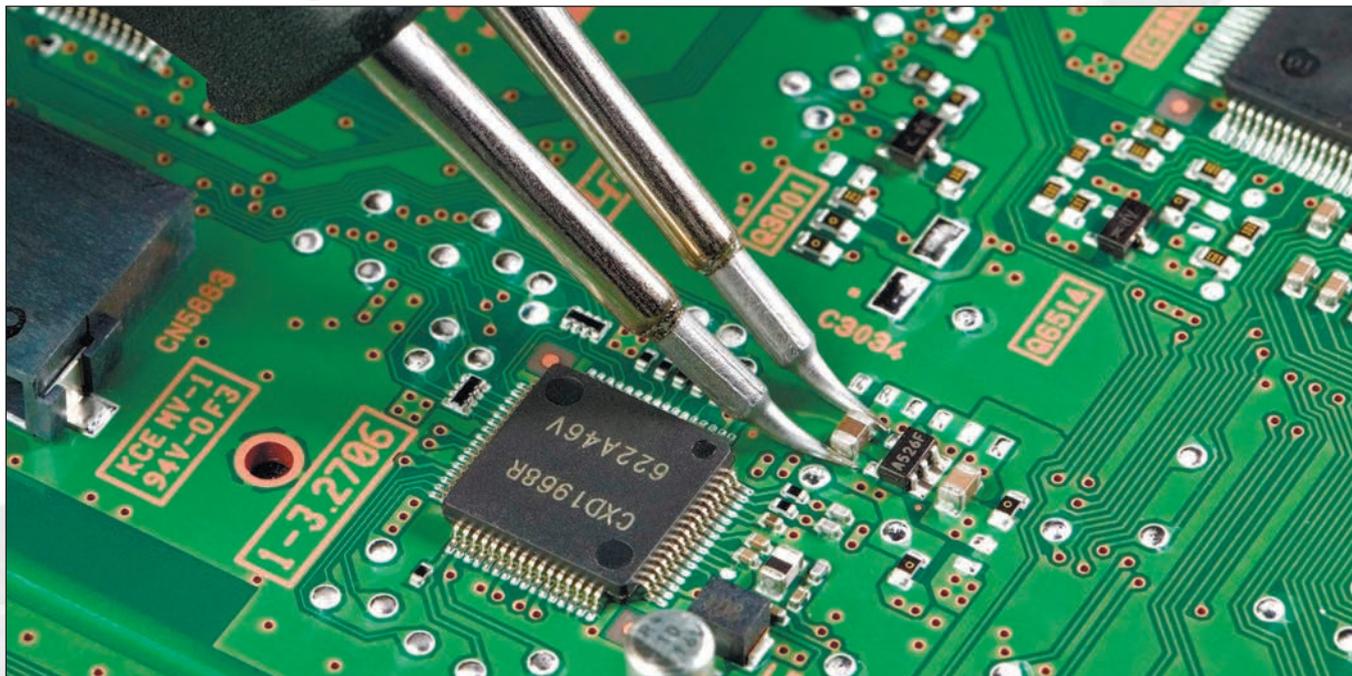


# Общие рекомендации по процессу сборки и пайки печатных плат



**Авторы:**  
**Карл Силиг**  
**Кевин Пиджин**  
**Шон О'Брайен**  
**Карлос Тофойя**

**[www.AIMsolder.com](http://www.AIMsolder.com)**  
**[www.AIM.avanteh.ru](http://www.AIM.avanteh.ru)**  
**[www.avanteh.ru](http://www.avanteh.ru)**  
**(401) 463-5605**  
**+7(812)318-11-51**  
**[info@AIMsolder.com](mailto:info@AIMsolder.com)**  
**[info@avanteh.ru](mailto:info@avanteh.ru)**

Перед Вами краткий справочник, предназначенный для оказания помощи инженеру технологической линии при диагностике монтажных дефектов. Материалы справочника охватывают такие разделы, как поверхностный монтаж, монтаж в отверстия (выводной монтаж), ручная пайка и проверка качества. Для удобства использования справочник разбит на разделы. Каждый раздел представляет собой определенный этап технологической линии.

Разделы с описанием монтажа бессвинцовым припоем выделены зеленым цветом, чтобы облегчить поиск данных; если быстрый просмотр дефектов при пайке бессвинцовым припоем не принес результатов, обратитесь к разделу монтажа свинцово-оловянным припоем, поскольку большая часть дефектов встречается при использовании любого из этих припоев.

Мы надеемся, что наш справочник будет полезен вам снова и снова. Мы приглашаем вас посетить наш сайт и просим вас связаться с нами в случае необходимости или при проявлении любых вопросов.

# Содержание

Общие рекомендации по процессу сборки и пайки печатных плат .....	1
Поверхностный монтаж .....	3
Трафаретная печать .....	4
Обзор дефектов печати .....	9
Монтаж компонентов .....	10
Пайка (сплав с содержанием олова 63 %, свинца 37 % и сплав с содержанием олова 62 %, свинца 36 %, серебра 2 %) .....	11
Пайка (бессвинцовые сплавы) .....	13
Описание специфических функций профиля .....	14
Обзор дефектов пайки.....	16
Монтаж типа POP «корпус на корпусе». Возможные проблемы .....	21
Пайка волной припоя .....	22
Обзор дефектов при пайке волной припоя .....	23
Ручная пайка .....	26
Проверка качества .....	26
Словарь терминов .....	27
Справочный раздел .....	29

# Поверхностный монтаж

## Паяльная паста. Инструкция по применению

Удивительное количество дефектов поверхностного монтажа возникает еще до открытия упаковки с паяльной пастой. Большую часть дефектов, связанных с использованием паяльной пасты, можно объяснить способом транспортировки, хранения и подготовки паяльной пасты. Контроль транспортировки, хранения и подготовки паяльной пасты может сократить или исключить недостатки, обусловленные использованием пасты. Ниже приводится перечень основных факторов, внимание к которым поможет вам максимально эффективно использовать паяльную пасту.

**Ключевые слова: нагрев, влага, замораживание, доставка, подготовка, хранение, влажность и температура в помещении, стабилизация, смешивание, снижение вязкости, повторное использование пасты**

Паяльная паста состоит из двух компонентов с разной плотностью (металл и флюс), поэтому в некоторых составах небольшое количество флюса выделяется и поднимается на поверхность пасты. Чрезмерный **нагрев** может в значительную усилить процесс выделения флюса. Это ухудшит реологические свойства, и паста не будет, как ей положено, «течь». Таким образом, необходимо беречь паяльную пасту от чрезмерного нагрева перед использованием.

**Влага** является загрязняющим веществом, которое способно ухудшить качество паяльной пасты. Любая паяльная паста является в некоторой степени гигроскопичной (имеет свойство впитывать влагу), таким образом, необходимо беречь паяльную пасту от сырой (влажной) окружающей среды. Влага способна вызвать окисление шариков припоя до оплавления или значительно повысить скорость окисления припоя во время оплавления. Флюс, содержащийся в составе паяльной пасты, может не до конца очистить спаиваемые поверхности в рамках стандартного термопрофиля, так как необходимо большее время для удаления окислений, и тем самым не обеспечить необходимой смачиваемости. Кроме того, влага является причиной появления таких дефектов как: оползание паяльной пасты после трафаретной печати, образования перемычек, шариков припоя, закипания флюса, уменьшение время клейкости паяльной пасты. Водосмывные паяльные пасты более устойчивы к оползанию после трафаретной печати

Если иное не указано в листке технических данных, не рекомендуется **замораживать** паяльную пасту. Замораживание может привести к тому, что активаторы, содержащиеся во флюсе, отделятся от его состава. Это негативно отразится на характеристиках смачиваемости пасты.

Во избежание порчи, вызываемой вышеописанными внешними факторами, доставка паяльной пасты осуществляется в течение суток, по возможности в термостатической упаковке. После получения пасту необходимо распаковать и немедленно передать на хранение в нужных условиях согласно рекомендациям производителя. Идеальные условия хранения паяльной пасты, которые позволяют продлить срок хранения материала – **хранение** в охлажденном виде.

**Идеальные условия печати** паяльной пастой - относительная влажность: 40 % – 50 %, температура: 21-27°C. Кроме того, следует избегать задувания воздуха на трафарет, поскольку воздух, как правило, способствует подсыханию паяльной пасты.

### Подсказка:

*Некоторые системы трафаретной печати, работу которых контролируют внешние контроллеры параметров окружающей среды, по умолчанию нагнетают воздух на поверхность трафарета. В отдельных случаях это намеренная конструктивная особенность, в других это всего лишь случайная особенность конструкции. Несложная доработка позволит значительно сократить или полностью исключить движение воздуха по поверхности трафарета.*

Чтобы получить оптимальный результат, очень важно **правильно подготовить** пасту к нанесению. Важно не использовать и не наносить паяльную пасту в охлажденном виде. Если охлажденную пасту открыть при температуре ниже температуры конденсации помещения, на поверхности пасты появится конденсат, который приведет к осадке, закипанию и разбрызгиванию флюса и/или пасты, сдвигу деталей и/или другим связанным с появлением конденсата технологическим дефектам. Во избежание подобных проблем паяльную пасту необходимо полностью разогреть перед использованием. Стандартное **время**

**стабилизации** охлажденной паяльной пасты составляет от четырех до шести часов. Пока паяльная паста полностью не нагреется до комнатной температуры, не снимайте герметическую крышку, не открывайте и не пытайтесь перемешать пасту. В то время как контейнеры и картриджи через некоторое время могут быть теплыми на ощупь, температура в толще пасты может быть ниже комнатной.

Не пытайтесь разогреть паяльную пасту (например, поместив банку на горячую поверхность, рядом с потоком теплого воздуха, на установку для пайки волной припоя и т. д.), это может привести к выделению флюса и прочим вышеописанным дефектам, связанным с нагреванием пасты.

**Подсказка:**

*Если вы откроете охлажденную банку или картридж с пастой и тщательно ее перемешаете, паста станет однородной и может быть пригодной к использованию, но это не значит, что паста нагрелась, и такие действия точно не являются правильным способом подготовки пасты к использованию.*

После того как паста нагрелась до нужной температуры, быстро и осторожно **перемешайте** пасту в банке специальной лопаткой в одном направлении в течение 1–3 минут. Это обеспечит равномерное перемешивание компонентов. Соблюдайте определенную осторожность: пасту нельзя перемешивать слишком интенсивно или дольше рекомендованного времени. Это может привести к **снижению вязкости** паяльной пасты и, соответственно, к оползанию пасты после нанесения через трафарет и/или образованию перемычек.

Не рекомендуется, но допускается хранить использованную паяльную пасту, оставшуюся на трафарете, в отдельном контейнере, чтобы в дальнейшем использовать ее повторно. Соблюдайте осторожность при сборе использованной пасты с трафарета; не собирайте пасту, которая засохла на трафарете или лезвиях ракеля. Засохшая повторно используемая паста или ее мелкие комочки способны привести к загрязнению ракеля при повторном использовании пасты. Такую пасту наносят на трафарет, предварительно разбавив равным, как правило, количеством новой пасты, чтобы восстановить ее свойства. Повторно используемую и свежую пасту смешивают в пропорции, обеспечивающей хорошую консистенцию пасты при печати.

Рекомендовано добавлять повторно используемую пасту на трафарет в течение дня или смены в небольших количествах во избежание ухудшения свойств пасты, а также следить за удалением пасты с трафарета перед его очисткой в конце смены или дня. Необходимо отметить, что большинство компаний предпочитает утилизировать использованную пасту во избежание возможных технологических проблем.

**Подсказка:**

*Не храните использованную и свежую паяльную пасту в одном контейнере. При смешанном хранении в свежую пасту может попасть излишняя влага или другие загрязняющие вещества, которые способны ухудшить эффективность пасты.*

## Трафаретная печать

За счет переменных факторов, характерных для конкретного процесса трафаретной печати, принтер может не всегда печатать настолько точно, насколько вам хотелось бы. Ниже приводится перечень важных факторов, на которые необходимо обратить внимание при настройке вашего принтера.

**Ключевые слова:** настройка принтера, закрепление/размещение платы, ширина конвейера, скорость ракеля, давление ракеля, очистка поверхности трафарета, чистка апертур, растекание, дистанция вертикального отделения, скорость вертикального отделения, начальная точка вертикального отделения, очистка трафарета

Что вы делаете, чтобы убедиться в том, что ваш принтер работает с максимальной эффективностью? Какие из факторов имеют краеугольное значение для успеха печатного процесса в целом? Вот несколько критически важных факторов при **настройке принтера**.

