

## ТЕХНОЛОГИИ



# Пайка в паровой фазе — друг или Враг?



Текст: **Василий Афанасьев**



В первой части статьи («Вектор высоких технологий» № 3 (03) сентябрь 2013) мы познакомились с системами пайки начального уровня компании IBL, а также рассмотрели достоинства и ограничения технологии пайки в паровой фазе в целом. Настало время — представить вам системы класса Премиум — установки конденсационной пайки, для которых никаких ограничений не существует.



1 Система пайки SLC609 с конвейерным модулем

## Системы пайки класса «Премиум»

В системах пайки класса «Премиум» реализованы самые современные технические решения в области парофазной пайки. Модельный ряд систем позволяет подобрать необходимую установку под конкретные задачи, исходя из требуемой производительности, площадей и габаритных размеров печатных узлов **T 1**. Особенно стоит отметить, что данные установки могут быть оборудованы конвейерной системой для встраивания в линию **рис 1**.

И здесь уже начинаются ключевые особенности систем пайки IBL. Каждая из указанных установок может быть изначально поставлена в автономном исполнении, но оборудована впоследствии конвейером для встраивания в производственную линию. И это может быть осуществлено на территории заказчика!

## Другие отличительные особенности систем «Премиум» IBL.

### РЕЖИМ SOFT VAPOR PHASE

Основная особенность «Премиум» систем, это, конечно, метод реализации технологии пайки в паровой фазе. Если в установках класса «Эконом» температурный профиль реализуется только за счет программирования мощности нагревателя и времени на разных стадиях, то в классе «Премиум» еще существует возможность регулирования платы по высоте!

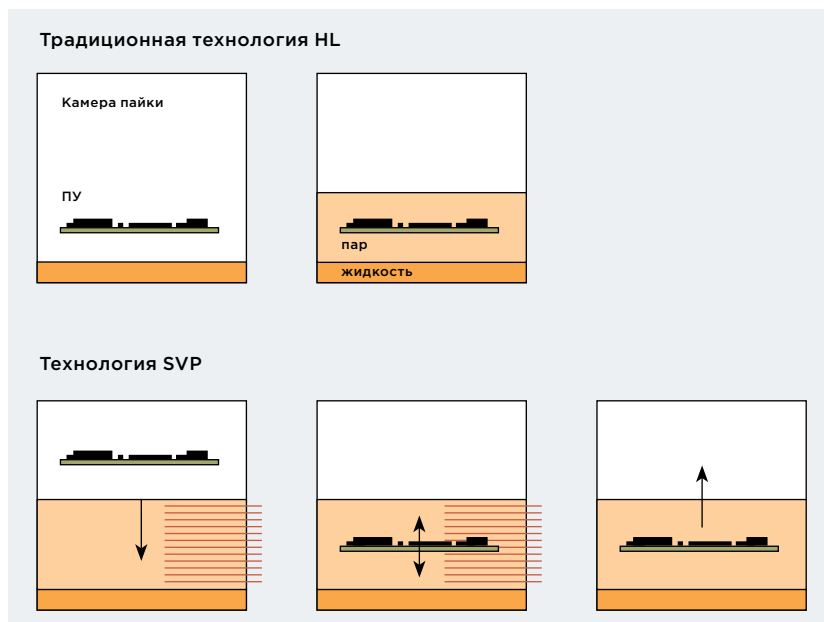
Для наглядности попробуем представить установку пайки в паровой фазе в виде кипящей кастрюли с водой, стоящей на электрической плите. Мощность плиты на среднем уровне, вода кипит. Поместим свою ладонь в облако пара над кастрюлей. Горячо? Конечно. Думаю, что двух мнений быть не может. Ладонь это имитация платы, а сам процесс — это некая имитация предварительного подогрева. Теперь добавим мощности электрической плиты. Парообразование стало интенсивнее, а ладонь уже невозможно держать над кастрюлей. Процесс пайки в паровой фазе, можно представить именно так (хоть и несколько грубовато). Именно за счет изменения мощности нагревателя в ней реализуется необходимый температурный профиль. А сразу ли вода в кастрюле начинает кипеть интенсивнее на электрической плите при повышении мощности? Нет, проходит некоторое время, равно как и наоборот — при переходе от высокой мощности к пониженной. Аналогичная ситуация и в установках пайки — интенсивность кипения снижается/повышается не сразу, поэтому данный метод считается не самым эффективным, хотя и достаточно простым в реализации.

