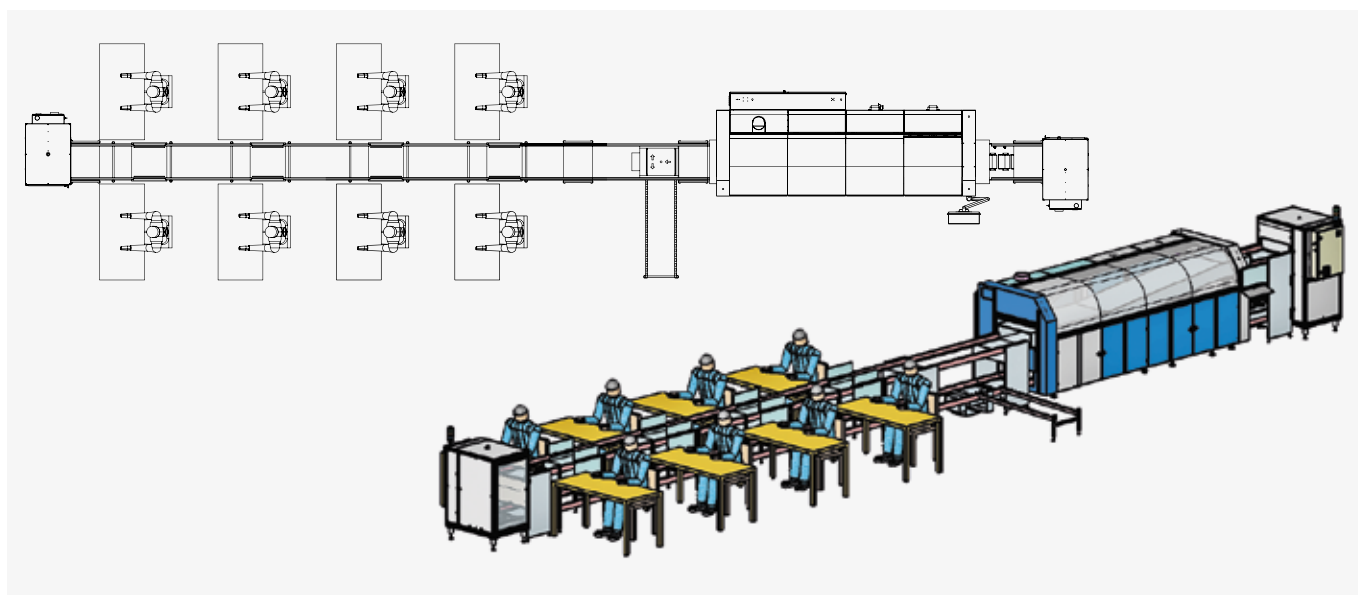


Рис. 15. Пример автоматизированного комплекса – линии штыревого монтажа и пайки

для работы с рамками-носителями прежде всего является возможность применения при пайке волной защитной паяльной маски, что было рассмотрено в первой части статьи [1]. Напомним, что для целей настоящей статьи под паяльными масками понимается не покрытие (резист) на поверхности платы, а специализированная оснастка, исключая контакт платы с флюсом и волной в тех областях, где это необходимо.

Еще одно преимущество данного типа конвейера – отсутствие необходимости регулировать его ширину всякий раз при смене типа выпускаемого изделия.

Отметим, что применение рамок-носителей позволяет осуществлять одновременную сборку разных изделий (плат или мультиплицированных заготовок) на одной линии групповой пайки волной. Разберем на примере, какую пользу это может приносить.

Допустим, сборочный конвейер содержит восемь рабочих мест монтажников (рис. 15). Можно распределить нагрузку так, чтобы монтажники успевали собирать изделия для постоянной загрузки волны. Это можно сделать, например, следующим образом: первая группа монтажников (Группа 1) собирает изделия одного типа (тип А), а вторая группа монтажников (Группа 2) – другого (тип В) (рис. 16). Допустим, что изделие типа А имеет высокую трудоемкость сборки и его размер 200×300 мм, а изделие типа В имеет более низкую трудоемкость сборки, но его размер 350×400 мм, и для пайки штыревых компонентов изделия типа В необходимо применение защитной паяльной маски из материала Durostone.