Наиболее обделенный вниманием в процессе настройки фактор – **закрепление/размещение платы**. Даже незначительное давление способно привести к прогибу печатной платы, если закрепить только два внешних края платы. Правильное закрепление печатной платы является неотъемлемой частью процесса подготовки, без которого дальнейшие настройки могут быть неэффективными либо потребуют большего внимания, чтобы компенсировать неверное размещение.

### Подсказка:

*Цель закрепления платы – устранить деформацию платы во время печатного цикла. Используйте поддерживающие пины для исключения прогиба платы.*

Знать точные параметры платы так же важно, как правильно закрепить саму плату. При настройке принтера **параметры платы** представляют собой ширину, длину и толщину печатной платы.

В большинстве автоматических принтеров ось длины (X) проходит слева и справа (вдоль оси конвейера), ось ширины (Y) проходит спереди и сзади по ширине конвейера, толщина (или ось Z) – сверху вниз. Все больше автоматических принтеров используют ширину и длину для автоматической центровки положения платы. Из всех размеров толщина платы имеет наиболее важное значение.

В автоматических принтерах толщина платы может негативно отразиться на процессе вертикального отделения трафарета, поэтому бесполезно вводить и подтверждать параметры вертикального отделения до ввода корректных данных толщины платы. Часть автоматического оборудования использует только длину и ширину размеры для настройки таких параметров, как ход ракеля, периодичность очистки трафарета, место нанесения и длина полосы пасты.

После ввода толщины платы проверить точность можно загрузкой или прогоном платы через конвейер, пока плата не поднимется до контрольной высоты. При этом верхняя часть печатной платы должна находиться на одном уровне с верхней частью конвейера. Если платы находятся выше или ниже, это может привести к повреждению ракеля или трафарета или как минимум к плохому качеству печати.

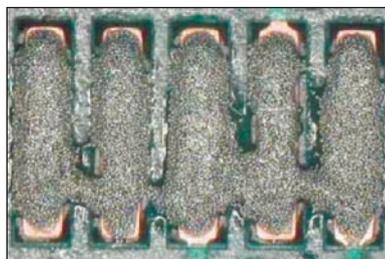
### Подсказка:

*При вводе толщины печатной платы в меню настроек не гадайте. Толщина – это известный параметр. При вводе толщины подтвердите данные с помощью набора толщиномеров. Убедитесь, что верхняя часть печатной платы расположена на одном уровне с верхней частью конвейера.*

Настройте **ширину конвейера для подачи платы** максимально узко, при этом ширина должна быть достаточной, чтобы не допускать зажатия плат при подаче в принтер и выходе из него. Этот параметр кажется незначительным, однако он способен улучшить результативность работы принтера и сократить время одного цикла за счет сокращения количества плат, положение которых требует корректировки во время прохождения через принтер.

**Скорость ракеля** или скорость цикла печати представляет собой скорость перемещения или скорость движения ракеля во время цикла трафаретной печати. Скорость ракеля может сильно отличаться в зависимости от процесса, при этом скорость, как правило, находится в диапазоне от 2,5 до 7 сантиметров в секунду.

Скорость ракеля прямо пропорциональна давлению ракеля. Чем больше скорость ракеля, тем выше давление или сила ракеля, необходимые для качественной трафаретной печати.



**Растекание**

С увеличением скорости и давления увеличивается температура на поверхности ракеля или трафарета. Это вызывает повышение вязкости пасты, что приводит к таким проблемам, как оползание пасты, растекание пасты под трафаретом или образование перемычек между контактными площадками. Кроме того, высокая скорость печати повышает скорость износа лезвий ракеля и трафарета, что приводит к смещению места подачи пасты или к подаче недостаточного или избыточного количества пасты. При высокой скорости печати требуется надежное закрепление платы и более частая очистка трафарета.

Высокоскоростная печать применяется только как вынужденная мера. Данный тип трафаретной печати, как правило, используется при необходимости уменьшения цикла печати для своевременной подготовки печатных плат к установке компонентов в автомате поверхностного монтажа и исключению его простоя.

Чтобы обеспечить качественную печать, необходимо тщательно контролировать такие критически важные параметры, как скорость печати и давление, а также скорость и дистанция вертикального отделения. Некритические параметры настраивают таким образом, чтобы оптимизировать время цикла

печати. Этот способ контроля печатного процесса обеспечивает высокую повторяемость процесса трафаретной печати и сохранит стабильные реологические свойства паяльной пасты.

**Подсказка:**

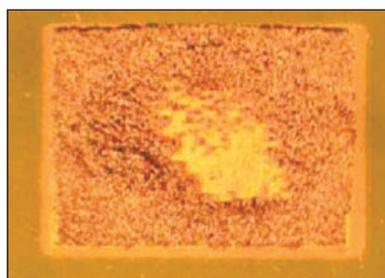
*Небольшое увеличение скорости печати (даже на 2,5 см в секунду) способно справиться с такими проблемами при печати, как низкая вязкость паяльной пасты, налипание пасты на ракели или плохое удаление пасты с трафарета из-за снижения вязкости паяльной пасты.*

*Если технологический процесс требует высокоскоростной печати, не забывайте тщательно следить за критически важными параметрами и дополнительной настройкой параметров, не имеющих критической важности.*



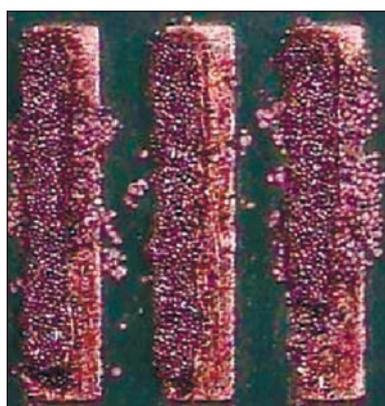
**Плохая очистка верхней поверхности**

**Давление ракеля** представляет собой давление прижима, измеряемое в фунтах или килограммах (фунтах или килограммах на квадратный дюйм), которое оказывает лезвие ракеля на поверхность трафарета во время печати. Давление ракеля должно обеспечить силу, необходимую для равномерного распределения паяльной пасты по всей поверхности печати, заполнения всех апертур трафарета и одновременной очистки **верхней поверхности трафарета**. Начальное значение давления ракеля задается в диапазоне от 0,31 до 0,68 кг на площадь 2,54 см<sup>2</sup>. Применение длинны ракеля, не меньшей чем область печати по ширине, позволит избежать избыточного давления на трафарет.



**Вычерпывание**

В идеале, длина лезвий ракеля должна быть равно области печати плюс 1,27–1,90 см, выступающих с обеих сторон. Использование более длинных лезвий допустимо, но выступающие края необходимо поддерживать с нижней стороны трафарета. Не рекомендуется использовать лезвия, длина которых значительно превышает область печати платы. Это может привести к чрезмерному растеканию пасты и, как следствие, к ее преждевременному высыханию. Не забывайте периодически пододвигать скребком весь излишек неиспользованной пасты в область ее применения.



**Растекание**

Избыточное давление ракеля может привести к **формированию выемок** (особенно при использовании полиуретановых ракелей) и **растеканию** пасты. Растекание пасты можно обнаружить при наличии пасты на маске печатной платы около контактной площадки. Еще один показатель высокого давления ракеля – сплюснутые частицы припоя на краю или в центре контактной площадки. Чтобы исправить этот дефект, понизьте давление таким образом, чтобы на верхней поверхности трафарета наносился небольшой мазок пасты. Затем увеличьте давление, чтобы полностью очистить верхнюю часть поверхности трафарета. Чтобы устранить другие виды брака, см. раздел «Скорость ракеля».

**Подсказка:**

*Давление ракеля должно быть достаточно высоким, чтобы обеспечить хорошую очистку поверхности трафарета. Если паста остается на поверхности трафарета в большом количестве, это может привести к забиванию апертур трафарета, браку при печати, недостаточному покрытию паяльной пастой контактных площадок и преждевременному высыханию пасты.*

*Слишком длинный рапель может привести к ускоренному высыханию пасты. Убедитесь в том, что излишек неиспользованной пасты регулярно счищается с трафарета и подается в область использования пасты.*

*Легким пастам с низкой вязкостью требуется меньшее давление по сравнению с плотными пастами; как правило, достаточно давления в 0,2 кг на 1 см длинны ракеля. Давление для более плотных паст с высокой вязкостью – 0,25 кг на один см длинны лезвия ракеля.*

*Скорость печати прямо пропорциональна давлению ракеля, поэтому, уменьшая скорость печати, вы*

сможете в целом понизить давление ракеля, сократив, таким образом, общее количество дефектов, вызываемых давлением.

**Дистанция вертикального отделения трафарета** – это настраиваемое расстояние, которое отделяет печатную плату и трафарет строго вертикально при заданной регулируемой скорости, далее именуемой скоростью разделения.

По завершении рабочего хода и после любой возникшей задержки при поднятии ракеля или задержки разделения начинается цикл разделения. Этот управляемый процесс продолжается до достижения заданного значения дистанции разделения, во время которого скорость разделения печатной платы и трафарета увеличивается до максимальной.

Данная функция позволяет контролировать очистку апертур трафарета от паяльной пасты, обеспечивая более равномерное и многократное нанесение пасты.

Дистанция вертикального отделения задается достаточно большой, чтобы вся осевшая паста была счищена с апертур трафарета до увеличения скорости разделения, которая начинает увеличиваться в тот момент, когда расстояние отделения достигает заданного значения.

Расстояние разделения указывается в миллиметрах. Рекомендованная исходная точка при определении значения дистанции вертикального отделения – 2,54 мм, такое расстояние обеспечивает полное удаление пасты из апертур трафарета. Расстояние можно уменьшить после начала производственного процесса, для того чтобы оптимизировать время цикла печати. Если расстояние разделения будет слишком маленьким, это негативно отразится на разрешении и качестве печати.

Необходимо убедиться в том, что расстояние вертикального отделения достаточно. Это поможет компенсировать любой негативный прогиб или зазор, вызванный короблением платы или иными причинами. Любой возможный нежелательный прогиб компенсируется за счет увеличения расстояния разделения, которое призвано обеспечить достаточный зазор между пастой и апертурами.

**Подсказка:**

*Задавая управляемое расстояние отделения, помните, что чем больше расстояние, тем дольше длительность цикла. Если задать расстояние отделения больше расстояния, фактически необходимого для очистки апертур от пасты, вы по большому счету не получите практической выгоды.*

*При вводе значений нового или незнакомого вам продукта установите максимальное значение для расстояния отделения, а после начала процесса печати откорректируйте значение.*

**Скорость отделения** представляет собой регулируемую скорость, которая наряду с расстоянием отделения позволяет контролировать разделение печатной платы и трафарета после печати.

По завершении рабочего хода и после любой возникшей задержки при поднятии ракеля или задержки разделения начинается цикл отделения печатной платы и трафарета на регулируемой скорости, которую определяет скорость отделения. Регулируемая скорость сохраняется, и процесс отделения продолжается до достижения заданного значения разделения, во время которого скорость разделения увеличивается до максимального значения.

Наряду с расстоянием разделения этот параметр необходим, чтобы обеспечить отделение паяльной пасты от апертур трафарета. Скорость разделения выражается в миллиметрах или в процентах скорости по оси.

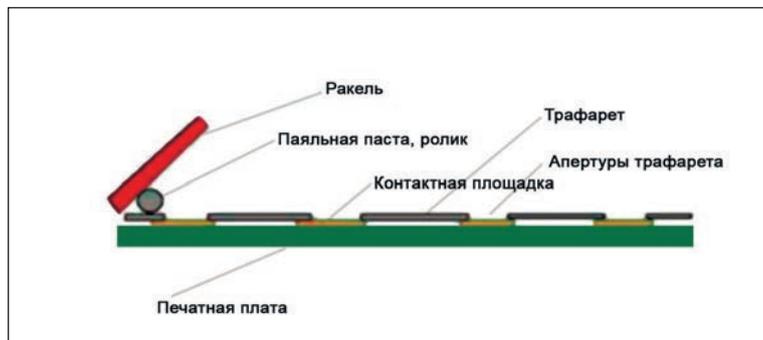
В целом меньшая скорость разделения обеспечивает более надежное и стабильное нанесение пасты. Слишком высокая скорость отделения может привести к образованию такого дефекта, как «собачьи уши», пики, затекание, засорению апертур трафарета или неравномерному распределению пасты. *Подробное описание этих вариантов брака приводится в разделе «Обзор дефектов печати».*

Рекомендованное начальное значение скорости разделения составляет, как правило, 0,254 мм – 0,508 мм в секунду или 10–20 % скорости по оси Z при монтаже корпусов с мелким шагом и BGA. При стандартных процессах трафаретной печати скорость может составлять 0,762 мм – 1,27 мм в секунду, или 30–50 % скорости по оси Z. Несмотря на тот факт, что во многих случаях процесс может проходить

на максимальной скорости разделения с учетом периода цикла печати или других ограничивающих факторов, контроль скорости лучше, чем его отсутствие.