А теперь подумаем о том, что будет, если вместо изменения мощности нагревателя у нас появляется возможность изменить положение руки по высоте. Подняли руку повыше — не так горячо, опустили пониже — совсем жарко, причем изменение температуры на руке

**T 1**

Модельный ряд систем пайки класса «Премиум»

Модель	Габаритные размеры (ДхШхВ), мм	Макс. размеры обрабатываемого печатного узла (напольное исполнение), мм	Макс. размеры обрабатываемого печатного узла (конвейерное исполнение), мм
SLC 309	1760x940x1320	300x340	300x300
SLC 509	1760x1190x1320	540x340	540x300
SLC 609	1760x1290x1320	640x340	640x300
SCL 809	1760x1490x1320	840x340	840x300
BLC 509	1960x1290x1320	540x540	540x400
BLC 609	1960x1290x1320	640x540	640x400
BLC 809	1960x1490x1320	840x540	840x400



2

Сравнение традиционной технологии и технологии SVP

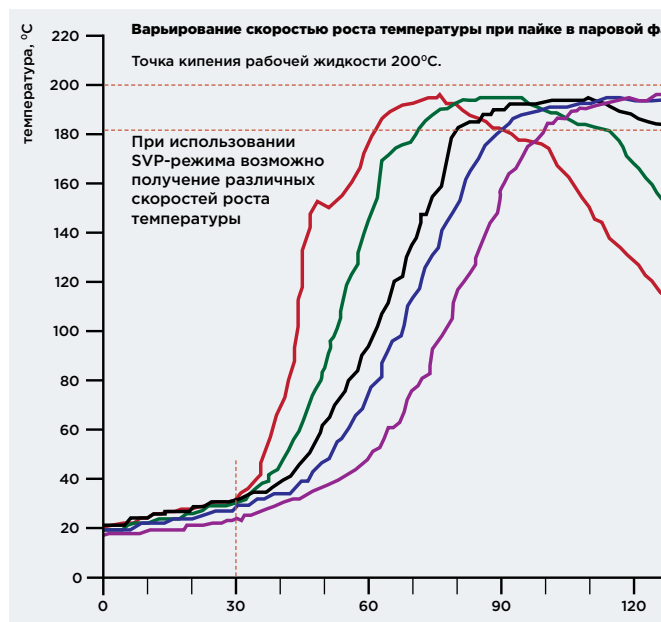
в таком случае происходит быстрее, чем при регулировке мощности плиты.

И, наконец, представим, что есть возможность комбинировать два метода: изменение высоты и регулировку мощности! На максимальной интенсивности кипения мы можем держать руку на такой высоте, что тепла не будет чувствоваться, и, опуская ниже, будем ощущать нагрев. На минимальной интенсивности мы можем опустить ее вплотную к воде и чувствовать как повышается температура. Мы можем варьировать процесс как угодно. Именно так работают системы пайки «Премиум» компании IBL. Данный запатентованный режим работы называется SVP (Soft Vapor Phase — мягкая паровая фаза).

В режиме SVP в одной рабочей программе можно задать до 20 значений по мощности, высоте платы и температуре рис 2!

Если говорить более точно, установки серии «Премиум» могут работать в нескольких режимах:

- режим HL — передача энергии печатному узлу контролируется путем регулировки мощности нагревательных элементов — как и в серии «Эконом» задается несколько ступеней мощности и время. На рис 3 показано изменение градиента на одной и той же плате при различной мощности нагревателя после 5-ти измерений;
- режим SVP — в котором помимо задания мощности нагревателя и времени, возможно медленное ступенчатое опускание печатного узла в пар и возможна остановка печатного узла в различных позициях на необходимое время. Перемещение печатного узла в паровой фазе вверх и вниз может программироваться;



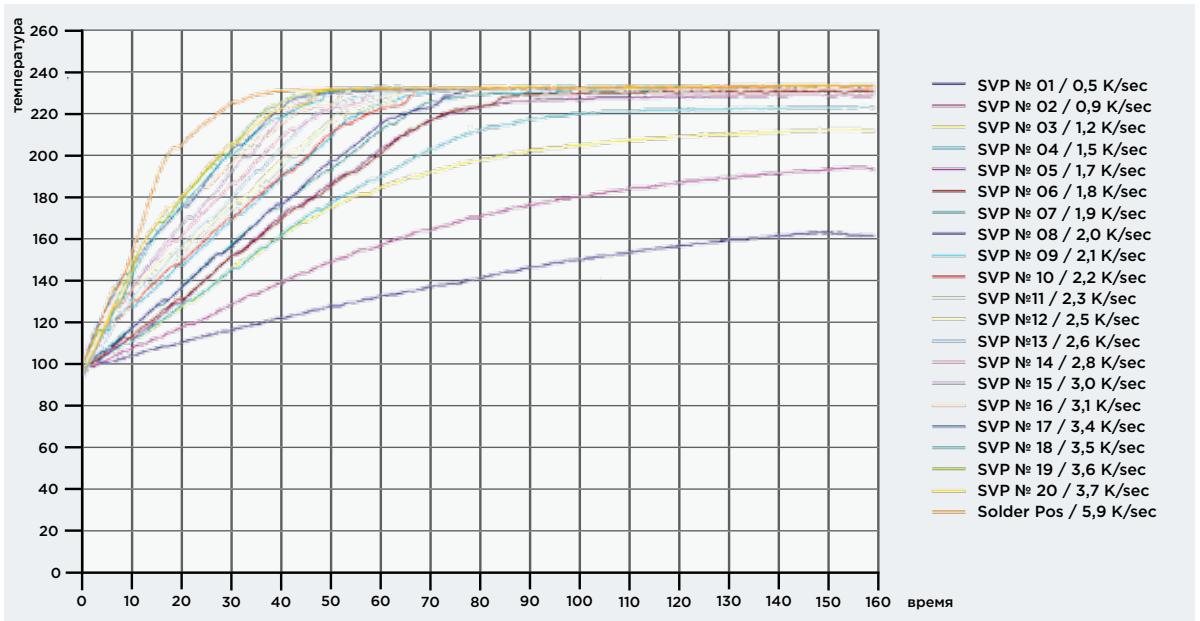
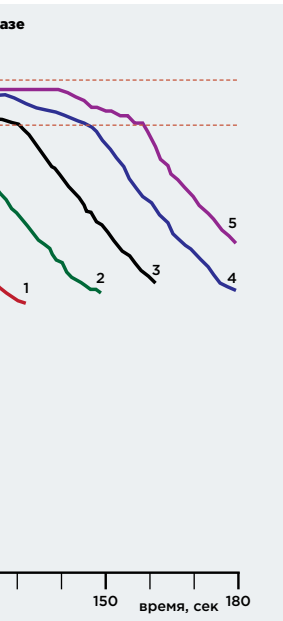
3