Количество изделий в одной рамке-носителе зависит от габаритов платы и от выбранного размера самой рамки, равно как и от максимальной рабочей ширины

волны. При этом, как было отмечено, вся линия штыревого монтажа и пайки, рассчитанная на работу с рамками-носителями, позволит размещать в этой оснастке как платы, расположенные на защитной паяльной маске, так

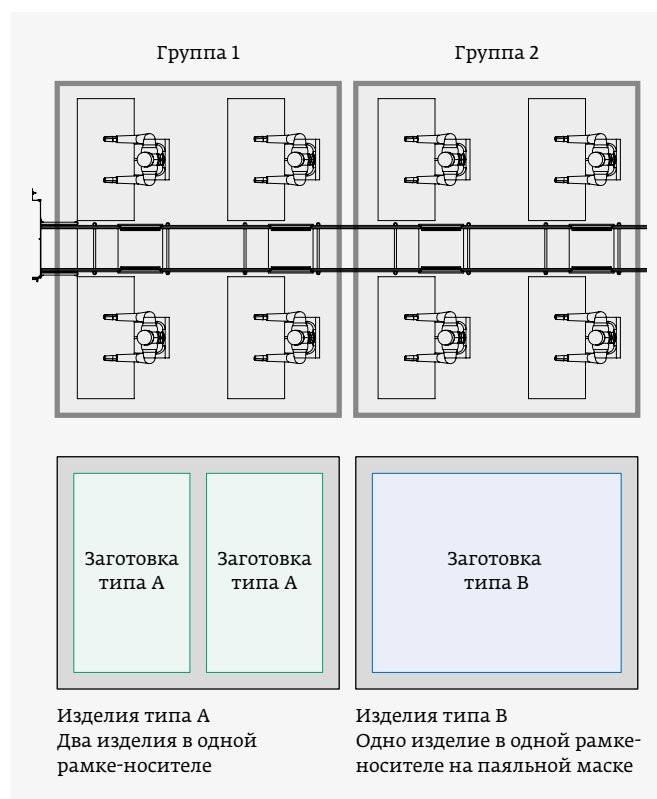


Рис. 16. Пример распределения монтажников по двум группам и размещения изделий в рамке-носителе

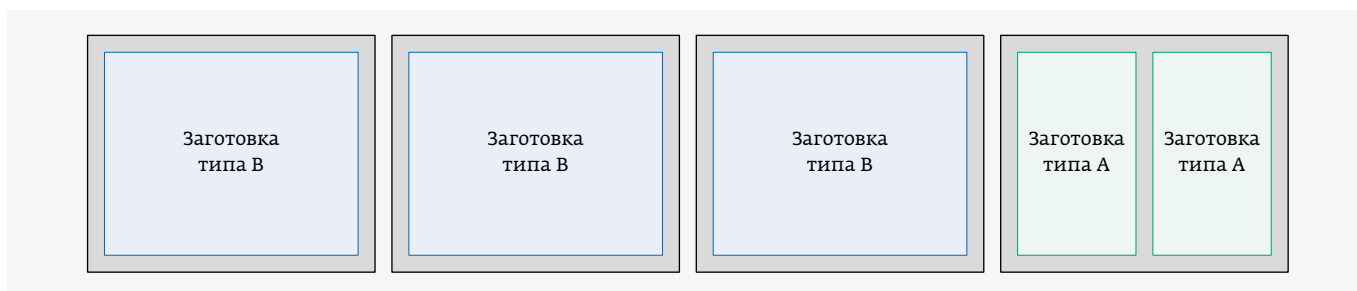


Рис. 17. Схема поступления рамок-носителей с платами в установку групповой пайки волной

и платы без каких-либо масок и прочих подобных средств. Поэтому если в нашем примере необходимо, чтобы изделия типа В паялись с использованием маски, а изделия типа А – без применения паяльной маски, то для изделий обоих типов может применяться одна оснастка (один тип рамки-носителя). Размер рамки-носителя прием равным 400×500 мм.

Учитывая вышесказанное, мы получаем ситуацию, при которой на конвейер установки пайки волной будут поступать последовательно одна за одной три рамки-носителя с платами типа В на паяльной маске, а затем одна рамка-носитель с платами типа А без паяльной маски, потом снова три рамки-носителя с платами типа В и т. д. (рис. 17).

Возникает вопрос: «Будут ли рабочие программы установки групповой пайки волной разными для изделий типа А и типа В?». Наиболее вероятно, что ответ на него будет положительным, как минимум потому что в случае пайки плат на паяльной маске нужно обеспечить более длительный предварительный нагрев и более высокую волну.

Как быть в этом случае? Ответ прост: необходимо оснастить рамку-носитель RFID-метками, чтобы установка пайки волной к моменту входа в нее очередной рамки-носителя имела информацию, с какими режимами и настройками необходимо ее обрабатывать. В нашем примере RFID-метки будут двух типов (по числу типов изделий), каждый из которых будет соответствовать одной из двух программ обработки.