**Подсказка:**

*При печати микросхем с малым шагом и микросхем BGA необходимо задать минимальную скорость разделения.*



**Общий вид процесса трафаретной печати**

**Печатный зазор** – это регулируемое расстояние между поверхностью печатной платы и нижней частью трафарета. Зазор необходим, чтобы облегчить очистку апертур трафарета от паяльной пасты. Кроме того, зазор помогает увеличить объем пасты на модуле.

Использование паяльной пасты с низкой вязкостью и печатный зазор способны формировать перемычки из-за растекания пасты в нижней части трафарета. Пасты другого типа могут демонстрировать признаки плохой однородности при нанесении пасты или способствовать получению других неудовлетворительных результатов печати.

нанесении пасты или способствовать получению других неудовлетворительных результатов печати.

При правильной калибровке вашего оборудования, если верно указана толщина платы и зазор установлен на нулевом значении, получается **контактная печать**. Печатная плата и трафарет (во время печатного цикла) при контакте должны едва соприкоснуться друг с другом. При соприкосновении с платой поверхность трафарета не должна демонстрировать признаки деформации, направленной вверх (нежелательная деформация по оси Z). При корректном вводе эта настройка позволяет полностью совместить трафарет и контактные площадки во время печатного цикла, предотвращая, таким образом, образование перемычек, вызванных растеканием пасты, даже при сверхмалых размерах компонентов. Кроме того, контактная печать обеспечивает более равномерное распределение пасты и однородную высоту пасты при нанесении.

**Подсказка:**

*При проверке режима контактной печати убедитесь, что перед измерением величины зазора печати был отключен вакуумный захват платы.*

*Несмотря на очевидные преимущества зазора, одна из наиболее характерных его проблем – неравномерность качества нанесения пасты.*

Циклы **очистки трафарета** будут зависеть в значительной степени от качества изготовления трафарета и качества апертур, точности настройки принтера и качества финишного покрытия печатной платы, давления при печати, типа ракеля, вязкости пасты и даже параметров температуры и влажности помещения.

Трафареты необходимо очищать достаточно часто, чтобы полностью удалить любые остатки флюса с нижней части, настолько часто, чтобы эти остатки флюса не высыхали, что намного усложняет процесс очистки.

В некоторых случаях трафарет необходимо чистить после печати каждой платы, в других же очистка может быть необходима, сколь это ни удивительно, только один раз за смену или может не требоваться совсем. Вне зависимости от частоты очистки трафарета один из способов проверить необходимость очистки – извлечь трафарет и осмотреть его нижнюю поверхность.

Что касается чистящих растворов для трафарета, для начала рекомендуется выполнить сухую очистку поверхности трафарета перед автоматической очисткой низа трафарета. Если сухая очистка неэффективна, рекомендуется использовать соответствующий чистящий раствор для очистки трафарета.

Хороший чистящий раствор способствует удалению излишков флюса под трафаретом, не ухудшая при взаимодействии свойства паяльной пасты. В самом благоприятном случае выбранный чистящий

раствор должен оказывать благотворное воздействие на паяльную пасту, предотвращая ее высыхание и обеспечивая легкое извлечение пасты из апертур трафарета.

При ручной очистке трафарета чистящие растворы должны наноситься безворсовой салфеткой и не напрямую на поверхность трафарета. Это позволит избежать попадания брызг раствора на паяльную пасту, которая уже распределена по трафарету.

Пользуйтесь чистящими растворами в умеренных количествах, не забывайте удалять излишки. Большинство чистящих растворов не удаляют остатки масла, которые могут препятствовать раскатке паяльной пасты во время печатного цикла. Некоторые растворы могут смешиваться с паяльной пастой, что приводит к изменению в химической формуле пасты и вызывает ее засыхание или растекание.

#### Подсказка:

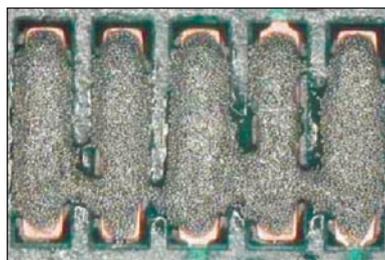
*Чтобы задать базовое число циклов печати между операциями очистки трафарета, прежде всего, проверьте правильность задания начальных установок принтера. Затем, начав с очистки трафарета, приступайте к печати. Посчитайте количество отпечатанных плат, когда оцениваете качество нанесения паяльной пасты, как правило, паста начинает «растекаться» по краям, когда трафарет начинает заполняться. Запишите подсчитанное количество плат, очистите трафарет и повторите цикл очистки после печати, уменьшив количество отпечатанных плат на 2–5 штук. После печати этого количества плат проверьте последнюю плату из отпечатанных. Если после этого качество печати хорошее, примите данное количество в качестве начального значения для очистки трафарета.*

*Хотя изопропиловый спирт, как правило, вполне пригоден в качестве чистящего раствора, он же зачастую несовместим с химической формулой большинства флюсов и способен значительно сокращать срок службы паяльной пасты, вызывая ее засыхание.*

*Любые посторонние вещества, взаимодействующие с химическим составом пасты, считаются загрязняющими веществами, которые способны ухудшить качество пасты. Можно пользоваться только на 100 % совместимыми продуктами.*

## Обзор дефектов печати

**Ключевые слова: перемычки, пропуск контактных площадок, слишком большой зазор печати, засорение трафарета, дефект «собачьи уши»/пики**

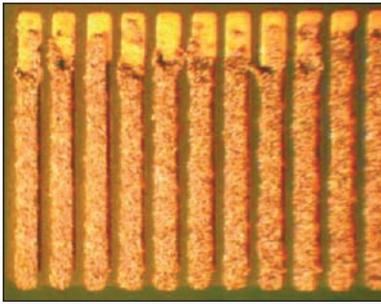


#### Образование перемычек

Зачастую на формирование перемычек оказывает влияние качество паяльной пасты или ее реологические свойства. Либо во время печати был излишек пасты, либо паста была недостаточно вязкой. При наличии одного из вышеуказанных условий паста после установки компонентов может вымещаться из-под выводов. Еще одна возможная причина – давление ракеля. При высоком давлении ракеля может настолько ухудшиться вязкость пасты, что она утратит необходимую консистенцию, что может привести к формированию перемычек.

Если вы убедились в том, что формирование перемычек происходит в принтере, и уверены в том, что плата установлена на надлежащей высоте, вернитесь и снова проверьте зазор печати. Существует вероятность того, что кто-то мог внести изменения. Восстановите параметры и переходите к следующему этапу.

Если перемычки возникают на одном и том же участке, проверьте надежность закрепления платы. Этот достаточно распространенная проблема при работе с мульти заготовками и двухсторонними печатными платами.



**Отрыв пасты при печати**

Одна из наиболее распространенных проблем настройки принтера – настройка параметров вертикального отделения. Если у вас наблюдается **отрыв пасты** при печати, проверьте эти настройки. Даже если вы уже ввели данный параметр в настройках, вы могли не проверить фактические результаты при печати.

Когда плата **слишком сильно прижата** к трафарету и принтер начинает процесс разделения, при разделении может произойти отрыв пасты от контактной площадки. Это происходит, потому что трафарет сместился вверх под давлением вслед за платой, и, поскольку принтер проводит точное разделение, настройки его предполагают, что между платой и трафаретом произошел легкий контакт. Принтеру неизвестно о том, что плата была сильно прижата к трафарету.

При слишком сильном прижатии, кроме того, вы можете столкнуться с нестабильностью печати на мультиплицированных панелях – одна панель может печатать хорошо, другие могут печатать с такими дефектами, как переемычки или разрывы. При неправильной настройке принтера плата будет соприкоснуться только с одной областью и не будет соприкасаться с другой. Если это происходит в результате деформации платы, не пытайтесь компенсировать деформацию сильным прижатием платы – это только добавит проблем.

Чтобы правильно настроить параметр вертикального отделения и устранить отрыв пасты при печати, убедитесь в том, что плата едва соприкасается с нижней частью трафарета. Кроме того, проверьте: качество очистки поддерживающих пинов (отсутствие на них присохших частичек пасты), сцепление бокового зажима с платой, плотную фиксацию платы в течение всего процесса.

Распространенный дефект, связанный с неверно заданной дистанцией вертикального разделения, – **засорение апертур трафарета**, при этом паяльная паста остается в апертурах трафарета после отрыва от контактных площадок платы.



**Собацьи уши**

Еще один подобный дефект – это **собацьи уши или пики**, при толщине нанесенной пасты на краях контактной площадки больше чем в центре.

Не все паяльные пасты имеют одинаковое качество. Некоторые бессвинцовые паяльные пасты прилипают к ракелю, вместо того чтобы стекать в трафарет. В этом случае уже после нескольких печатных циклов налицо будет виден недостаток пасты. При возникновении подобной ситуации следует обратить внимание на контроль печатного процесса. С помощью лопатки необходимо удалить налипшую пасту с ракеля, чтобы апертуры трафарета были обеспечены достаточным количеством пасты.

Кроме того, необходимо понимать, что, в зависимости от типа бессвинцового припоя, финишного покрытия контактной площадки и химического состава паяльной пасты, существует вероятность нерастекания бессвинцовой пасты к краям контактной площадки. В этом случае, в зависимости от химического состава пасты, требуется корректировка соотношения апертуры к контактной площадке 1:1.

## Монтаж компонентов

**Ключевые слова:** смещение компонентов, отрыв компонентов, прогиб платы, давление при установке, эффект «рекламного щита»

Слишком высокая скорость монтажа компонентов провоцирует, как правило, большое количество резких колебаний платы, что может привести к **смещению и даже к сбрасыванию компонентов с платы**.

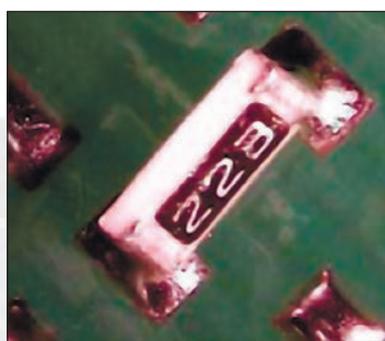
Поскольку интенсивность колебаний связана со скоростью, единственный действенный способ коррекции – уменьшить (понижить) скорость монтажа компонентов.

Самая частая причина смещения элементов – прогиб платы. **Прогиб платы** можно устранить за счет закрепления платы. Закрепляйте плату большим количеством поддерживающих пинов.

Зачастую есть основания подозревать слишком низкую липкость паяльной пасты. Иногда увеличение вязкости пасты способно устранить данный дефект, но не проблему как таковую. Вам нужно внимательно изучить все переменные факторы.

Так же как и при настройке принтера, на этапе монтажа компонентов критически важно правильно **закрепить плату**. Такие переменные факторы, как тонкие или более гибкие печатные платы и высокое давление нажатия во время установки, создают возможность для деформации печатной платы в процессе сборки. Ускоренный подъем монтажной насадки позволяет изогнутой печатной плате резко вернуться в исходное положение, что приводит к сбрасыванию или другим монтажным проблемам. Это случается со многими типами компонентов, но чаще с большими, например с танталовыми конденсаторами, в связи с большой массой компонента.

Кроме того, важно проверять **давление (силу нажатия) монтажа**. Если давление в норме, проверьте компоненты на соответствие толщины либо правильный ввод данных толщины компонентов монтажа. Избыточное давление при монтаже бескорпусных компонентов может привести к растеканию припоя из-за выдавливания пасты с контактных площадок.



**Эффект «рекламного щита»**

В отличие от эффекта «надгробного камня», **эффект «рекламного щита»** напрямую зависит от монтажного процесса. Эффект «рекламного щита», как правило, виден на пассивных компонентах - резисторах и конденсаторах. В отличие от эффекта «надгробного камня», при котором один вывод компонента припаян к контактной площадке, а другой не припаян и ориентирован «в небо», при эффекте «рекламного щита» оба вывода компонента запаяны в плату, но компонент стоит вертикально на боковой стороне.

