

# Пайка в паровой фазе – друг или враг!



Текст: **Василий Афанасьев**

»

Пайка в паровой фазе, парофазная пайка, парогазовая пайка или конденсационная пайка. Все это название одной и той же технологии, суть которой заключается в передаче энергии пара, выделяемой при фазовом переходе во время кипения специальной жидкости (теплоносителя) печатному узлу, в результате чего происходит оплавление паяльной пасты. Технологии, появившейся одной из первых, временно забытой и затем получившей второе рождение, не в последнюю очередь благодаря известной директиве RoHS, а также дальнейшей модернизации оборудования и состава теплоносителя.

**В Европе эта технология используется достаточно активно на протяжении нескольких лет. Отечественные предприятия поначалу отнеслись к пайке в паровой фазе несколько настороженно, и лишь после интенсивной маркетинговой работы ряда крупных компаний интерес к данному виду пайки заметно возрос.**

**Несмотря на безусловные достоинства конденсационной пайки, возникает вопрос: все ли побочные эффекты учтены, и не превышает ли количество ограниченный все её достоинства? К тому же, предприятия, уже получившие достаточный опыт работы с «парофазой», иногда готовы охотно им поделиться. И в жизни всё оказывается не так гладко, как это было на бумаге.**

**П**еречислим наиболее значимые факторы и аргументы, влияющие на принятие решения по приобретению системы пайки в паровой фазе.

**1. Равномерный нагрев сборки.** Это очень сильный аргумент. В первую очередь, потому что логичный и правдивый. Но при том, что качественные современные конвекционные печи могут обеспечивать крайне малый разброс температуры по поверхности платы, о чем прямо указывают в информационных материалах, и в чем мы неоднократно убеждались, снимая реальные профили при помощи специальных устройств, аргумент о равномерности нагрева в «парофазе» воспринимался как безусловное преимущество над конвекционными печами, что, в общем, таковым в полной мере не является.

В то же время, я лично наблюдал на одном из предприятий, как во время отладки процесса при попытке пайки в паровой фазе пустой платы небольшого формата разброс температуры в ее разных точках достигал 20°C! Но в данной ситуации это было связано с непродуманной конструкцией самой установки. Нагреватель располагался под дном ванны с теплоносителем, имея очень малую площадь по сравнению с ней. К тому же в данной ситуации была предпринята попытка пайки при температуре ниже точки кипения теплоносителя (отрабатывался процесс пайки по свинцовой технологии, в то время как теплоноситель использовался для бессвинцовой пайки). Машина не предусматривала такого использования. Аргумент правдив, но не для всего оборудования пайки в паровой фазе. Он не является весомым преимуществом по отношению к современным конвекционным печам.

**2. Исключен риск перегрева ПУ.** Это еще более сильный аргумент. Температура кипения жидкости одна и та же и выше быть не может. Но! Практический опыт показывает, что по прошествии определенного времени состав теплоносителя Galden претерпевает незначительные изменения, и его температура кипения повышается на 5-7°C, что в некоторых случаях может оказаться критичным. Важно отметить, что сам производитель указывает возможность изменения температуры кипения Galden на  $\pm 5^\circ\text{C}$ , отмечая при этом, что если наблюдается повышение на 7°C, то в данном случае вероятно наличие контрафакта или брака жидкости. И здесь можно привести в качестве примера одно из отечественных предприятий, где точку кипения Galden вынуждены искусственно занижать, разбавляя теплоноситель с более высокой точкой кипения теплоносителем с более низкой, так как Galden с точкой кипения 240°C на стадии пайки достигает 247°C, что является губительным для некоторых компонентов на плате. И вновь здесь можно отметить конструктивные ограничения системы пайки, а именно отсутствие у машины обратной связи по температуре и возможности реакции на нее.

Данный аргумент также является правдивым, однако следует помнить, что у Galden со временем может повыситься температура кипения за счет преимущественного испарения легкокипящих фракций.

**3. Систему не нужно настраивать.** Программы создаются элементарно, что является идеальным для многономенклатурного производства. Иными словами, лишь благодаря тому, что у нас температура пайки ограничена температурой кипения жидкости, мы можем не думать о профилировании в принципе. Это позволяет не задумываясь паять любые платы едва ли не на одном-единственном режиме установки, забывая при этом, что кроме пайки существуют стадии предварительного нагрева, стабилизации и охлаждения. Забывая, что существуют компоненты, чрезвычайно критичные к градиенту температуры. Забывая, что у плат различная теплоемкость. Забывая, что используются разные пасты с разными флюсами, разные финишные покрытия и разный материал печатных плат. Машину можно не настраивать, а просто паять и все. А теперь из сказки вернемся в реальность.