Изменение градиента на одной и той же плате при различной мощности после 5 измерений

- режим PSA (premium solder automatic), который может быть активирован в дополнение к двум вышеописанным режимам. Данный режим автоматически управляет временем нахождения печатного узла в камере пайки после наступления фазы оплавления припоя (фазы, когда температура платы становится равной температуре окружающей среды или заданной оператором температуре).
- режим SVTC (Soft Vapor Temperature Control) — в котором, помимо задания мощности нагревателя и времени, возможно медленное ступенчатое опускание печатного узла в пар и возможна остановка печатного узла в различных позициях на необходимое время или до достижения необходимой температуры.
- режим SVTCP (Soft Vapor Temperature Control Pilot) — «пилотный режим», о котором речь пойдет ниже.

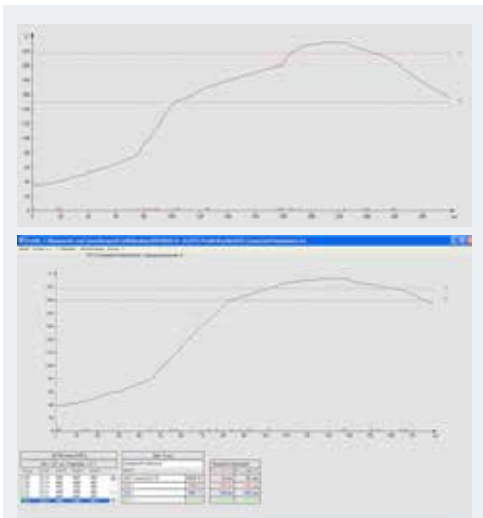
На рис 4 показано изменение градиента температуры в каждом из 20 положений печатной платы по высоте. Из графика видно, что в зависимости от изменения высоты платы в облаке пара, градиент температуры может варьироваться от 0,5 до 5,9°C в секунду.

Использование упомянутых режимов дает колоссальные возможности по программированию и позволяет добиться реализации абсолютно любого температурного профиля. Если простая плата имеет достаточно линейный профиль, не требующий сложных настроек — можно использовать HL режим с минимумом параметров. Если плата сложная, то необходимо тщательно формировать градиент температуры, установить зону стабилизации определенной длины — и для этого есть все инструменты! Комбинация из регулировки по мощности и по высоте

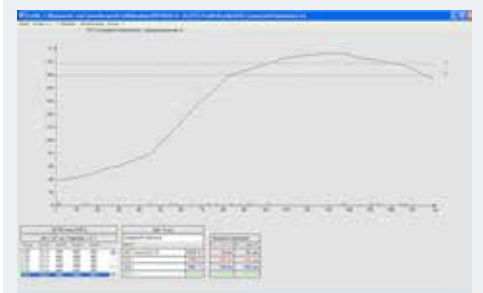


мощности нагревателя

4 Изменение градиента температуры, в зависимости от высоты платы



5 Снижение градиента перед переходом в область пайки сокращает риск образования надгробных камней

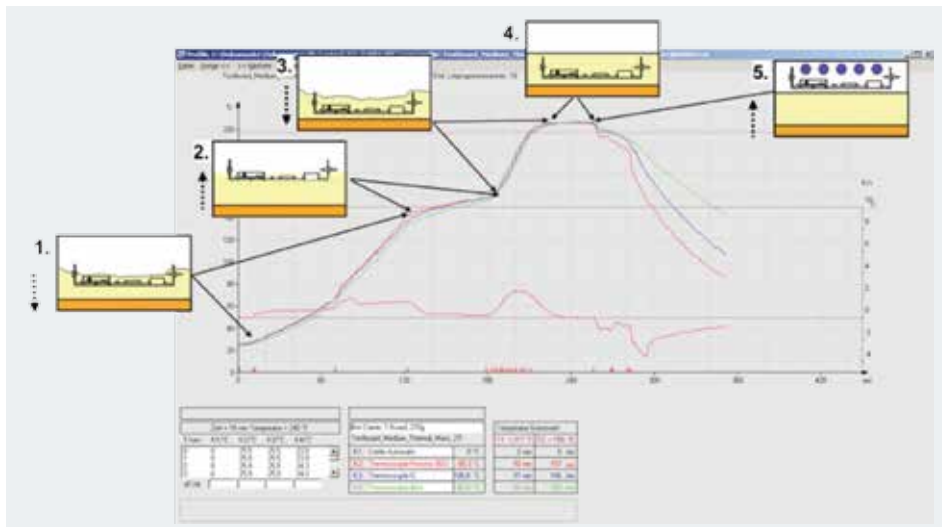


6 Возможность формирования зоны стабилизации необходимой длительности снижает риск образования пустот