Если возникает эффект «рекламного щита», нужно проверить правильность ввода в автомат установки компонентов координаты точки захвата компонента в питателе, скорость подачи компонентов в питателе, тип ленты питателя, отсутствие препятствий на пути перемещения компонента, допуск на положение компонента или перекося ленты питателя.

## **Пайка (сплав с содержанием олова 63 %, свинца 37 % и сплав с содержанием олова 62 %, свинца 36 %, серебра 2 %)**

**Ключевые слова:** температурный профиль пайки, оплавление пасты инфракрасным излучением, конвекционное оплавление пасты, нагрев по термопрофилю: нагрев - пик, нагрев по термопрофилю: нагрев - выдержка - пик, разность температур.

Настройка температурного профиля пайки – трудоемкая и творческая задача. На сегодняшний день лучший способ получить информацию о термических процессах, которые происходят с изделием во время оплавления, – присоединить к нему термодатчик и потратить время и средства на оптимизацию **температурного профиля** пайки.

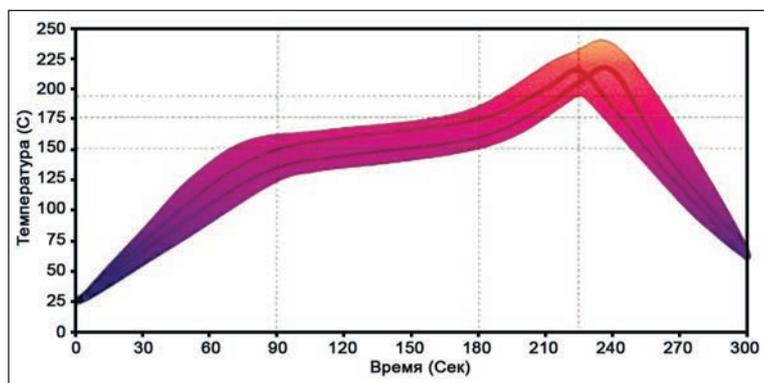
При неправильном построении термопрофиля либо в отсутствие контроля над его выполнением возможно появление различных дефектов, вплоть до эксплуатационных отказов. Как видно на графике ниже, в целом гораздо лучше оплавливать паяльные пасты с использованием быстрых профилей, которые разогревают пасту до температуры плавления за 3,5 минуты. Однако параметры оптимального профиля зависят от большого количества таких факторов, как функциональные возможности печи, положение платы, типы компонентов платы, и прочих факторов.

Определять профиль нужно с использованием плат, на которые установлены компоненты; в противном случае вы не сможете установить фактическое значение теплопоглощения изделия. Следовательно, профиль определяют на изделии, технологический процесс сборки которого вы

намерены оптимизировать. Иными словами, оптимальные показатели профиля для одного изделия могут быть неудовлетворительными для другого изделия. Таким образом, чтобы получить оптимальный профиль для пайки каждого изделия, вам, вероятно, придется, определить профиль для каждого из них по отдельности (особенно если изделия отличаются габаритами, плотностью и типами компонентов).

Для получения оптимальных результатов пайки в печах старого образца (**с инфракрасным нагревом**) требовался профиль типа «нагрев-выдержка-пик» (RSS). И наоборот, современные более производительные печи с **конвекционным** нагревом обеспечивают такое же или более высокое качество пайки при применении профиля типа «нагрев-пик» (RTS).

Зона выдержки профиля типа **RSS** обеспечивает равномерный прогрев печатного узла перед нагревом до температуры плавления припоя. Поскольку **разница температур** (наибольшая разница температур в пределах печатного узла) и проблемы, связанные с ней, – редкое явление при пайке в современных печах, зона выдержки может оказаться ненужной (однако все зависит непосредственно от плотности монтажа). Если зона выдержки не требуется, профиль можно заменить профилем типа нагрев-пик.



Создание профиля RSS начинается с нагрева печатного узла с регулируемой скоростью до температуры около 150 °C за 60 секунд. Скорость нагрева не должна превышать 2–3 °C/с, чтобы предотвратить разбрызгивание припоя и не подвергать компоненты термоудару.

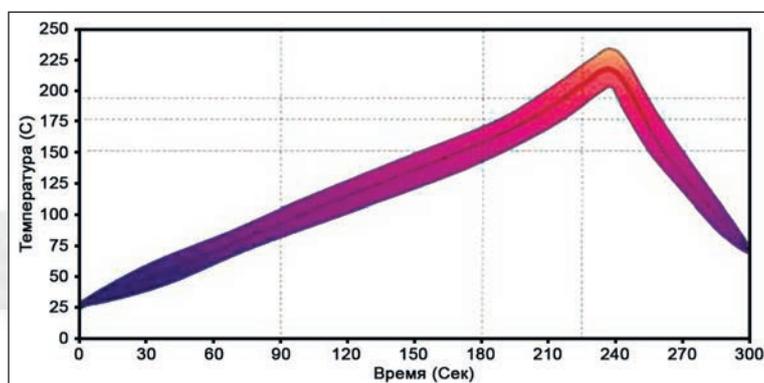
После нагрева печатный узел выдерживается при температуре в 150–170 °C в течение того же времени – 60 секунд. Температура во время выдержки не должна превышать 170 °C, поскольку активирующие

вещества большинства паяльных паст разрушаются при перегреве.

После выдержки печатный узел нагревается до пиковой температуры и происходит оплавление при температуре выше 183 °C в течение заданного времени, которое составляет 45 секунд ( $\pm 15$  с). Этого времени достаточно для формирования прочного, не имеющего пустот, паяного соединения.

Длительность термопрофиля от 45 °C до пиковой температуры в  $215 \pm 5$  °C должна находиться в диапазоне от 3 до 3,5 минут. Скорость охлаждения печатного узла не должна превышать 4 °C в секунду во избежание термического повреждения компонентов. В целом, чем ниже скорость охлаждения, тем выше механическая прочность соединения.

**Профиль с линейным нагревом до пиковой температуры нагрев-пик (RTS)** может использоваться с любым сплавом или припоем (включая припой, не содержащие свинца) и является предпочтительным для пайки с применением паст на основе растворимых водой флюсов. Профиль RTS – не лучший выбор, если по каким-либо причинам в пределах печатного наблюдается большая разность температур.



Профиль нагрев-пик RTS имеет ряд преимуществ по сравнению с профилем RSS. Поскольку скорость нагрева в профиле RTS намного меньше (0,7 – 1,8 °C в секунду), снижается вероятность возникновения дефектов платы и компонентов, связанных с термоударом, вызываемых слишком высокой скоростью нагрева.

Из описания следует, что профиль RTS обеспечивает плавный нагрев сборки от комнатной до пиковой температуры. По сути, задать профиль RTS – задача

простая. В зонах предварительного нагрева осуществляется линейный нагрев сборки, благодаря чему предотвращается термоудар, флюс активируется, летучие фракции флюса испаряются, подготавливая

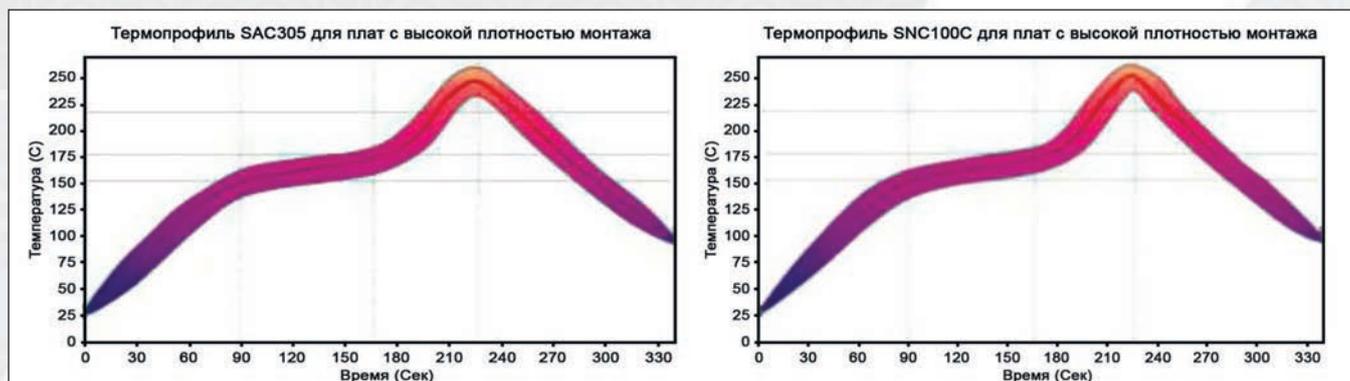
сборку к плавлению припоя.

Стандартное значение скорости нагрева профиля RTS составляет  $0,7-1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  в секунду в течение всего линейного этапа нагрева (90–120 секунд).

Как и в случае с профилем RSS, длительность термопрофиля RTS, начиная от температуры окружающей среды до пиковой температуры в  $215 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , не должна превышать 3–3,5 минуты. Повторимся, пиковая температура не может превышать  $215 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  при выдержке в течение  $45 \pm 15$  секунд при скорости охлаждения, не превышающей  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  в секунду.

## Пайка (бессвинцовые сплавы)

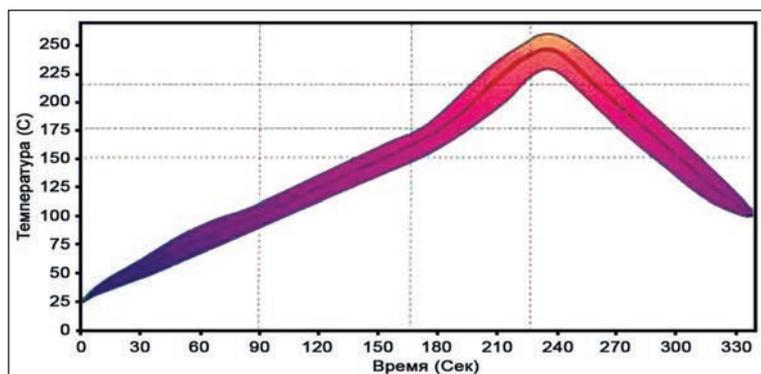
Пайка один из процессов поверхностного монтажа, качество которого может быть снижено при переходе на бессвинцовые сплавы. Бессвинцовым припоям требуется более высокая температура пайки, в отличие от припоев, содержащих свинец и олово, пиковая температура которых находится в диапазоне  $210-220\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; стандартный температурный диапазон сплавов, содержащих олово, серебро и медь, –  $235-245\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; температурный диапазон сплавов, не содержащих серебро, и сплавов с низким содержанием серебра составляет  $245-260\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Термопрофиль для безсвинцовых паст оплавления должен обеспечивать снижение до минимума температурной разницы и максимального увеличения смачивания за счет выбора оптимального температурного профиля (в том числе охлаждения), а также может обуславливать необходимость замены монтажного оборудования.



### Профиль типа «Нагрев выдержка пик»: Рекомендованный тип профиля

Профиль типа «нагрев-выдержка-пик» (RSS). Характеристики профиля.

- Стандартное значение скорости нагрева температуры профиля составляет  $1,7-2,1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ .
- Нагрев осуществляется до  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ , затем печатный узел выдерживается в течение 30 - 60 секунд.
- Температура в зоне выдержки должна находиться в диапазоне  $150-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При превышении температуры разрушаются активизирующие вещества в составе пасты.
  - Как только печатный узел достиг точки температурной устойчивости, ее нагревают до пиковой температуры.
  - Пиковая температура составляет  $240\text{ }^{\circ}\text{C}$  ± Время выдержки при температуре плавления составляет  $45 \pm$  Длительность температурного профиля не может превышать  $2\frac{1}{4} - 3\frac{1}{2}$  минуты при нагревании от комнатной до пиковой температуры для сплавов, содержащих олово, серебро и свинец, или  $3\frac{1}{2} - 4\frac{1}{2}$  минуты для сплавов с низким содержанием серебра или сплавов, его не содержащих.
  - Необходимо контролировать скорость охлаждения, она не должна превышать  $4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ .



### Профиль типа «нагрев пик» (RTS)

Профиль типа «нагрев-пик» (RTS). Характеристики профиля.

- Стандартное начальное значение градиента нагрева составляет  $0,8-0,9\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ .
- Профиль представляет собой прямую линию, не может выглядеть, как выпуклая кривая.
- $2/3$  профиля проходит при температуре ниже  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Пиковая температура составляет  $240\text{ }^{\circ}\text{C}$  ± Время выдержки при температуре плавления составляет  $60 \pm$  Длительность температурного профиля не может

превышать 3½ – 4 минуты при нагревании от комнатной до пиковой температуры.

- Необходимо контролировать скорость охлаждения, она не должна превышать 4°C/сек.