За рубежом, да в принципе и у нас тоже, высоко ценятся специалисты, способные отлаживать технологический процесс пайки, включая не только конвекцию, но и пайку волной и пайку в паровой фазе. Современная элементная база зачастую имеет серьезные ограничения по температурному профилю. Это может касаться любых стадий процесса: предварительного нагрева, пайки или охлаждения. Важно выдерживать определенный градиент и не допускать перегрева. Поэтому подбор температурного профиля может оказаться весьма трудоемким процессом, требующим определенных знаний и навыков, независимо от того, по какой технологии мы паяем, в «парофазе» или конвекции. Пар — это только способ нагрева. Требования, которые предъявляются компонентами, существуют независимо от того, как мы нагреваем. К тому же в «парофазе» распространен дефект «надгробного камня», одна из причин которого — резкий переход от стадии стабилизации к стадии пайки, чему следует уделить особое внимание. Пар, по сравнению с конвекцией, намного быстрее передает тепло, а быстрота передачи способствует неравномерности его распределения. Поэтому греть лучше медленно, а градиентом следует управлять. Дефект образуется, если разница во времени начала оплавления пасты на площадках составляет всего 0,2 сек. Без контроля градиента температуры при переходе к стадии пайки, к тому же в инертной среде, в которой действие сил смачивания выше, чем при пайке «в воздухе», вероятность возникновения «надгробия» возрастает многократно.

Далее — как известно, наиболее распространены парофазные системы палетного типа. То есть платы помещаются на палету и уже на ней перемещаются в зону, где происходит процесс пайки. Отладка профиля, как правило, происходит на одной плате. Но паять можно несколько плат одновременно и если их поместить на палету, то реальный профиль будет далек от того, что было отлажено, и в программу нужно внести корректировки.

Другими словами, пайка в паровой фазе это, прежде всего, пайка со всеми вытекающими отсюда вопросами. Следовательно, утверждение квалифицированных специалистов, что профилирование — простой процесс, может означать лишь одно — низкие возможности оборудования. Действительно, если в системе пайки ограниченное количество настроек, например, только мощность нагревателя и время цикла — отсюда и идет пресловутая «простота» программирования. Но «проще» не значит «лучше», и если подходить к профилированию со всей ответственностью, то создание программ становится серьезной задачей. При этом важно, чтобы оборудование позволяло получить требуемый профиль любой сложности, что сделать с двумя настройками, такими как «мощность» и «время», нереально.

Данный аргумент имеет право на существование, но только для случаев создания линейного профиля или в том случае, если оборудование не дает возможности детальной отладки процесса.

#### **4. Пайка происходит полностью в инертной среде, что благоприятно сказывается на качестве.**

И это действительно так. Только есть одно «но» — упомянутый выше «надгробный камень». Любая пайка в инертной среде, будь то пайка в азоте или конденсационная пайка, повышает вероятность образования данного дефекта в несколько раз. Это может быть связано с конструкцией печатной платы, точнее с контактными площадками, с качеством нанесения пасты или установки компонентов, непосредственно с паяльной пастой и, не в последнюю очередь, с профилем пайки. В случае быстрого и неконтролируемого нагрева риск образования «надгробных камней» чрезвычайно велик. По большому счету, это также говорит об ответственности при создании программ пайки.

#### **5. Пайка с использованием вакуума повышает надежность паяных соединений.**

И да, и нет. Попробуем разобраться. В чем действительно преимущество использования вакуума при пайке, так это в снижении количества пустот. Пока припой расплавлен, в зоне пайки либо в отдельной камере (в зависимости от типа системы), куда перемещается плата, формируется вакуум. Таким образом из паяного соединения удаляются пустоты. Казалось бы, что может быть лучше. А теперь попробуем снять розовые очки и рассмотреть все аспекты процесса.

В статье А. Нисана «Влияние пустот в объеме паяных соединений BGA на надежность» (бюллетень «Поверхностный монтаж» №2/2009) приведены любопытные результаты исследований, проведенных техническим подкомитетом IPC. В ходе работы печатные узлы подвергались термоциклированию и термоудару, после чего проводился анализ связи надежности паяного соединения BGA с наличием пустот. Результаты показали,

что наличие пустот не только не снизило надежность паяных соединений но и наоборот повысило ее. Не буду говорить, что пустоты в BGA это хорошо и что важны скорее не пустоты, а их расположение, но сам результат проведенных независимых исследований заставляет посмотреть на них под другим углом.