Добавим, что преимуществом применения «интеллектуальной» оснастки с RFID-метками является также то, что рамки-носители можно останавливать на конвейере в позиции, удобной для монтажника или группы монтажников для выполнения установки компонентов на изделие соответствующего типа.

ПРИМЕНЕНИЕ И СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ АЗОТА

Промышленное применение газообразного азота обусловлено его инертными свойствами. Газообразный азот пожаро- и взрывобезопасен, препятствует окислению, гниению. В последнее время, помимо пайки при сборке электронных изделий, азот широко используется

в процессах автоматической плазменной и лазерной резки и других областях.

В производстве электроники азот может быть необходим или рекомендован для классической конвекционной пайки, желателен для групповой пайки волной и обязателен для селективной пайки.

Для селективной пайки применяется азот класса чистоты 5.0, что соответствует чистоте 99,999 или 10 ppm по остаточному кислороду*.

При групповой пайке волной существует два варианта обеспечения пайки в азотной среде – азотный туннель и азотная шапка. Примеры применения азота различной чистоты приведены в первой части статьи (табл. 1) [1].

Использование азота снижает расход припоя, так как образуется меньше шлама и во время пайки правильно формируется мениск. В зависимости от области применения экономия может быть значительной. Кроме того, азотный туннель позволяет увеличить производительность. Так, средняя скорость работы в системе пайки волной в окружающей атмосфере с длиной зоны предварительного нагрева 1800 мм составляет около 1 м/мин, тогда как в аналогичной системе с азотным туннелем она достигает 1,2 м/мин. Чем длиннее туннель нагрева, тем более высокая скорость пайки может быть получена. Она может достигать 2 м/мин и более.

В сравнении с азотным туннелем, применение азотной шапки характеризуется существенно большим расходом припоя из-за шламообразования и худшей стабильностью процесса, а следовательно, более низким качеством пайки.

Основным источником азота является атмосферный воздух, в котором его содержится около 78%. Для промышленного производства азота используют три основных метода: метод короткоциклового безнагревной адсорбции (адсорбционные азотные установки, генераторы азота), криогенную ректификацию и мембранную технологию.

* Для справки: 10 ppm по остаточному кислороду означает объемную долю кислорода в смеси 0,001%; соответственно, объемная доля азота составляет 99,999% (доли других газов в смеси пренебрежимо малы).

Принцип работы адсорбционных установок основан на поглощении компонентов газовой смеси поверхностью твердого тела (адсорбента) за счет сил межмолекулярного взаимодействия. При этом скорость поглощения азота в десятки раз ниже скорости поглощения кислорода.

Современные углеродные молекулярные сита, используемые в данном методе, позволяют получать азот чистотой до 99,9995%, а в некоторых случаях и до 99,9999%. При этом удельные энергозатраты на производство азота чистотой 99,99% в среднем составляют 0,75 кВт·ч/м³. Стандартно давление получаемого азота – 7–8 бар. Адсорбционные установки работают полностью в автономном режиме. В случае прекращения потребления азота они переходят в режим ожидания без потерь качества получаемого газа.

Производительность азотных адсорбционных установок варьируется от нескольких литров до сотен кубических метров в час. Срок эксплуатации установок без замены адсорбента составляет не менее 10–15 лет.

Криогенные установки позволяют осуществлять комплексное разделение воздуха с извлечением всех его компонентов при относительно небольших удельных затратах энергии. Метод криогенной ректификации, протекающий при температуре около –200 °С, целесообразно использовать при разделении воздуха в объемах не менее 1000 м³/ч, то есть при получении достаточно больших

количеств азота и кислорода. При этом продукты разделения воздуха можно получать как в газообразном, так и в жидком виде. Получаемый азот имеет концентрацию от 98 до 99,9995%. Основными недостатками таких установок является невозможность остановки оборудования при прекращении потребления получаемых продуктов и необходимость периодической остановки оборудования для его отогрева, ремонта и профилактики. Кроме того, установки требуют квалифицированного круглосуточного обслуживания. Рабочий цикл криогенных установок составляет от нескольких месяцев до года. Продолжительность регламентных работ может составлять несколько недель.