#### Подсказка:

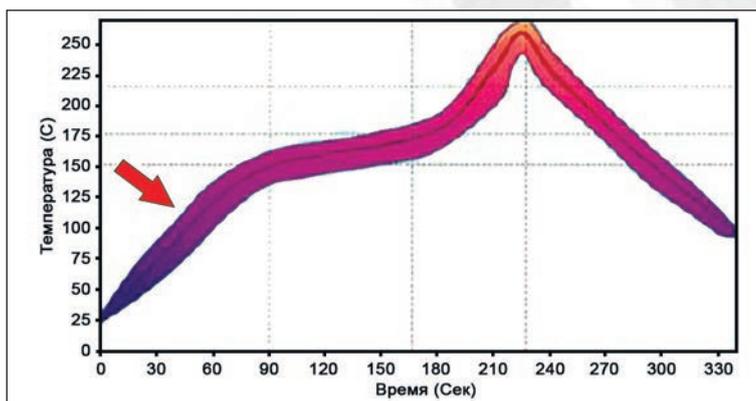
Дополнительную информацию о бессвинцовых припоях можно получить на сайте: [www.leadfree.com](http://www.leadfree.com).

## Описание специфических функций профиля

Предварительный нагрев представляет собой первый этап профиля пайки. Нагревание позволяет компонентам разогреться, избежав термоудара. Паяльная паста начинает подсыхать за счет испарения растворителя. Система активных компонентов начинает работу по очистке поверхностей и контактных площадок, с которыми она вступает во взаимодействие.

#### Обнаружение и устранение проблем - слишком высокая скорость предварительного нагрева:

- Разбрызгивание флюса/паяльной пасты (быстрое закипание)
- Преждевременная активизация пасты
- Истощение активирующих веществ
- Эффект «Попкорна»
- Плохая смачиваемость, плохое качество пайки без флюса
- Низкое качество остатков флюса – непрозрачные остатки цвета янтаря
- Влияние на пиковую температуру (отсутствие активации/остатки носителя)
- Матовая зернистая структура соединений

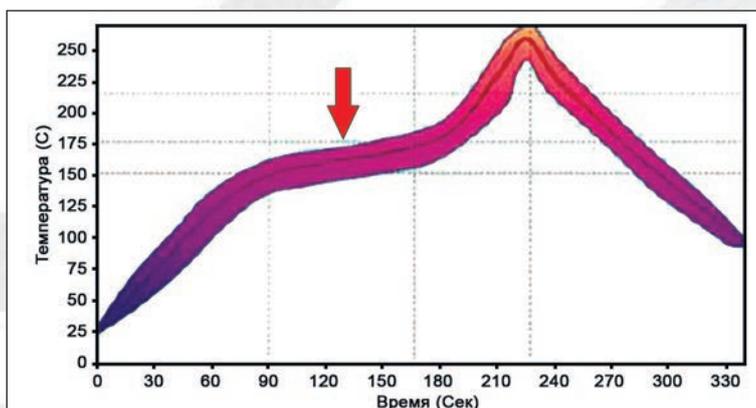


Скорость нагрева

#### Обнаружение и устранение проблем - слишком низкая температура предварительного нагрева:

- Флюс растекается на поверхности платы, принося с собой мелкие частицы припоя, которые вызывают формирование шариков припоя
- Миграция припоя – сдвиг пасты
- Паяльная паста сдвигается с компонентов контактных площадок во время трафаретной печати или скапливается под центром компонента во время процесса пайки. Как только паста достигает точки плавления, поверхностное натяжение прижимает компонент к контактным площадкам и вытесняет расплавленную пасту из-под компонента.

Далее – этап выдержки. Выдержка нужна, чтобы равномерно прогреть печатный узел перед нагревом до температуры плавления. Выдержка нужна, чтобы уменьшить температурную разницу на разных частях печатного узла, особенно если плата состоит из крупных и мелких компонентов. (Профиль RTS типа не предусматривает этапа выдержки. Однако за счет низкой скорости нагрева термопрофиль характеризуется постоянной температурной однородностью.)



Зона выдержки

#### Обнаружение и устранение проблем - Зона выдержки:

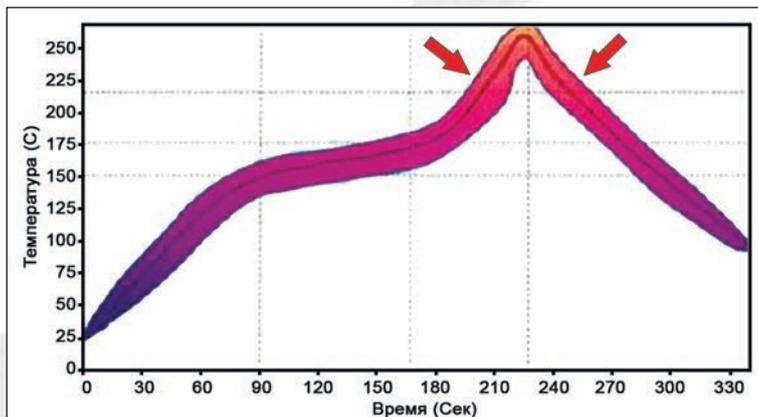
- Матовая зернистая структура паяных соединений – проверьте время и температуру выдержки

- Ухудшение качества носителя флюса
- Ухудшение качества остатков флюса из-за истощения носителя
- Высокое количество пустот при пайке. Слишком высокая температура на этапе выдержки может стать причиной образования пустот.
- Эффект «надгробного камня» – возникает на позднем этапе выдержки. Переход из твердого в расплавленное состояние требует времени. Один вывод плавится быстрее, чем другой, при этом поверхностное натяжение действует на противоположную сторону компонента и притягивает его, поднимая вверх.

Пайка – это завершающий процесс, который проходит успешно в случае верного протекания двух других этапов температурного профиля. Пайка – это этап окончания активизации флюса, во время которого сплав достигает точки плавления.

#### **Обнаружение и устранение проблем - превышение времени выдержки при температуре выше точки плавления:**

- Матовая зернистая структура паяных соединений
- Плохая смачиваемость или ее отсутствие
- Подверженное деформации/мягкое паяное соединение (крупные зернистые структуры)
  - Низкое количество флюса
  - Низкое качество остатков флюса (остатки темнеют, поверхность покрывает слишком большим количеством трещин)



Пайка

#### **Обнаружение и устранение проблем - недостаточная выдержка при температуре выше точки плавления:**

- Матовая зернистая структура паяных соединений
- Несмачиваемость – плохое растекание припоя
- Стандартное или хорошее качество остатков флюса
- Большое количество остатков флюса
- Хрупкие паяные соединения из-за неудовлетворительной интерметаллической структуры
- Образование пустот

#### **Обнаружение и устранение проблем - превышение пиковой температуры:**

- Матовая зернистая структура паяных соединений
- Отсутствие смачивания
- Низкое качество остатков флюса – остаточные вещества в виде янтаря или гари
- Низкое качество флюса
- Большая температурная разница между компонентами и печатной платой
- Повреждение компонентов

#### **Обнаружение и устранение проблем - температура ниже пиковой:**

- Матовая зернистая структура паяных соединений – недостаточное оплавление припоя
- Плохая смачиваемость или несмачиваемость
- Стандартное или хорошее качество остатков флюса
- Большое количество остатков флюса
- Образование пустот
- Хрупкие паяные соединения из-за неудовлетворительной интерметаллической структуры

#### **Обнаружение и устранение проблем - высокая скорость охлаждения:**

- Термоудар/повреждение компонентов
- Растрескивание остатков флюса
- Эффект «надгробного камня» – как правило при пайке в азоте
- Крупная зернистая структура

### Обнаружение и устранение проблем - низкая скорость охлаждения:

- Крупная зернистая структура
- Матовая зернистая структура паяных соединений
- Слабое, более подверженное деформации паяное соединение

### Протяженность температурного профиля

#### Обнаружение и устранение проблем - слишком долгий температурный профиль:

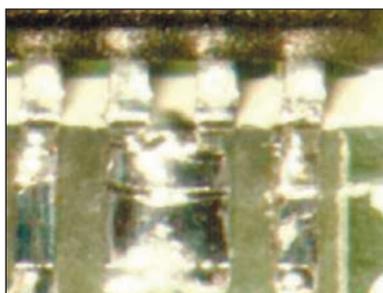
- Низкая паяемость
- Плохая смачиваемость или несмачиваемость
- Матовая зернистая структура паяных соединений
- Низкое качество остатков флюса – остаточные вещества в виде янтаря или гари

#### Обнаружение и устранение проблем - слишком короткий температурный профиль:

- Низкая паяемость или ее отсутствие
- Плохая смачиваемость или несмачиваемость
- Хрупкие паяные соединения
- Матовая зернистая структура паяных соединений
- Излишек остатков флюса

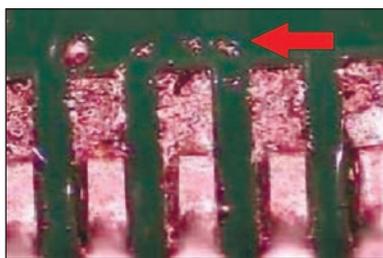
## Обзор дефектов пайки

**Ключевые слова:** образование перемычек, растекание/ миграция припоя, шарики припоя, эффект «надгробного камня», эффект «попкорна», коробление компонентов, копланарность, QFN-корпус, перемычки, разрыв, пустоты, прочие дефекты, подвижность компонента, уменьшение размера апертуры, давление при монтаже, равномерная глубина, профиль



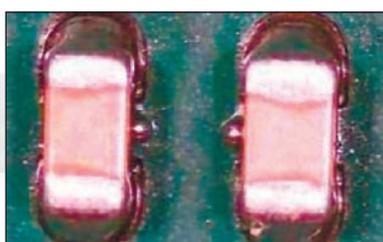
Образование перемычек

Если **перемычки** появились на плате после ее извлечения из печи, виной этому растекание или миграция припоя. Как правило, этот дефект вызван свойствами самой пасты, но иногда (в случае использования паст, остатки которых не требуют отмывки после пайки, и некоторых паст на основе канифоли) проблему можно устранить настройкой температурного профиля: увеличьте скорость нагрева до 2,5–3 °C в секунду при выдержке в 150°. Помните: чем дольше выдержка, тем ниже активность пасты на этапе оплавления. Водорастворимые пасты – это отдельная история: чем дольше такая паста находится в зоне выдержки, тем ниже активность флюса (пока не испарятся галоидные соединения).



Шарики припоя

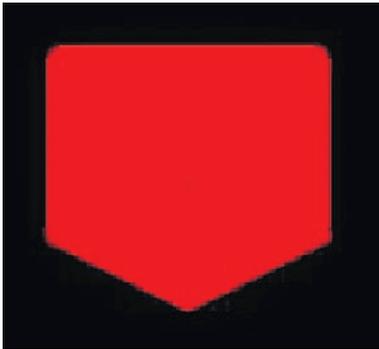
Причиной формирования **шариков припоя** является неудачный выбор профиля пайки, хотя иногда этот дефект обусловлен использованием окисленных паст или паст, которые нанесены на печатные платы задолго до оплавления. Как правило, причина кроется в слишком низкой или слишком высокой скорости нагрева при оплавлении. Слишком быстрый нагрев печатного узла не позволяет летучим фракциям пасты испариться перед оплавлением припоя. Сочетание летучих фракций и расплавленного припоя приводит к разбрызгиванию припоя (появлению шариков) и разбрызгиванию флюса.



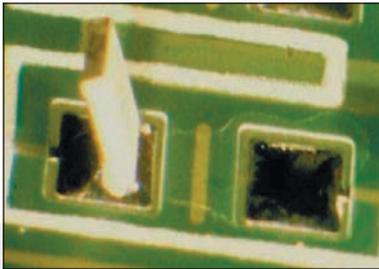
Наплавка припоя

**Образование сфер припоя** зачастую вызвана избытком паяльной пасты. Кроме того, этот дефект может быть вызван вязкостью пасты и неправильным выбором профиля. При возникновении этого дефекта рекомендуется при печати использовать трафарет с меньшим размером апертур по сравнению с контактной площадкой.

Один из распространенных способов уменьшения размеров апертур трафарета, который позволяет уменьшить количество используемой пасты, – **пятиугольная апертура в форме бейсбольной базы**. Такая форма позволяет уменьшить количество пасты, используемой во время



**Бейсбольная основная база**



**Эффект «надгробного камня»**

трафаретной печати, и предотвращает вытекание пасты с контактных площадок во избежание образования шариков и сфер. Помните: важно не столько уменьшить количество используемого материала, сколько предотвратить оползание пасты с контактных площадок.