Системы, формирующие вакуум в отдельной камере, работают по следующему принципу: плата с расплавленным припоем выезжает из зоны пайки и помещается в зону вакуума. При этом совершенно естественно происходит снижение температуры. В зоне вакуума включаются дополнительные нагреватели, и температура повышается до температуры пайки. Далее происходит откачка воздуха, через некоторое время процесс заканчивается, и спаянная плата выезжает наружу. Мало того, что плата с расплавленным припоем и установленными поверх компонентами совершает перемещение в другую камеру, что уже само по себе не очень хорошо, так еще если снять температурный профиль, на нем будет четко видна «впадина», получившаяся в момент выхода платы из зоны пайки. Понижение температуры при этом может достигнуть 30-40°C (что в этом случае будет с припоем?), затем в вакуумной камере происходит восстановление до температуры пайки.

Использование вакуума так или иначе увеличивает время процесса, а это, в свою очередь, ведет к увеличению интерметаллического слоя. Чем толще этот слой, тем более хрупким будет паяное соединение. Теперь представим, что после пайки плата перемещается в другую камеру, в ней создается вакуум, плата некоторое время выдерживается и выезжает. Весь этот процесс, за исключением выхода платы из зоны пайки, происходит при температуре выше точки ликвидуса, следовательно, интерметаллиды все это время продолжают формироваться. Если стандартное время пайки находится в диапазоне 30-90 сек., то использование вакуума удлинит этот процесс минимум в 2 раза. Это может оказаться не принципиальным для массивных компонентов, но у чипов, у которых толщина самой галтели невелика, это может привести к снижению механической прочности соединения. Здесь стоит отметить, что и радиоэлементы и платы во время всего периода работы в вакуумной камере постоянно подвергаются воздействию повышенной температуры, что может негативно сказаться на надежности.

Данный аргумент весьма спорен. Количество пустот, безусловно, снижается, но удлинение времени цикла ведет к повышению хрупкости паяных соединений и дополнительному температурному воздействию на компоненты. При пайке компонентов с большой площадью спая вакуум дает безусловное преимущество. Меньше пустот — лучше теплоотвод. Но для остальных компонентов польза использования данной функции сомнительна. К тому же использование вакуума ведет к существенному удорожанию оборудования.

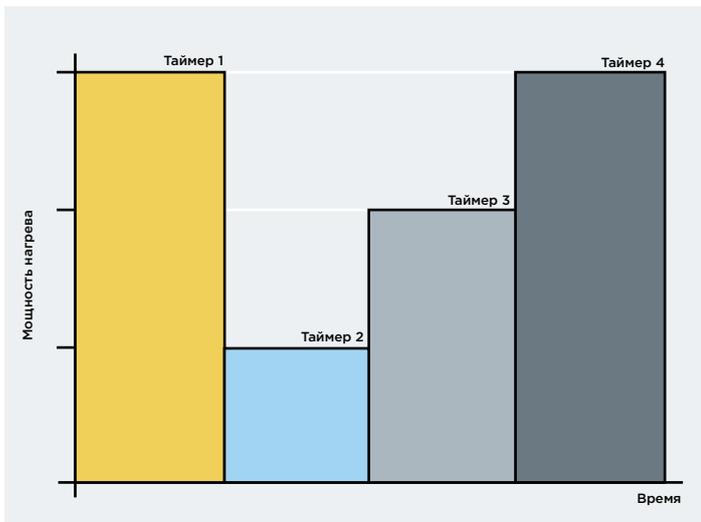
В итоге получается, что часть факторов показывается с выгодной стороны, но при этом умалчивается о побочных эффектах, которые проявляются уже в процессе эксплуатации. Ведь за непонятными английскими словами и красивыми аббревиатурами могут скрываться элементарные вещи.

Необходимо помнить, что все системы пайки в паровой фазе требуют подключения водопроводной воды либо использования дополнительного охлаждающего устройства (чиллера) для охлаждающего контура. Плюс некоторым системам требуется еще и сжатый воздух.

Но как бы там ни было, конденсационная пайка — очень перспективная технология, которая будет эффективно работать в надежных руках. Низкое количество пустот, качественные паяные соединения, практически полная невозможность перегрева, равномерность распределения тепла, отсутствие расслоения печатных плат, эффективная теплопередача, а при этом еще и компактность, и сравнительно невысокое энергопотребление. Но, повторюсь, очень многое зависит от оборудования, которое должно сводить к минимуму упомянутые побочные эффекты, а еще больше от человека, который работает с этим оборудованием.