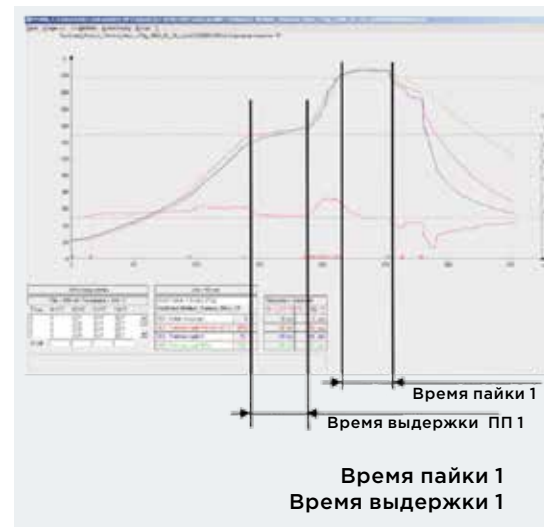
обеспечивает необходимую скорость возрастания температуры. Обратная связь по температуре (температура не только задается, но и контролируется!) полностью исключает риск перегрева и гарантирует четкое следование необходимому профилю рис 5, 6. Нужно, чтобы процесс остановился при определенной температуре ниже максимальной — нет проблем! Любой профиль, любой процесс, любая технология. Возможности систем «Премиум» при создании программ пайки не ограничены!

**«PILOT MODE» ИЛИ «ПИЛОТНЫЙ РЕЖИМ»**

Много настроек это, конечно, хорошо, но может возникнуть ощущение, что создавать программы пайки очень трудно. Ничего подобного! Если вы хотите избавить себя от программирования каждого шага установки при создании сложных температурных профилей, то для вас существует так называемый «пилотный режим». Суть его в следующем: допустим, вы хотите получить некий конкретный профиль для определенного типа плат. В этом случае, вы вносите необходимые значения параметров процесса в машину (температуру и время), выбираете из партии одну плату, крепите к ней термопару и запускаете «пилотный режим». Термопару желательно фиксировать в наиболее критичных участках. Например, если на плате присутствуют компоненты, на которых нельзя превышать значение температуры выше определенной, то на одном из таких компонентов и нужно закрепить термопару. В системах паровой пайки, равно как и в печах конвекционного оплавления, штатные термопары меряют не реальную температуру на плате, а на некотором удалении от нее. Поэтому для получения объективной картины процесса использо-



7 Отладка температурного профиля в «пилотном режиме» с указанием направления перемещения ПУ по высоте



8 Режим работы Syncro Mode

вание внешней термопары необходимо. В «пилотном режиме» установка считывает с нее данные, обрабатывает по этим данным температурный профиль согласно внесенным ранее значениям и запоминает полученные данные! В результате профиль любой сложности будет построен по реальной температуре на печатном узле и будет полностью соответствовать тому, который планировался изначально рис 7. После отработки режима полученные данные автоматически (либо вручную оператором) конвертируются в рабочую программу и все! Рабочая программа готова! 100% воспроизведение нужного профиля без малейшего риска перегрева или недогрева! Даже если нужно паять при температуре ниже, чем точка кипения Galden! Уникальный режим, не имеющий аналогов. Термопара, к слову, в дальнейшей работе больше не нужна.

Как уже упоминалось выше, создание корректной программы пайки может оказаться весьма непростым процессом. Данная функция избавляет от трудоемкой процедуры подбора профиля под самые сложные и delicate печатные узлы. Достаточно одного автоматического цикла в «пилотном режиме»! Именно это называется «элементарное создание программ». Вернее, «элементарное создание правильных программ».

### SYNCRO MODE

Не зря мы упоминали про внимание к мельчайшим деталям у компании IBL. К сожалению, чудес не бывает, и даже одни и те же платы в одном и том же температурном режиме могут запаиваться по-разному. Когда же это происходит? И снова попробуем подключить воображение.