Мембранные технологии, появившиеся сравнительно недавно, используются для получения азота чистотой 95...99,9%. В основе мембранных систем лежит разница в скорости проникновения компонентов газовой смеси через мембраны. Существенным недостатком мембранных установок является процесс деградации мембран, то есть снижение производительности мембранного картриджа. В первый год эксплуатации снижение составляет до 10%, далее скорость деградации незначительно уменьшается. Для компенсации неизбежного процесса деградации мембран производители часто переразмеривают установку, строя ее с запасом, что также приводит к увеличению расхода сжатого воздуха. К дополнительным

Seho PowerWave N2

волновая пайка в азотной среде



- подходит для любой серии плат
- роликовый конвейер
- работа с рамками-носителями
- азотный тоннель
- гибкая конфигурация преднагрева
- высококачественная область пайки
- авторегулировка высоты насадок
- эффективная система управления
- непрерывный мониторинг пайки

- генератор азота со скидкой 5%
- заправка припоем со скидкой 15%
- «пробники» флюса для подбора режимов пайки — бесплатно!
- дизайн защитной паяльной маски под изделие в подарок!
- отладка техпроцесса во время ПНР с палетой waverider — бесплатно!
- обучение технологиям пайки штыревых компонентов (спец. курс)

2
ГАРАНТИЯ

Специальные условия контракта *

+7 (495) 980-0819 global-SMT.ru

Оборудование для производства радиоэлектроники



Глобал Инжиниринг

недостаткам мембранной технологии можно отнести следующие: более низкая энергоэффективность в сравнении с адсорбционной технологией; процесс разделения воздуха идет при более высоком давлении, чем в адсорбционных установках, следовательно, на сжатие воздуха тратится больше электроэнергии; для нормальной работы мембранного модуля воздух на него должен подаваться подогретым до температуры 40...55 °С, что так же влечет дополнительный расход электроэнергии; относительно низкая чистота получаемого азота. Энергозатраты на получение азота чистотой 99,5% в таких установках в среднем составляют более 1,0 кВт·ч/м³ [2].

Некоторым пользователям использование покупного азота удобно из-за отсутствия ограничений потребляемых объемов, а также затрат на обслуживание азотного генератора и компрессора. В то же время использование баллонного азота оправдано лишь при очень малом и нерегулярном потреблении газа. При этом надо иметь в виду, что стоимость азота в баллонах с учетом логистических затрат в 8–10 раз выше, чем при его получении методом адсорбции. Особенные неудобства вызывает транспортировка баллонов, поскольку один баллон весит около 70 кг.

КОНТРОЛЬ И МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССА ПАЙКИ ВОЛНОЙ

При эксплуатации полноценного автоматизированного комплекса – линии штыревого монтажа и пайки, для обеспечения стабильно высокого качества необходимо выполнение контроля и мониторинга техпроцесса.

Контроль за процессом флюсования

Прежде всего отметим, что идеального флюса не бывает: либо он не обеспечивает необходимого качества пайки, но при этом легко смывается, либо он демонстрирует отличные результаты пайки, но его остатки заметны на готовом печатном узле или плохо удаляются (если отмывка изделия необходима). Процессы пайки и отмывки можно оптимизировать для конкретного используемого флюса, обеспечив приемлемое количество наносимого флюса и равномерность его нанесения путем юстировки флюсователя и скорости конвейера. Количество и качество (равномерность) нанесения флюса можно настроить с помощью специализированного инструмента – флюсометра, состоящего из рамки, текстолитового шаблона (платы



Рис. 18.
Флюсометр
от компании
ECD

с множеством сквозных отверстий) и индикаторной бумаги (рис. 18).

Рассмотрим конкретный практический пример. На одном из предприятий с помощью флюсометра был получен результат, показанный на рис. 19а. На индикаторной бумаге видны полосы флюса (так называемая «зебра»), что свидетельствует о том, что: количество флюса явно избыточно; головка флюсователя движется в обратном направлении вхолостую (либо изделие перемещается по конвейеру над флюсователем слишком быстро). После юстировки флюсователя и скорости конвейера был получен приемлемый результат, показанный на рис. 19б.

Контроль за процессом преднагрева и групповой пайки волной с помощью термопрофайлера

Настройка процесса пайки волной сравнительно трудоемкая. Для упрощения данной процедуры и обеспечения высокой повторяемости процесса целесообразно