**При выборе данной технологии пайки необходимо тщательно взвесить все плюсы и минусы, проанализировать подводные камни, которые могут возникнуть, и ни в коем случае не попадаться на маркетинговые «крючки».**

1  
 Диаграмма создания профиля на установках класса «Эконом»



## Компания IBL Loettechnik

Первая попытка договориться о сотрудничестве с компанией IBL Loettechnik была предпринята нами еще в 2007 году. Предприятие Остек, имея наибольшее количество заказчиков, должно было заинтересовать ведущего производителя данных систем. Однако на тот момент у IBL уже был партнер в России, и действующие договорные отношения оказались для немецкой компании выше возможности работать с крупнейшим российским дистрибьютором. С того момента попытки заключить договор с компанией IBL Loettechnik предпринимались ежегодно, неизменно терпя неудачу. Наконец, в конце 2011 г. нам удалось заключить соглашение с этой фирмой.

Что же особенного у компании IBL и почему стоило охотиться за ними? Первое — это огромный накопленный опыт в данной технологии. Второе — широчайший модельный ряд. И самое главное — безусловное техническое превосходство над аналогичными системами и внимание к мельчайшим деталям. Об этом мы поговорим подробнее.



2  
 Система пайки Minilab

Габаритные размеры, мм	730x600x600
Максимальный размер печатных узлов, мм	300x275x80
Требуемое количество теплоносителя (минимум), кг	2
Максимальная мощность нагревателя, кВтч	1,8
Средняя потребляемая мощность, кВтч	0,8

## Модельный ряд систем парофазной пайки IBL

### СИСТЕМЫ КЛАССА «ЭКОНОМ»

В классе «Эконом» используется наиболее простой способ оплавления в паровой фазе, с помощью которого можно создавать различные температурные профили, близкие к линейным. Передача энергии печатному узлу контролируется путем регулировки мощности нагревательных элементов.

В данном режиме необходимый температурный градиент может быть получен путем изменения мощности нагрева теплоносителя и в разные моменты времени соответственно интенсивности его испарения. Оператор может задать до 4-х ступеней повышения температуры, а также длительность каждой из них рис 1. Оборудование данного класса может работать в автоматическом режиме, увеличивая или уменьшая время пребывания запаиваемого изделия в камере оплавления, в зависимости от его массы или количества загруженных плат. При отладке профиля технолог определяет момент оплавления припоя и задает необходимое время выдержки. Далее система работает самостоятельно, обрабатывая нужный режим независимо от количества плат на палете.



3 Система пайки SV 260

Габаритные размеры, мм	760x710x600
Максимальный размер печатных узлов, мм	300x260x80
Требуемое количество теплоносителя (минимум), кг	3
Максимальная мощность нагревателя, кВтч	2,1
Средняя потребляемая мощность, кВтч	0,9



4 Система пайки SV 360

Габаритные размеры, мм	1450x1000x1400
Максимальный размер ПУ, мм	540x360x80
Минимальное количество теплоносителя, кг	10
Максимальное потребление мощности, кВтч	5,2
Средняя потребляемая мощность, кВтч	2,8

Системы класса «Эконом» успешно используются в лабораториях и мелкосерийном производстве, реализуя качественную паровоздушную пайку для малых объемов.

**САМАЯ КОМПАКТНАЯ НАСТОЛЬНАЯ СИСТЕМА MINILAB**  
 Minilab рис 2 — простейшая система с вертикальной загрузкой печатного узла. Характеризуется минимальным расходом теплоносителя, компактными размерами и высоким качеством пайки. Идеальное решение для лабораторий.

**СИСТЕМА ПАЙКИ SV 260**

Данная система тоже является настольной, но в отличие от предыдущей модели здесь уже используется запатентованная транспортная система, которая обеспечивает плавное погружение плат в зону пайки. Палета при этом совершает движение по окружности, оставаясь параллельной основанию системы. При таком перемещении риск смещения компонентов на плате абсолютно исключен. К тому же упомянутая транспортная система не требует технического обслуживания.

Система SV 260 рис 3 состоит из двух камер: камеры пайки и камеры охлаждения. Двухкамерная конструкция в комбинации с загрузкой печатных узлов с передней стороны обеспечивают комфортную работу с установкой. Разделение зон пайки и охлаждения способствует обеспечению высокого качества пайки, снижению расхода теплоносителя, а также повышению производительности.

На корпус системы пайки выведен разъем для подключения устройства измерения температурных профилей при использовании дополнительного адаптера с термопарами, фиксирующегося на палете. Устройством, которое измеряет температуру, может быть и простой мультиметр, при наличии в последнем такой функции.

**СИСТЕМА ПАЙКИ В ПАРОВОЙ ФАЗЕ SV360 ДЛЯ МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

SV360 рис 4 — настольная система пайки в паровой фазе, завершающая серию «Эконом». Ее основное отличие от SV260 — возможность работы с платами большего размера и большая вместимость теплоносителя, что делает SV360 наиболее пригодной для мелкосерийного оборудования. □