Начинается рабочий день. К пайке готова первая партия печатных узлов. Мы включаем установку пайки в паровой фазе, кладем первый печатный узел на палету

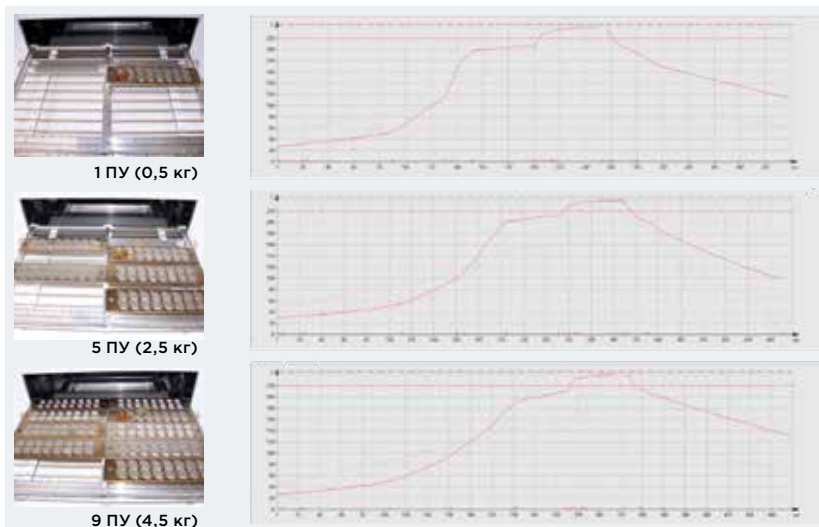
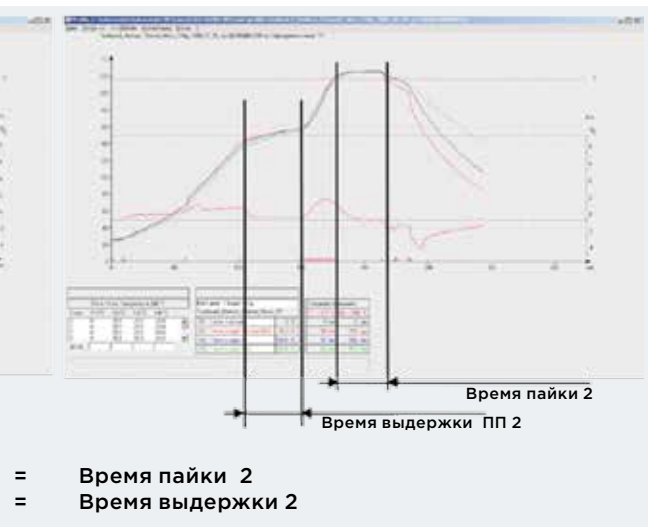
и запускаем процесс. Спаяли. Кладем следующую. И ее спаяли. И так до обеда. Сходили на обед. Снова включили установку (либо вывели ее из «спящего» режима) и продолжили пайку до конца рабочего дня. А при контроле качества пайки на некоторых платах из партии вдруг обнаруживаются дефекты, надгробные камни, шарики припоя или даже непропаи. Казалось бы, все отлажено, параметры технологического процесса одинаковые на всех операциях, начиная от нанесения паяльной пасты и заканчивая пайкой. В чем же дело?

А дело вот в чем. Мы помним, что платы для пайки укладываются на палету, и уже на ней совершают перемещения по стадиям процесса. В начале рабочего дня, после обеда или просто в случае относительно длинных перерывов между пайками, что характерно для небольшого объема выпуска изделий, палета у нас имеет комнатную температуру. Если же у нас идет пайка за пайкой, то палета будет нагрета. Законов физики никто не отменял, и холодная палета имеет достаточную теплоемкость, чтобы забрать на себя предназначенное платам тепло. В режиме работы SVTC это не имеет принципиального значения, так как за счет имеющейся обратной связи по температуре система компенсирует потери тепла. Но в случае работы одного из режимов без обратной связи это может сказаться на качестве пайки. Пусть такая вероятность невелика, но она существует, а при пайке сложных печатных узлов, особенно в спецтехнике, мелочей не бывает.

Поэтому в печах IBL реализована функция Syncro Mode — простое и элегантное решение, которое позволяет начинать непосредственно цикл пайки при одной температуре. Перед началом процесса, палета просто подогревается до определенного значения, после которого уже и начинается отработка цикла рис 8.

Также в системах IBL выдерживается необходимый





9 Зависимость температурного профиля от загрузки паллеты

температурный профиль, независимо от того сколько плат вы поместили на палету — одну или десять рис 9. В отличие от других существующих систем, в которых при пайке одной платы и при пайке нескольких будут абсолютно разные градиенты температуры, у IBL режим Syncro Mode и обратная связь по температуре делают свою работу.

### Измерение температуры

И снова о так называемых «мелочах», из которых складывается эффективный технологический процесс. Хотя в случае пайки называть измерение температуры процесса «мелочью», пожалуй, слегка самоуверенно. Когда я рассказывал о «пилотном режиме», я упоминал тот факт, что в большинстве печей температура измеряется на удалении от платы, и указанный режим служит для простого получения наиболее оптимального профиля. Данные, снятые с термопар после отработки режима, транслируются в машину, и автоматически вносится поправка с учетом расположения встроенного датчика температуры. Очевидно, что расположение внутренних термопар оказывает влияние на погрешность при проведении измерений в штатном режиме работы. Чем ближе к плате производится измерение, тем точнее оно будет. Лучший вариант, это, конечно, использовать термопары, фиксированные на плату. В системах IBL предусмотрена возможность использования на выбор 4 или 6 термопар при помощи специального адаптера, монтированного на палете, но они служат в основном для отладки. Поэтому, учитывая, что в процессе работы палета совершает перемещения по высоте, в IBL поместили штатную термопару на самой палете в непосредственной близости к пе-