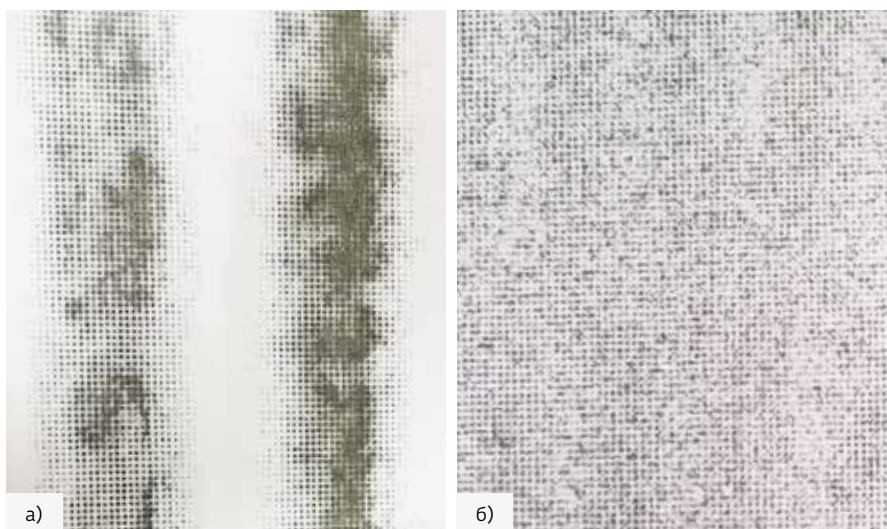


Рис. 19. Результаты контроля нанесения флюса с помощью флюсометра: а – до юстировки флюсователя и коррекции скорости конвейера, б – после оптимизации параметров нанесения флюса

использовать специализированную тестовую палету для термопрофилирования, обеспечивающую контроль параметров на всех этапах пайки волной, включая температуру предварительного нагрева, скорость конвейера, высоту волны, температуру волны в точках касания с изделием, повторяемость и параллельность волны и длительность контакта с волной. Примером такого устройства служит тестовая палета WaveRider от компании ECD (рис. 20).

WaveRider является дополнительным инструментом для пользователей термопрофайлеров серии SuperM.O.L.E. Gold 2. Устройство WaveRider NL 2 может применяться и при бессвинцовой пайке: защитный термобарьер, в который помещается профайлер, обеспечивает его достаточную защиту от перегрева.

Тестовый купон выполнен из бессвинцового полиимида.

Использование WaveRider не требует длительной подготовки: шестиканальный термопрофайлер помещается в защитный термобарьер с подключением к палете в режиме plug and play, нажимается кнопка включения, профайлер сигнализирует, что его подключили к тестовой палете и опрашивает все термопары, далее нажимается отдельная кнопка старта начала записи, закрывается крышка термобарьера на защелку и устройство помещается в рамку-носитель вместо изделия.

На рис. 21 показано расположение термопар в купоне. Первая термопара – нижнего уровня – устанавливается в купон настолько близко к нижней поверхности, насколько это возможно без повреждения его целостности. Термопара припоя помещается по нижнему срезу купона так, чтобы происходил контакт с припоем. Термопара верхнего уровня устанавливается в купон вблизи верхнего края.

После прохождения тестовой палеты WaveRider через установку групповой пайки волной следует открыть крышку термобарьера, выключить термопрофайлер длительным нажатием на кнопку включения до гашения индикатора, подключить устройство к ПК и выгрузить информацию. Полученные данные позволяют в полной мере проанализировать процесс пайки волной, сравнить



Рис. 20.
Тестовая палета WaveRider с открытой крышкой термобарьера

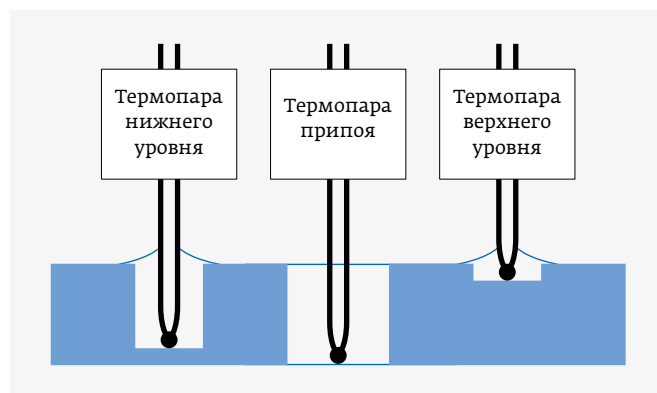


Рис. 21. Расположение термопар в купоне

его с прошлыми результатами и произвести необходимые регулировки.

Применять флюсометр и тестовую палету WaveRider желательно в начале каждой рабочей смены, а также при каждой смене изделия (переналадке линии). Весь процесс займет примерно 3–5 мин.

ИНСПЕКЦИЯ КАЧЕСТВА ПАЙКИ ШТЫРЕВОГО МОНТАЖА

Работа с платами в рамках-носителях накладывает определенные ограничения на применение классических систем автоматической оптической инспекции (АОИ). Кроме того, при применении классических систем АОИ необходимо переворачивать изделие, поскольку инспекция производится ими по стороне платы, расположенной сверху.

Также можно отметить, что может быть необходима инспекция изделия одновременно с двух сторон и (или) желательна проверка до пайки, например, на предмет наличия или отсутствия компонентов, правильности их полярности и маркировки, наличия вылета выводов со стороны пайки.