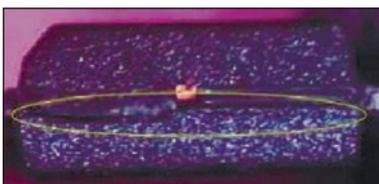
Еще один достаточно распространенный дефект – **эффект «надгробного камня»**, который, как правило, обусловлен качеством смачивания. Данный дефект зачастую появляется на этапе оплавления, когда на одной из контактных площадок припой расплавился раньше, чем на другой, и сила поверхностного натяжения расплавленного припоя подняла компонент в вертикальное положение.

Эффект «надгробного камня» – это результат большого перепада температуры в пределах платы или плохое смачивание припоем контактной площадки или вывода компонента. Если в процессе используется азот, эффект «надгробного камня» может возникать из-за установленной вами температуры охлаждения.

Медленное оплавление припоя представляет собой способ устранения эффекта «надгробного камня». Оплавление происходит на том участке профиля, где разогрев доходит до пиковой температуры. Если используется сплав Sn63/Pb37, переход из жидкой фазы в твердую и наоборот происходит в точке плавления 183 °С.

Вблизи этой точки разность температур в пределах платы должна быть минимальной. Кроме того, не забывайте: чем больше на плате варьируется плотность расположения компонентов из-за наличия больших заземленных площадок, тем более вероятно возникновение подобных дефектов и тем тщательней нужно следить за температурой в пределах платы при достижении точки плавления. Более того, эффект «надгробного камня» зависит от толщины слоя нанесенной пасты: толще слой, чаще возникает эффект. Появление этого дефекта можно исключить заменой размера частиц припоя, которые смогут замедлить смачивание и будут препятствовать поднятию компонентов.

К другим факторам, вызывающим появление эффекта «надгробного камня», относится смещение компонентов и/или пасты. Свести к минимуму частоту возникновения эффекта «надгробного камня» можно за счет проверки положения пасты и компонентов – они должны быть на своих местах.



**Эффект «Попкорна»**

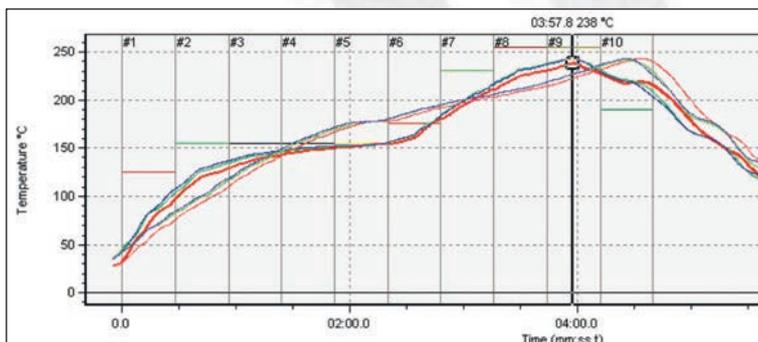
**Эффект «Попкорна»** – это эффект растрескивания микросхем при пайке. Эффект «Попкорна» связан с высокой скоростью нагрева при преодолении точки кипения воды (100 °С) и зачастую определяется качеством и условиями хранения компонентов. Общее правило гласит: чем больше влаги впитал компонент, тем ниже должна быть скорость его нагрева до температуры в 100 °С. Чтобы уменьшить частоту возникновения дефекта, необходимо следить за условиями хранения и просушивать компоненты перед пайкой.



Доказано, что эффект «голова на подушке» – типичная проблема бессвинцовой паяльной пасты. Возникновение эффекта «голова на подушке» (на фотографии справа) зависит от производителя BGA-корпуса и химического состава пасты. Этот дефект возникает как следствие **коробления компонента** как после его изготовления (которое иногда называют **компланарностью**), так и зачастую коробления в процессе плавления. Если компонент смещается даже на несколько тысячных дюйма на этапе оплавления в печи, с большей долей вероятности не получится избежать эффекта «голова на подушке». Этот дефект считается дорогостоящим, поскольку в большинстве случаев его обнаруживают на более позднем этапе - в процессе эксплуатации. Дефект этого типа устраняется путем замены пасты, подбором соответствующего температурного профиля либо при возникновении деформации плоскости – наложением более толстого слоя пасты.

## Отладка профиля при короблении плат

Один из способов оплавления, который помогает устранить эффект «голова на подушке», – применение профиля типа «нагрев – выдержка – пик». Для пайки применяется стандартный совместимый со сплавом профиль типа «нагрев – выдержка – пик», однако в начале стадии охлаждения необходимо контролировать ее скорость непосредственно перед достижением сплавом твердого состояния. Выдержка в течение 15–25 секунд при температуре на несколько градусов ниже температуры отверждения, помогает убрать коробление BGA-корпуса, погрузить корпус в расплавленную паяльную пасту и сформировать правильные интерметаллические соединения. Вышеописанный профиль представляет собой стандартный профиль нагрева и выдержки с дополнительной стадией: тип профиля «нагрев – выдержка – пик – выдержка» (жирная линия).



Еще один дефект, характерный для BGA-корпусов, который является прямым следствием применения бессвинцового сплава, – это образование пустот в паянном соединении контактной площадки и шарика BGA (на фотографии справа). Этот дефект также связан с химическим составом и типом конструкции платы.



Изменения в конструкции платы помогают избавиться от образования пустот, при этом значительно улучшается производственная технологичность изделия.

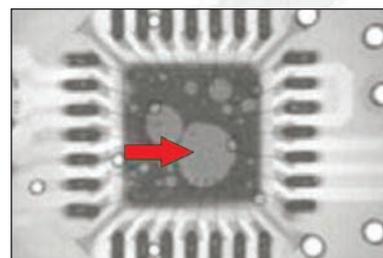
Как правило, вероятность появления пустот можно сократить за счет температурного профиля при внесении в него определенных изменений. Однако, если температурный профиль задан параметрами в пределах рабочего диапазона, возможности минимальны. Важнейшая часть разработки профиля – время выдержки. Иногда выдержка в течение 120 секунд способна сократить частоту образования пустот.

Можно попробовать справиться с дефектом, за счет более низкой пиковой температуры. Большое влияние на образование пустот оказывает финишное покрытие платы, а также химический состав пасты. Чем большей паяемостью обладает финишное покрытие платы, чем активней компоненты пасты, тем ниже вероятность образования пустот.

**QFN-корпус** представляет собой плоский корпус, выводы которого расположены по периметру под корпусом, контактные площадки расположены в центре под корпусом. Популярность корпуса в технологии поверхностного монтажа обусловлена его компактностью. Это маленький компактный корпус с рабочей зоной, которая почти совпадает с размерами корпуса. QFN-корпус обладает прекрасными тепловыми и электрическими характеристиками, контактные площадки, расположенные по периметру, облегчают монтаж печатных плат. За счет этих качеств QFN-корпус – оптимальный выбор в тех случаях, когда электрические характеристики, вес и размер играют важную роль в исполнении конструкции. Несмотря на свои преимущества, QFN-корпус вызывает большое количество вопросов, связанных с его использованием. Такие дефекты, как переемычки, образование пустот, заставляют проявлять недоверие, особенно из-за прочно закрепившейся репутации о склонности QFN-корпуса к образованию пустот. В сочетании с бессвинцовой технологией тенденция к образованию пустот становится настоящей головной болью.



QFN-корпус



Порообразование QFN-корпуса

Образование пустот при пайке QFN-корпуса возникает тогда, когда летучие фракции флюса, как правило, во время пайки оплавлением, не могут выйти и удерживаются под контактной площадкой. В отличие от QFP-корпуса (корпус с четырехсторонним расположением выводов в форме крыла чайки) QFN-корпус не имеет выводов, и, как следствие, в

нем не предусмотрены зазоры, которые способны гасить внешнее воздействие и позволяют летучим фракциям испаряться. Как видно на фотографии выше, для обнаружения такого дефекта, как пустоты под корпусом, применяется рентген контроль.

Еще одна серьезная проблема QFN-корпуса – **подвижность компонента**. Конструктивной особенностью сверхмалого QFN-корпуса является большая металлическая контактная площадка, расположенная в его центре. При пайке контактной площадки припойной пастой либо при нанесении пасты толстым слоем вес компонента и/или поверхностное натяжение могут оказаться недостаточными, чтобы вдавить компонент в поверхность платы; это может привести к тому, что корпус будет буквально плавать поверх расплавленного припоя.

При слишком малом размере апертуры центральной контактной площадки слой пасты в этой области будет значительно толще слоя пасты на маленьких контактных площадках, которые расположены вдоль краев корпуса.

В результате, QFN-корпус может не припаяться к этим контактным площадкам. Толстый слой припоя в центре может привести к тому, что QFN-корпус во время пайки завалится на одну сторону, противоположная же сторона поднимется, образует пустоты вдоль края, что приведет к выпиранию компонента корпуса.

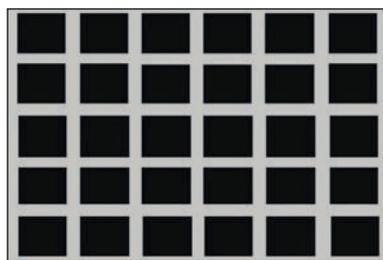


### Способы сократить образование пустот

Чтобы предотвратить смещение, необходимо уменьшить слой паяльной пасты на центральной контактной площадке. Наиболее эффективный способ получить результат – уменьшить размер апертуры трафарета с соблюдением соответствующих инструкций. Необходимо разделить большую апертуру трафарета на несколько маленьких. Такая мера позволит не только сократить количество припоя, но дополнительно сократить возможность и частоту образования пустот, разбрызгивания и выделения газа.

Самый лучший способ – внести конструктивные изменения в трафарет на стадии его разработки. Во многих случаях дополнительные апертуры в трафарете и разделение крупных апертур трафарета и самих контактных площадок печатной платы на несколько более мелких, способно значительно сократить частоту образования пустот. И хотя флюс может по-прежнему удерживаться в отверстии, в этом случае выделение газа проходит без образования пустот из-за возможности испарения летучих фракций.

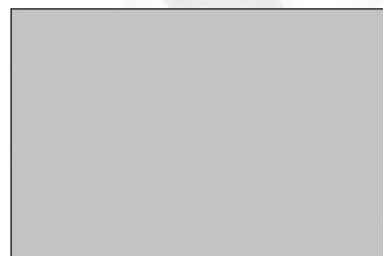
Контрактные производители, как правило, не имеют права вносить изменения в конструкцию выпускаемых ими печатных плат, следовательно, оптимальное решение – изменить размер апертуры, толщину и конструкцию трафарета. Внесение изменений в температурный профиль пайки едва ли окажет положительное влияние на уменьшение объемов образования пустот.



Изменение конструкции.  
Крупные ячейки

### Уменьшение размера апертуры.

При оценке эффективности уменьшения размера апертуры были использованы разные конструкции и разный процентный объем сокращения размеров. Самые стабильные и в целом благоприятные результаты показали опыты с уменьшением размера апертуры на 30–50 % за счет организации в виде ячеек.



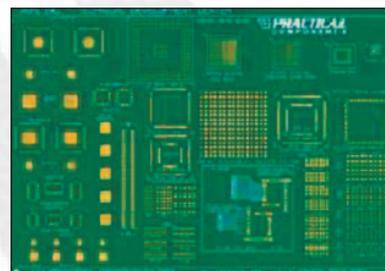
Сплошная площадка

Стандартный процент покрытия паяльной пастой до пайки находился в диапазоне 50– 80 %. Конструкция при уменьшении размера апертуры может находиться в прямой зависимости от производимого типа печатного узла. Пустоты на отверстиях могут негативно отразиться на производительности высокоскоростных радиочастотных устройств.

Возможно, потребуется закрыть или заглушить отверстия, чтобы предотвратить затекание припоя внутрь отверстий во время пайки. Кроме того, замена большой заземленной контактной площадки, расположенной в центре, несколькими маленькими контактными площадками, расположенными в виде

сетки, которые позволят разбить или покрыть пространство, обеспечит выведение газа между контактными площадками под компонентами.