чатным узлам, реализуя таким образом максимально возможную точность измерений и снижение погрешностей. К тому же, по сравнению с системами, в которых термопары зафиксированы непосредственно в камере пайки, такое решение обладает еще одним существенным плюсом — более точным определением момента, когда печатный узел полностью прогреется. То, что это произошло, может определить лишь термопара, которая расположена на палете чуть выше нее, в то время как термопара, расположенная в камере пайки и ниже печатного узла, наступление равновесной температуры может определить преждевременно. Также, в системах IBL осуществляется контроль температуры нагревателей, охлаждающей жидкости, пара, жидкого теплоносителя и даже палеты! То есть оператор видит полную картину процесса, все находится под абсолютным контролем.

Расположение датчиков температуры, как мы уже выяснили, имеет значение. Если мы паяем односторонние платы, вопросов нет. Но если мы паяем вторую сторону двухстороннего печатного узла, то из-за компонентов, спаянных на первой стороне, поверхность платы, на которой осуществляется пайка, изменит свое положение относительно штатной термопары на палете. Следовательно, ее показания будут немного отличаться от тех, что были получены на первой стороне. В IBL позаботились даже об этом, поместив вторую термопару над штатной с возможностью автоматического переключения между ними. Это означает, что если процесс оплавления происходит на разных уровнях по высоте, температура будет сниматься с одинаковой точностью, а уровни SVP также будут автоматически корректироваться в зависимости от высоты платы над палетой. Вот это действительно внимание к мельчайшим деталям!

## Пайка в вакууме

Рассказывая про системы класса «Премиум», мы не упомянули про системы вакуумной парофазной пайки. В начале статьи, мы пытались рассуждать на тему необходимости использования вакуума, но окончательное решение каждый сам для себя принимает самостоятельно. В любом случае, такие системы пайки у IBL есть, и они так же относятся к классу «Премиум», то есть обладают перечисленными выше особенностями, свойственными данной группе оборудования. Помимо этого есть еще один важный плюс. По сравнению с системами, в которых плата с расплавленным припоем из зоны пайки переезжает в зону вакуума, у IBL плата неподвижна, а в зону пайки приезжает вакуумная камера! То есть, по сравнению с системами, у которых плата перемещается в вакуумную камеру, у IBL нет понижения температуры, нет риска сдвига компонентов, короче время цикла, и плата остается в защитной бескислородной атмосфере! На рис 40 показано схематичное изображение узлов системы пайки.

Модельный ряд установок вакуумной пайки состоит из двух машин VAC645 рис 11 и VAC665. Отличия заключаются в размерах печатных узлов, с которыми они работают, и непосредственно в габаритных размерах самих машин Т 2.

Также отметим, что опционально системы могут быть встроены в конвейерную линию, и, как в случае с системами SLC и BLC, дооснащение может быть осуществлено на территории заказчика. Регулировка ширины конвейера может проводиться либо в ручном, либо в автоматическом режиме.

## Пайка в паровой фазе для серийного производства

Существует мнение, что системы пайки в паровой фазе непригодны для серийного производства. Такое мнение сформировано по большей части из-за того, что большинство «парофаз» используются автономно, без

Т 2  
Сравнительные характеристики установок вакуумной пайки VAC645 и VAC665

	VAC 645	VAC665
Глубина (с модулем для интеграции в линию), мм	1355 (2040)	1355 (2040)
Ширина (с модулем для интеграции в линию), мм	2400 (3040)	2810 (3450)
Высота, мм	1420	1420
Максимальный размер печатных узлов, мм		
Ручная загрузка	635x440x70	635x640x70
Автоматическая загрузка	635x400x50	635x400x50
Требуемое количество теплоносителя (минимум), кг	40	60

встраивания в линию. Они отлично паяют сложные насыщенные многослойные платы, которыми характеризуется именно мелкая серия. Но и в серийном, и даже в массовом производстве установки пайки в паровой фазе находят применение. Как пример — установки CX600 и CX800 компании IBL. Принцип работы систем следующий: в CX600 платы загружаются в палету и далее совершают свой путь по стадиям процесса оплавления, как показано на рис 12. В CX800 рис 15 платы загружаются в две палеты, расположенные с левой и правой стороны печи. Пока осуществляется пайка одной палеты, в другую по конвейеру поступают платы. Затем первая палета «разгружается», а вторая занимает ее место в зоне пайки и так далее, т.е. идет непрерывный процесс.

## Опции систем пайки IBL

В системах пайки IBL может быть использовано огромное количество опций. Мы кратко опишем лишь некоторые из них.