Системы рентгеновского контроля, с помощью которых проверяется заполнение монтажных отверстий припоем и оценивается количество пустот в паяном соединении, в данной статье оставим за скобками.

Существует два основных типа автоматических систем инспекции штыревого монтажа: сканерные системы АОИ и классические системы 2D-АОИ. Оба типа систем позволяют интегрировать их в возвратный конвейер, что позволяет с помощью одной установки решать сразу несколько задач (проводить инспекцию до пайки волной и после нее), при этом экономя площадь производственного помещения.

Для автоматической сортировки годных и забракованных плат к подобной системе АОИ могут быть подсоединены два конвейера под углом 90° – один до пайки волной (сверху) и второй на возвратном конвейере (снизу).



Рис. 22. Система АОИ PowerVision от компании Seho

На данные конвейеры рамки-носители с платами, на которых АОИ были найдены несоответствия, скатываются под действием собственной тяжести.

Пример такой установки АОИ – PowerVision от компании Seho – продемонстрирован на рис. 22. На рис. 23 показано внутреннее пространство установки PowerVision. Трехуровневая система PowerVision изображена на рис. 24.

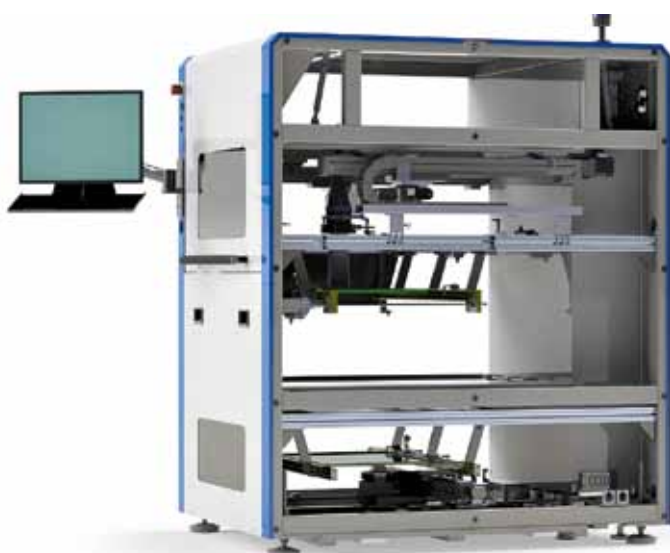


Рис. 24. Трехуровневая АОИ PowerVision от компании Seho



Рис. 23. Внутреннее пространство системы АОИ PowerVision

В трехуровневой системе АОИ PowerVision по пути в установку пайки волной, то есть на верхнем конвейере, расположен модуль инспекции сверху, выполняющий проверку наличия штыревого компонента, чтение маркировки или проверку корректности размещения верхней крышки, и модуль инспекции снизу, который проверяет наличие вылета выводов. По пути после установки пайки волной, то есть на нижнем (возвратном) конвейере, присутствует модуль инспекции снизу, который проверяет качество пайки штыревых компонентов.

В данной части статьи рассмотрены варианты автоматической оптической инспекции. Но следует иметь в виду, что существует много разных способов проведения проверки правильности установки на изделие компонентов перед тем, как оно попадет в систему пайки волной, – так называемого pre-wave-контроля. Данный



Рис. 25. Пример контроля правильности полярности разъема с помощью верхней крышки

контроль может осуществляться посредством верхней быстросъемной крышки, которая не только фиксирует установленные в отверстия компоненты, но и не может быть закрыта до щелчка, если не все компоненты размещены на своих местах или не соблюдена их полярность (рис. 25).

ПРИМЕР РАСЧЕТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЛИНИИ ГРУППОВОЙ ПАЙКИ ВОЛНОЙ

Как говорилось выше, групповая пайка волной позволяет работать одновременно с изделиями различных типов. Производительность можно рассчитать исходя из скорости конвейера и количества печатных плат в одной рамке-носителе. Напомним, что производительность процесса групповой пайки волной, как было показано в первой части статьи, практически не зависит от количества точек пайки штыревых компонентов.

Рассмотрим пример организации групповой пайки волной одного типа изделий (тип А) с параметрами, приведенными в табл. 5.

В рамку-носитель устанавливаются две заготовки изделия типа А так, что длинная сторона заготовки располагается по ширине рамки-носителя (рис. 26).

При расчете по умолчанию принимается, что расстояние между соседними рамками-носителями на конвейере равно длине одной рамки, то есть составляет 500 мм, хотя на практике оно может быть уменьшено до 300 мм (этот параметр сильно зависит от скорости работы монтажников и их количества). Установка групповой пайки волной будет автоматически запускать рамки-носители «на волну» в соответствии с установленными оператором значениями шага между соседними рамками.