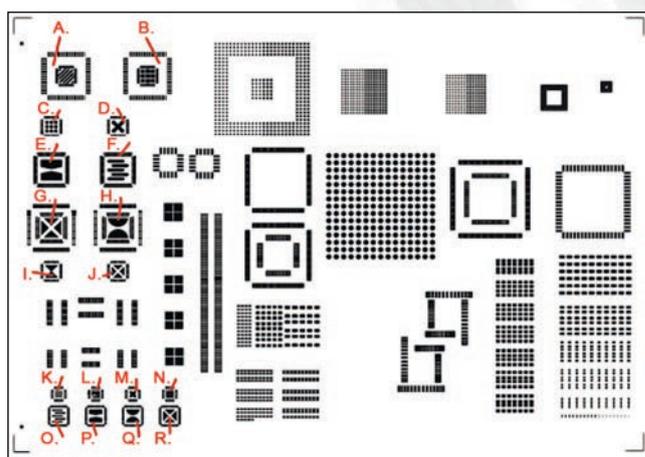
На фотографии справа представлена опытная сборка корпуса QFN (артикул PCB2009-AIM), выполненная в Центре технических разработок компании «AIM», разработанная совместно с компанией «Прэктикал Компонентс». На фотографии ниже показаны типы апертур, которые были использованы для проведения испытаний и показали хорошие результаты с точки зрения минимизации образования пустот под корпусом QFN.



В соответствии со статистическими данными, приведенными ниже, некоторые из типов конструкций способны оказать значительное влияние на результат. Прямой зависимости между процентным сокращением количества пасты и порообразованием не существует; при этом уменьшение количества пасты и особенная геометрия апертуры способны влиять на объем порообразования и его форму.

Тип конструкции апертуры и объем используемой пасты (сравнение со сплошной конструкцией)

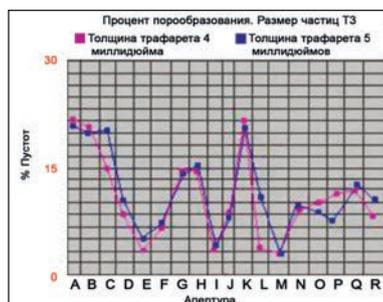
A. 57,26	I. 58,82	Q. 42,96
B. 47,14	J. 56,78	R. 43,20
C. 85,62	K. 77,80	
D. 84,06	L. 76,93	
E. 38,10	M. 75,76	
F. 52,97	N. 78,10	
G. 59,08	O. 48,69	
H. 46,79	P. 34,85	



Апертура трафарета. Типы

#### Примечание.

Правильный размер и геометрия апертуры помогает устранить образование пустот. В зависимости от геометрии в каждом случае требуется разное количество пасты.



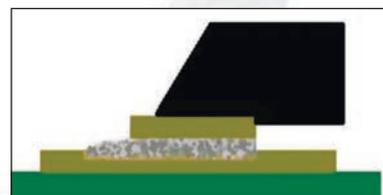
- E. 38,10 %
- F. 52,97 %
- I. 58,82 %
- M. 75,76 %

Результаты, полученные в большинстве случаев, свидетельствуют о том, что трафарет толщиной в 100 микрон в большей степени препятствует порообразованию пустот при сравнении с трафаретом толщиной в 130 микрон.

При этом важно отметить: при уменьшении толщины трафарета может пострадать качество паяных соединений контактных площадок и выводов. Результаты, полученные в большинстве случаев, свидетельствуют о том, что трафарет толщиной в 100 микрон в большей степени препятствует образованию пустот при сравнении с трафаретом толщиной в 127 микрон.

#### Монтаж и типы контактных площадок

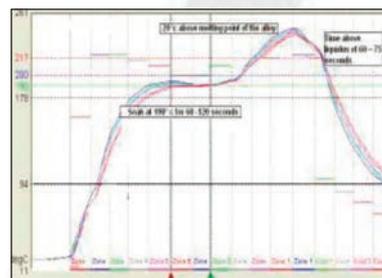
Равномерное и постоянное **давление при установке компонентов**, а также **равномерная глубина установки** – краеугольные факторы, которые оказывают влияние на качество пайки корпуса QFN. Чтобы облегчить монтаж, компонент должен находиться под давлением со всех сторон. Незначительный уклон контактных площадок на 15–20 % обеспечит необходимое давление и позволит выходить излишкам газа. В однорядных корпусах QFN контактные площадки не должны «проседать» под компонентом (зажиматься компонентом).



Небольшой уклон контактных площадок (15–20 %)

## Температурный профиль

Профиль типа «нагрев – выдержка - пик» с повышенной температурой на стадии выдержки и увеличенным временем выдержки доказал свою эффективность в сокращении количества и размеров пустот BGA-корпуса, при этом на первом плане стоял вопрос уменьшения размера апертуры. Стандартный профиль предполагает нагрев от комнатной температуры до температуры в 190°C за 75–90 секунд, выдержку при температуре в 190°C в течение 60–120 секунд с дальнейшим превышением на 20 °C температуры плавления припоя и выдержкой при температуре точки плавления в течение 60–75 секунд.



Нельзя недооценить нестабильность этого недавно появившегося изделия. Как уже было сказано, изменения на стадии проектирования являются самыми эффективными, фактически они могут сократить количество материала, необходимого для испарения летучих фракций из флюса. Скопление летучих фракций – основная причина образования пустот. С учетом большого размера центральной контактной площадки дополнительные апертуры в трафарете и разделенная на несколько более мелких заземленная контактная площадка способствует испарению летучих фракций при наличии газа и его выведении, сокращая или устраняя такой дефект, как порообразование. Изменение температурного профиля не является эффективной мерой. Однако профили с низкими температурными режимами способны сократить количество пустот под горячей контактной площадкой. Альтернатива – сократить количество пасты под центральной контактной площадкой корпуса QFN за счет изменения конструкции трафарета. Такое решение способно уменьшить до минимального количество пустот, предотвратить смещение и получить лучший результат за счет устранения самой возможности возникновения этих двух основных дефектов.

## Монтаж типа POP «корпус на корпусе». Возможные проблемы

**Ключевые слова:** разрыв соединений, коробление, разрыв паяного соединения, образование шариков припоя, коробление корпуса, излишек пасты, перемычки, образованные пастой, излишек флюса, пустоты в BGA-корпусе, растрескивание корпуса, повреждение паяльной маски.

Конструкция «корпус на корпусе» – новая технология, которая помогает сохранить место на печатной плате. Такой способ гарантирует большую производительность и функциональность в пределах одиночного корпуса с матрицей шариковых выводов (BGA). Монтаж «корпус на корпусе» представляет собой размещение корпусов одного компонента поверх другого в целях их интеграции в один более функциональный компонент.

Этот процесс можно сравнить со строительным, когда каждый последующий этаж конструкции позволяет ей расти и в итоге получить статус многоэтажного офисного здания с большим количеством свободных помещений. При монтаже «корпус на корпусе» растет суммарная высота сборки, что важно учитывать в технологическом процессе.

Зачастую высота сборки не повод для беспокойства, поскольку многие современные корпуса микросхем выпускаются в компактном исполнении. Технология flip chip так же позволяет снизить высоту микросхемы. Стандартное количество компонентов при монтаже «корпус на корпусе» не превышает 2 штук; нижний компонент, который обычно представляет собой активную интегральную схему (с большим количеством соединений с печатной платой), и верхний (-ие) блок (-и), которые представляют собой дополнительную память.

Компоненты технологии устанавливаются друг на друга либо производителем, либо в ходе монтажа печатной платы.

Технология монтажа «корпус на корпусе» выполняется с помощью пайки, разварки либо соединением выводов проводящим адгезионным материалом.

К основным недостаткам технологии монтажа «корпус на корпусе» можно отнести такие дефекты, как

**разрыв соединений, коробление** компонентов сборки, а также различные проблемы с печатной платой. Помимо описанных недостатков ремонт собранных компонентов и повторная пайка верхнего компонента сборки может стать непростой задачей. Ну, например, нужно ли перепаявать все конструкцию полностью? Или только некоторые части? Какими могут быть последствия? Кроме того, при 2-D рентген контроле конструкции могут возникнуть затруднения с интерпретацией полученных данных в силу многоуровневой структуры соединений шариковых выводов и проволочных соединений корпуса.

В случае если готовая конструкция, выполненная монтажом «корпус на корпусе», просто паяется на печатную плату, метод монтажа незначительно отличается от метода при монтаже обычного BGA-корпуса. Паяльная паста наносится на контактные площадки печатной платы, и монтаж методом «корпус на корпусе» проводится так же, как стандартный процесс установки и пайки BGA. Существуют нюансы, которые необходимо принять во внимание. Во-первых, высота сборки «корпус на корпусе» значительно выше обычного BGA-корпуса, поэтому требуется отдельное внимание к температурному профилю. Во-вторых многоуровневая структура, паяных соединений способна сделать монтаж непростой задачей. Необходимо обратить внимание на отдельные проблемы, а именно коробление микросхем при пайке и образование пустот.

Решение проблемы образования пустот – применение специальных компаундов Underfill. Данные компаунды обладают низким поверхностным натяжением, являются ремонтпригодными, изготавливаются из эпоксидной смолы, улучшающей смачиваемость и одновременно предотвращающей образование пустот. Underfill можно наносить как в цикле нанесения пасты так и перед монтажом компонента. Отсюда следует, что паять основной монтаж на печатной плате и сборку, собранную методом «корпус на корпусе» можно при стандартном температурном профиле с пастой, не содержащей свинец. Иными словами сборка корпус на корпусе паяется в одном производственном цикле с основным монтажом на печатной плате.

## Пайка волной припоя

**Ключевые слова:** нанесение флюса, нанесение флюса пенным флюсователем, нанесение флюса способом распыления, предварительный нагрев, скорость конвейера, температура ванны, загрязнение ванны, фосфор, хрупкость паяных соединений

При **нанесении флюса** нужно точно дозировать его количество: ни много, ни мало. Если флюс наносится в виде **пены**, чтобы удалить излишек пены, используются **воздушные ножи**. **Распыление** – предпочтительный способ нанесения флюса, который не требует очистки, или флюса, который выпускается в аэрозольных баллонах. По сравнению со старыми методами нанесения в виде пены, этот способ контролируемый и настраиваемый. Кроме того, распыление обеспечивает более высокую повторяемость процесса.

Температура **предварительного нагрева** должна быть не слишком высокой и не слишком низкой. Цель предварительного нагрева – испарение растворителя из флюса и минимизация термоудара.

Соблюдайте температурный режим. При перегреве флюс утратит свою активность. При наличии дыма и шипения, треска, щелчков, уменьшите температуру предварительного нагрева.

**Скорость конвейера** может меняться в зависимости от типа сборки, но обычно находится в диапазоне от 900 до 1500 мм в минуту. Стандартный процесс пайки волной занимает от 1,5 до 2,5 минут.

Стандартная **температура ванны** для сплава с содержанием олова 63 % и свинца 37 % составляет 250° – 260 °С.

Основные загрязняющие вещества в **паяльной ванне при пайке оловянно свинцовым припоем** – это медь, золото и никель. Если их концентрация превышает допустимый уровень, паяные соединения приобретают зернистую структуру.

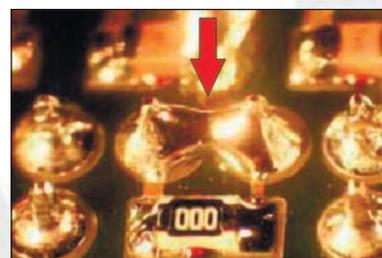
Производители припоев иногда используют **фосфор** для того, чтобы создать **иллюзию** пониженного образования шлама. При этом наличие фосфора может привести к засорению насоса подачи припоя, насадки пайки волной и (при слишком высокой концентрации) приводит к **повышению хрупкости** паяных соединений. Повышение хрупкости может также быть следствием загрязнения припоя медью, золотом, никелем, железом, алюминием и цинком. Помните, что при проведении анализа паяльной ванны пробы на наличие фосфора не проводятся.

# Обзор дефектов при пайке волной припоя

**Ключевые слова:** перемычки, шарики припоя, «паутина» припоя, выдувание припоя из отверстий, непропаянные выводы

К сожалению, если вы используете безотмывный флюс с малым количеством остатков, существует высокая вероятность, что вы столкнетесь со всеми вышеперечисленными дефектами. Помните, что технология пайки волной, была разработана для флюсов с большим содержанием твердых частиц. По общему правилу, чем выше содержание твердых частиц во флюсе, тем меньшим будет количество дефектов. Твердые вещества флюса улучшают теплопроводность, способствуют уменьшению налипания припоя на неметаллические материалы, уменьшают вероятность образования перемычек и способствуют получению качественных паяных соединений. С другой стороны, флюсы с большим содержанием твердых веществ дают более толстый слой остатков, которые часто требуют отмывки после оплавления. Многие компании предпочитают использовать не требующие отмывки флюсы, оставляющие после пайки малое количество остатков, несмотря на то, что они способствуют формированию большого количества дефектов и требуют более точного контроля параметров технологического процесса.