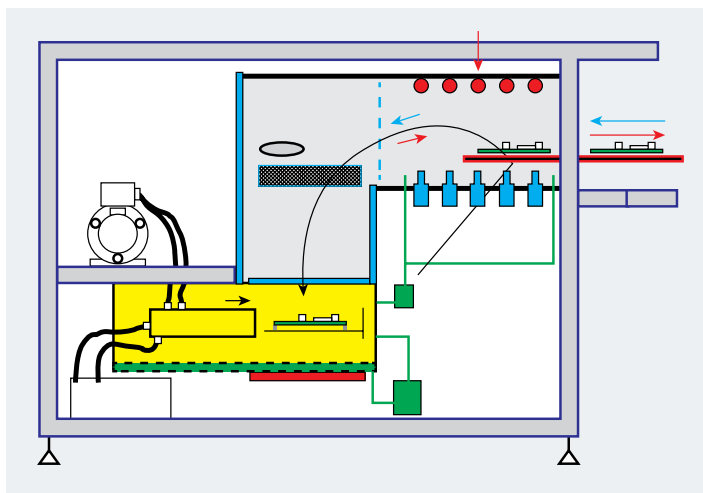
### ИНФРАКРАСНЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ

Печь можно оснастить дополнительными инфракрасными нагревателями, которые устанавливаются в первой камере. В комбинации с режимом оплавления SVP у оператора появляются богатые возможности точной настройки температурного профиля. Инфракрасные нагреватели обеспечивают дополнительный прогрев с верхней стороны, в то время как система паровой фазы, главным образом, начинает нагревать платы с нижней стороны. Это бывает полезным при пайке сложных печатных узлов.

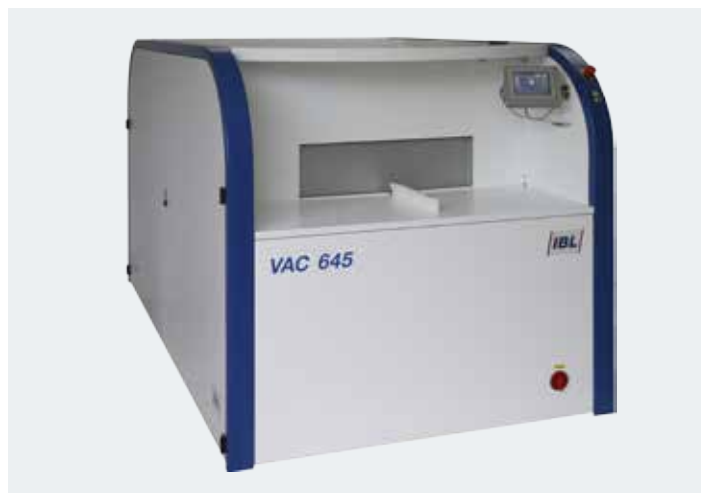
Инфракрасный нагрев также бывает полезен, если используются различные типы паяльных паст и печатных узлов. ИК-нагреватели идеально подходят, если требуется провести отверждение клея под компонентами согласно требованиям, указанным в спецификации на клей. После цикла оплавления инфракрасная система может уменьшить градиент (перепад температур) при охлаждении, чтобы избежать теплового удара на компоненты

### СИСТЕМА СКОРОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Данная система охлаждения (Rapid Cooling System (RCS)) обеспечивает ускоренное охлаждение печатных узлов сразу после оплавления примерно на 30°C. Система RCS была разработана для сокращения времени, требуемого для отверждения припоя после его оплавления. Наиболее актуальна данная опция для систем пайки в вакууме, так как уменьшить время нахождения припоя в расплавленном состоянии означает уменьшить толщину слоя интерметаллидов.



10 Вид сбоку VAC 665



11 Система VAC645

Устройство охлаждения внутри камеры с паром обеспечивают скорость охлаждения до 5 К/сек. Сейчас наиболее актуальна технология оплавления, при которой после достаточно высокой температуры пайки (230 градусов для бессвинцовой технологии) следует быстрое охлаждение в течение нескольких секунд. Особенно на тяжелых и теплоемких платах металлическая структура паяных соединений значительно улучшается.

**ПРОТИВОТУМАННАЯ СИСТЕМА (AFS), УЛУЧШАЮЩАЯ ВИДИМОСТЬ НАД ПОВЕРХНОСТЬЮ ПАРА КИПЯЩЕЙ ЖИДКОСТИ**

В зависимости от параметров оплавления и типа используемой паяльной пасты видимость может быть ухудшена вследствие процесса конденсации частиц (образование пара). AFS была разработана для быстрого удаления тумана из рабочей камеры. Туман выкачивается из верхней части рабочей камеры и жидкость из тумана обратно возвращается в общий резервуар с кипящей (рабочей) жидкостью.

**СЧИТЫВАТЕЛЬ ШТРИХ-КОДА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СМЕНЫ ПРОГРАММЫ ПАЙКИ (ДЛЯ СИСТЕМ, ВСТРАИВАЕМЫХ В ЛИНИЮ)**

Сканирование штрих-кодов с номером сохраненной программы пайки позволяет быстро осуществить переналадку системы для выпуска другого типа изделия. Возможно сканирование 1D или 2D кода с помощью ручного или фиксированного считывателя, устанавливаемого на печь оплавления. После считывания кода машина в полностью автоматическом режиме переходит на другую программу пайки.

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ «VP-CONTROL» ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ МАШИНЫ, А ТАКЖЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ, ИЗМЕНЕНИЯ И СОХРАНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОФИЛЕЙ**

Это программное обеспечение было разработано для сохранения производственных данных, анализа программ оплавления и отображения состояния печи. Благодаря использованию данного ПО вся информация о процессе оплавления будет в удобном виде отображена на экране монитора. Тем самым обеспечивается постоянный контроль качества изготавливаемой продукции.