При таких исходных данных производительность линии составит 240 заготовок изделий типа А в час:

$$n \cdot \frac{v}{l+s} = 2 \cdot \frac{2 \cdot 10^3}{500+500} \approx 4 \text{ шт./мин.} \approx 240 \text{ шт./ч.}$$

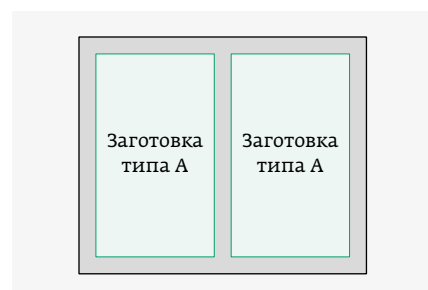


Рис. 26. Схема расположения заготовок изделия типа А в рамке-носителе

Таблица 5. Пример параметров групповой пайки волной

Параметр	Обозначение	Единица	Значение
Рабочая ширина волны	W	мм	390
Длина рамки-носителя	l	мм	500
Ширина рамки-носителя	w	мм	400
Длина заготовки изделия типа А*	–	мм	300
Ширина заготовки изделия типа А*	–	мм	200
Количество заготовок в одной рамке-носителе	n	шт.	2
Скорость конвейера	v	м/мин	2

* В качестве заготовки может выступать как отдельная плата, так и мультиплицированная заготовка.

Скорость установки штыревых компонентов зависит от количества монтажников на данной линии.

При применении RFID-меток установка групповой пайки волной будет обладать информацией, где находится каждая рамка-носитель, расположена ли в ней плата на маске или без нее и, соответственно, по какой программе должна осуществляться ее пайка, включая режимы для отдельных секторов, если на них разделена область пайки по своей длине. Кроме того, в конвейерной системе рассматриваемого нами комплекса установлены выбрасыватели с возможностью чтения RFID-меток (рис. 27), что позволяет остановить рамку-носитель на пути ее следования в обратном направлении (после пайки волной) на нужном выбрасывателе.

Применение RFID-меток на рамках носителях очень удобно в подобных случаях, когда одна группа

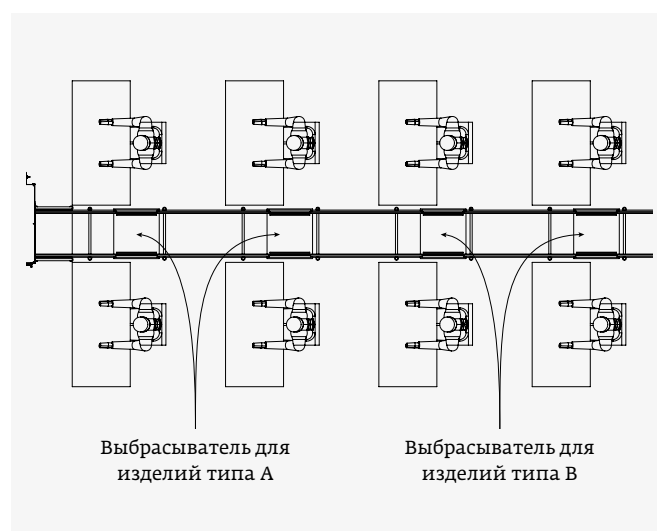


Рис. 27. Расположение выбрасывателей на конвейере



Рис. 28. Схема поступления рамок-носителей с платами в установку групповой пайки волной: а – исходная конфигурация; б – конфигурация после перегруппировки монтажников

монтажников собирает один тип заготовок, а вторая – другой. Тогда каждой группе монтажников будет возвращаться именно ее рамка-носитель.

В любой момент, чтобы выпускать, например, больше изделий типа А, можно перегруппировать монтажников таким образом, что за одной рамкой-носителем



Рис. 29. Установки групповой пайки волной от компании Seho:

а – PowerWave 3.0,
б – PowerWave 4.0,
в – PowerWave N2

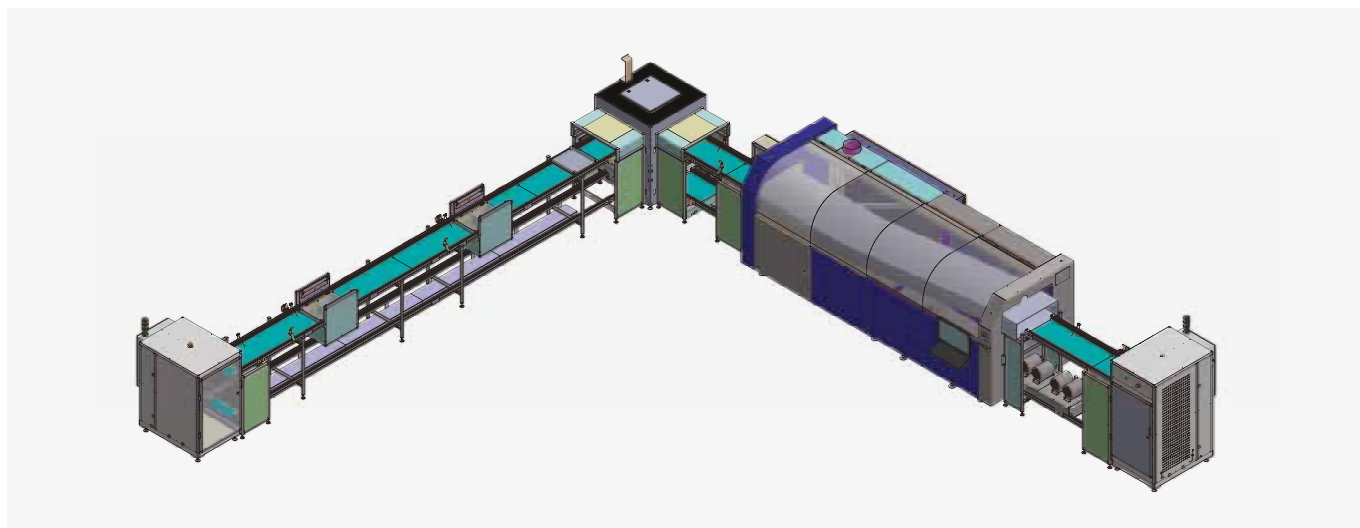


Рис. 30. Линия штыревого монтажа и пайки с поворотом на 90°

с изделиями типа А будет следовать одна рамка-носитель с изделием типа В (рис. 28б).

Теперь наглядно видно, что, как мы отмечали в начале данной части статьи, применение рамок-носителей позволяет осуществлять одновременную сборку и пайку разных печатных плат (заготовок) на одной линии групповой пайки волной.

Для реализации описанного в примере процесса монтажа и пайки штыревых компонентов рассмотрим комплект оборудования на базе решений компании Seho.

В качестве установки пайки волной могут служить системы топовой серии MaxiWave (рис. 4 [1]) с возможностью оснащения нагревателями типа Pulsar, серии PowerWave N2, либо их более простые аналоги – PowerWave 3.0 или PowerWave 4.0 (рис. 29). Основным отличием MaxiWave и PowerWave N2 от PowerWave 3.0 и PowerWave 4.0 является наличие полноценного азотного туннеля.

Сборочный конвейер может быть любой длины. Также возможен один или несколько поворотов конвейера на 90°, что позволяет размещать его более компактно (рис. 30).

Отметим, что весь описанный выше комплект оборудования может быть изготовлен и отлажен на одном заводе-изготовителе.

Количество рамок-носителей приблизительно определяется по формуле:

$$N = \frac{L}{s+l},$$

где L – общая длина конвейера, включая верхний и нижний конвейеры; s – шаг между рамками-носителями; l – длина рамки-носителя.

Поскольку обычно принимается $s=l$, то формула принимает вид:

$$N = \frac{L}{2l}.$$

Если общая длина автоматизированного комплекса – линии штыревого монтажа и пайки составляет 11 м, то общая длина конвейера $L = 2 \cdot 11\,000 = 22\,000$ мм, и, соответственно, для его нормальной работы будет достаточно 22 рамок-носителей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ возможностей технологии групповой пайки волной, ее сравнение с конкурирующей технологией селективной пайки, а также рассмотренные в статье примеры организации техпроцесса пайки волной позволяют сделать вывод, что данная технология обладает высокой гибкостью и оказывается предпочтительной для широкого спектра задач. Область применения этого метода расширяется также благодаря возможности использования паяльных масок из современного материала Durostone. Применение средств для контроля и мониторинга процесса может существенно упростить настройку оборудования и повысить качество пайки штыревых компонентов.

Отметим, что если вы решили приобрести установку пайки волной, то нужно рассматривать ее как часть автоматизированного комплекса штыревого монтажа и пайки.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Вахрушев О. Н.** Вторая жизнь технологии пайки волной. Часть 1. ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2021. № 9 (210). С. 70–78.
2. **Акулов А. К.** Производство азота методом короткоциклового безнагревной адсорбции. Экспозиция Нефть Газ. Ноябрь 2016. № 7 (53). С. 66–67.