Также с помощью данного ПО можно проводить измерение температурных профилей и сохранять их.

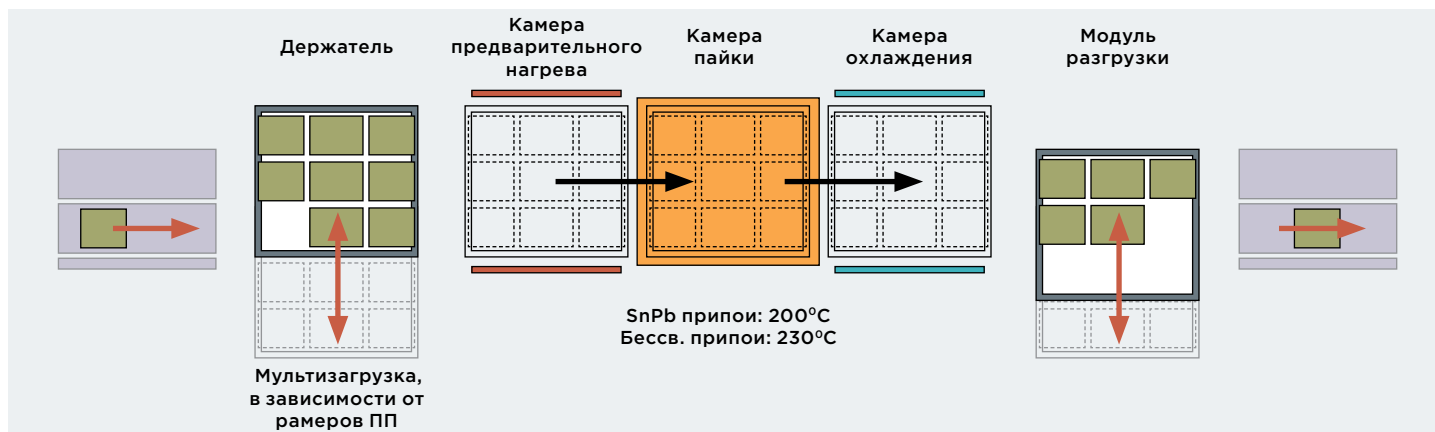
Измеренные температурные профили могут быть проанализированы с точки зрения времени пребывания платы при температуре выше точки ликвидуса, а также с точки зрения величины температурного градиента на печатной плате.

**Резюме**

В начале статьи мы пытались показать, что пайка в паровой фазе не такая простая технология. Но при использовании современного оборудования все преимущества технологии становятся весомее, а все ограничения сходят на нет. Системы пайки IBL — самое передовое и прогрессивное оборудование для пайки на сегодняшний день. В качестве резюме еще раз остановимся на ключевых моментах.

Линейка оборудования компании IBL позволяет подобрать машину под любые задачи и требования — от использования в лаборатории до серийных объемов выпуска, от простейших систем до вакуумных, встраиваемых в линию, установок.





12

Схема движения по стадиям процесса в CX600



13

Система CX 800

Технические возможности и режимы работы, такие как возможность регулировки положения платы по высоте и обратная связь по температуре позволяют построить любой самый сложный температурный профиль и, что немаловажно, полностью ему следовать.

Для установок IBL не принципиально, одна ли плата находится на палете или несколько, машина работает в непрерывном режиме или только включена — необходимый профиль будет отработан.

«Пилотный режим» дает возможность элементарного создания самых сложных рабочих программ.

Внимательное отношение IBL к вопросам пайки отражается на технических особенностях систем. Продуманы мельчайшие детали, начиная с того, чтобы оператор не трогал горячую палету руками при загрузке и выгрузке плат, и заканчивая расположением термодар относительно плат при пайке.

Транспортная система установок работает в полностью автоматическом режиме, начиная от загрузки палет в машину, до выхода из нее, а также обеспечивает максимально плавное перемещение платы по окружности, исключая малейшую возможность сдвига компонентов.

В вакуумных системах плата не совершает перемещений с расплавленным припоем, она постоянно находится в инертной атмосфере, а дополнительная система охлаждения снижает скорость роста интерметаллидов.

Абсолютно исключен риск перегрева компонентов, даже в случае некачественного Galden или при повышении его температуры со временем.

Системы IBL требуют самого минимального техобслуживания. Обычный визуальный осмотр машины на предмет загрязнений или утечек производитель рекомендует делать каждые 5000 часов (всего раз в 3 месяца при работе в 1 смену), а проводить несложные работы по чистке и проверке усилий затягивания резьбовых соединений всего раз в полгода! Транспортная система не требует техобслуживания в принципе.

И, наконец, установки крайне экономичны. У систем IBL энергопотребление невелико, подключения сжатого воздуха не требуется, а расход теплоносителя минимален.

**Отвечая на вопрос, заданный в названии статьи, вывод напрашивается сам собой: пайка в паровой фазе — это, конечно, друг. Причем друг надежный. Но только в том случае, если его имя — IBL.**