**Перемычки при пайке**, как правило, связаны с мелким шагом вывода компонента. Чтобы избежать образования перемычек при высокой плотности расположения выводов, нужно укоротить выводы до минимальной длины, допускаемой техническими условиями. Кроме укорачивания выводов, следует увеличить расстояние между выводами путем уменьшения ширины металлизированного кольца вокруг монтажного отверстия либо путем выбора соответствующей геометрии паяльной маски.



**Перемычки при пайке волной припоя**

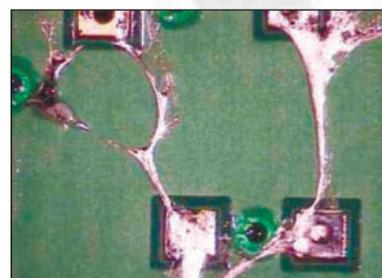
Поддержание твердой составляющей флюса на максимально возможном уровне путем тщательного выбора температуры предварительного нагрева поможет избежать образования перемычек при пайке волной припоя. Пайка в азотной среде также позволяет избежать перемычек.

**Шарики припоя** на поверхности печатной платы показывают, что жидкие фракции флюса не испарились до момента пайки волной изделия. Обычно такие шарики появляются, когда оператор впервые работает с флюсом на водной основе (VOC free). Шарики припоя разбрызгиваются на поверхность платы через монтажные отверстия при кипении флюса. Микроскопические шарики указывают на необходимость увеличения продолжительности или температуры предварительного нагрева платы, для того чтобы растворитель, входящий в состав флюса, успел полностью испариться.



**Образование шариков при пайке волной припоя**

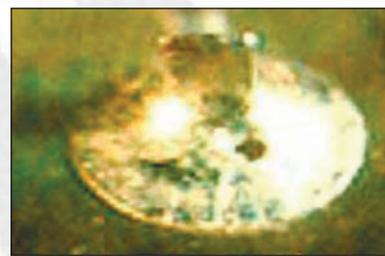
Появление шариков припоя на нижней стороне платы может быть связано с недостаточным содержанием твердых частиц флюса. Повышение содержания твердых частиц уменьшает количество таких шариков. Однако шарики припоя на нижней поверхности платы чаще возникают из-за паяльной маски. Припой прилипает либо из-за того, что паяльная маска размягчается, либо из-за повышенной гладкости ее поверхности. Чтобы устранить данный дефект, проверьте материал маски или паяйте печатный узел с более низкой температурой предварительного нагрева и/или температурой припоя в ванне.



**Паутина**

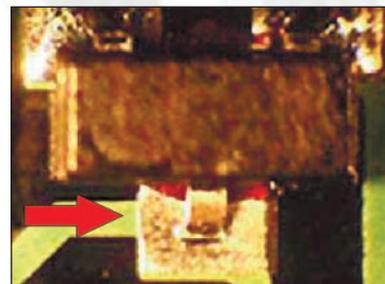
**Дефект «паутина»** выглядит так, как будто к нижней стороне платы прилипла паутина или сетка из припоя. Этот дефект появляется при слишком высокой температуре или слишком длительном предварительном нагреве либо в случае недостатка флюса на плате, который облегчает отделение припоя от платы. На возможное появление этого дефекта указывает малое количества дыма при прохождении платы через волну припоя. Чтобы избавиться от данного брака, нанесите на платы больше флюса или уменьшите температуру предварительного нагрева.

**Раковины**, как правило, представляют собой следствие проблем с печатной платой. Признак такого дефекта – появление в галтели отверстия. Обычно причина появления этого дефекта – наличие пустот в металлизированном монтажном отверстии, из которых при кипении флюса выделяется газ, вытесняющий припой. Этот дефект – ответственность поставщика печатной платы.



**Раковина**

**Непропаенные выводы**, возникает данный дефект из-за недостатка твердых фракций во флюсе, неправильного угла платы в зоне контакта с волной припоя или неправильной конфигурации контактной площадки. Попробуйте увеличить количество наносимого на плату флюса, измените угол наклона держателя печатной платы или угол подачи волны припоя.



**Непропаенные выводы**

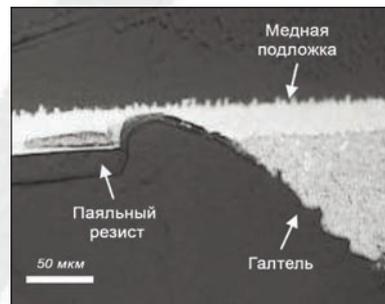
Эти меры помогут выйти удерживаемым внутри газам, не препятствовать растеканию расплавленного припоя, в результате чего он попадет на контактную площадку. Дополнительной помощью может стать повышенная активность флюса. Иногда более агрессивный флюс способен обеспечить ускоренное смачивание контактных площадок.

Стандартная температура ванны для припоя, содержащего олово, серебро и свинец, в том числе припоя «CASTIN»®, находится в диапазоне от 265 °С до 270 °С (от 509 °F до 518 °F). Стандартная температура ванны для припоя марки SN100С и припоя с низким содержанием серебра находится в диапазоне от 265 °С до 275 °С (от 509 °F до 527 °F).



**Растрескивание припоя после остывания**

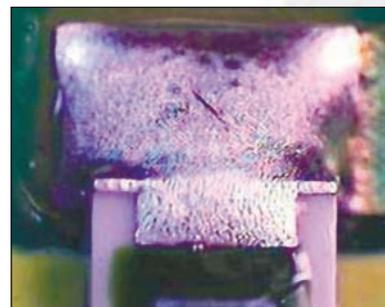
Для пайки волной бессвинцового припоя характерна большая часть вышеописанных дефектов. Два самых распространенных дефекта – переемычки и неполное заполнение монтажных отверстий. Эти дефекты возникают вследствие поверхностного напряжения сплава. Переемычки можно убрать за счет состава флюса. В этом случае помогут флюсы с высоким содержанием твердых фракций. Однако важно понимать, что смачиваемость бессвинцовых сплавов ниже смачиваемости сплавов, содержащих олово и свинец. Необходимо увеличить время выдержки в волне.



Как правило, если сплав, содержащий олово и свинец, смачивается в течение 2 секунд, бессвинцовым сплавам требуется не менее 5 секунд. Эта разница приводит к образованию другого дефекта – неполному заполнению отверстий. Чтобы устранить данный дефект, необходимо увеличить время взаимодействия с волной припоя.

Увеличенное время взаимодействия с волной припоя приводит к сложностям и во время селективной пайки.

При том, что бессвинцовые припои требуют длительного взаимодействия волны припоя с выводом, они же представляют собой агрессивный растворитель основных компонентов металлизации монтажных отверстий. При длительном периоде выдержки с поверхности платы исчезают металлизированные отверстия и контактные площадки. Такое явление называется миграцией металлов.



**Допустимый горячий надрыв**

Еще один дефект, обусловленный составом сплава, растрескивание припоя после остывания. В соответствии с критериями IPC (Ассоциации производителей электронной аппаратуры и приборов), если просматривается контактная площадка, такая пайка является дефектом.

Фотография справа демонстрирует распространенные и допустимые виды растрескивания. Обратите внимание на зернистую структуру припоя. Это не связано с качеством и составом сплава.

### Сплавы после их охлаждения:

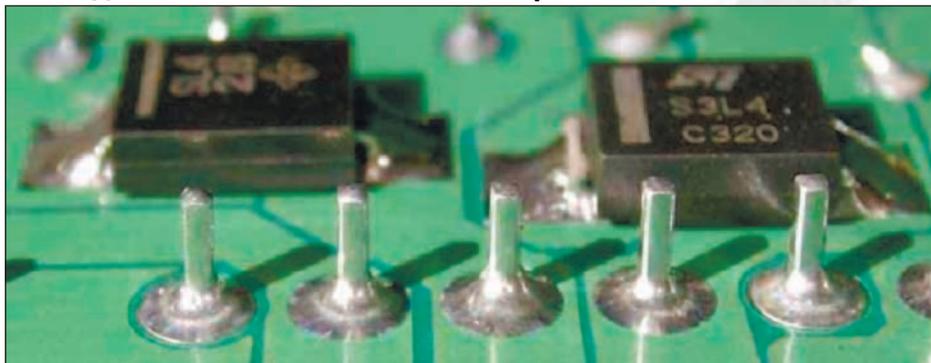


• Сплав SAC305



• Сплав SN100C®

### Стандартное сравнение сплавов разного типа в паяных соединениях после пайки волной припоя:



• Сплав с содержанием олова 63 %



• Сплав SN100C®

При выборе бессвинцового сплава для пайки волной припоя и селективной пайки необходимо обратить внимание на миграцию меди, стоимость сплава и требования при проверке качества паяного соединения. В целом сплавы, содержащие серебро, стоят дороже, кроме того, такие сплавы обладают высокой скоростью растворения меди. Общая тенденция для тех, кто работает с бессвинцовой пайкой волной припоя, – перейти со сплава SAC305 на сплавы Sn/Cu/Ni/X. Доказано, что SN100C® и CASTIN® – это сплавы с низкой скоростью растворения меди при пайке.

Флюсы с низким количеством остатков, которые при пайке волной припоя оставляет небольшое количество остатков, это флюсы с низким содержанием твердых частиц. Малое количество твердых частиц припоя или фракций – это залог быстрого испарения растворителей и быстрой работы твердых фракций во флюсе. При этом твердые фракции представляют собой компоненты флюса, за счет которых, в частности, происходит смачивание, и обеспечивается образование надежных паяных соединений. Хороший результат пайки – это использование оптимального флюса и внимательный контроль процесса.

Оптимизация технологии пайки волной припоя с использованием безотмывных флюсов зависит от точной настройки процесса, для которого рекомендуется минимальный температурный режим – достаточный, чтобы соответствовать техпроцессу, и минимальное время взаимодействия волны припоя с выводом. Длительный предварительный нагрев или слишком высокая температура предварительного нагрева способствуют испарению летучих фракций флюса до того, как твердые фракции выполнят свою часть работы.

**При использовании безотмывного флюса особенно важно следить за основными параметрами техпроцесса, к которым относятся:**

- Скорость конвейера
- Температура предварительного нагрева
- Температура припоя в ванне с припоем
- Высота волны припоя
- Время контакта волны припоя и вывода компонента
- Скорость отделения волны (осадка)

Тип флюсователя играет важную роль в процессе, особенно при использовании безотмывного флюса. Компания «АИМ» рекомендует использование спрей или струйного флюсователя, а не пенного. Мы рекомендуем ультразвуковую систему подачи флюса, которая при необходимости может подать флюс в ограниченные пространства. Кроме того, данный тип системы подачи позволяет подать большее количество флюса и избежать вредного воздействия. Оптимальные результаты при пайке с использованием флюса можно получить только при распылении достаточного количества флюса.

## Ручная пайка

**Ключевые слова:** трубчатый припой, не требующий отмывки, самый безопасный метод ручной пайки, повторная пайка для исправления дефектов паяных соединений

При работе с **трубчатым припоем, не требующим отмывки**, необходимо надевать перчатки.

Даже один отпечаток пальца может стать причиной электромиграции. Если для выполнения ремонтных работ используется флюс; нужно иметь точное описание его **свойств**, поскольку не существует метода ручной пайки, который бы обеспечил однородный нагрев, не разрушающий кислоты, придающей флюсу активность. Именно поэтому небезопасно после пайки оставлять на плате остатки флюса, даже если они успешно прошли тестирование на электромиграцию или величину поверхностного сопротивления. (SIR)

**Самый безопасный метод ручной пайки** состоит в использовании по возможности только флюса, который содержится в припое. Оператор обязан иметь соответствующие навыки пайки. Сначала оператор должен нагреть вывод компонента и контактную площадку, затем прижать к ним трубчатый припой с флюсом. Соблюдение метода с технологическими нарушениями приводит к преждевременному ухудшению качества флюса и обугливанию остатков флюса. Возможно, вам придется поговорить с оператором, поскольку такой процесс требует больше времени по сравнению с нагреванием непосредственно припоя и его нанесения в жидком виде на место пайки.

Наконец, старайтесь избегать **повторной пайки для исправления дефектов паяных соединений**. Повторно паяные соединения, как правило, имеют меньшую надежность из-за воздействия дополнительного термоудара и возрастания содержания интерметаллических соединений в припое. В целом, если паяное соединение имеет хороший внешний вид и образует галтель, его качество с большой вероятностью высоко. Чтобы получить дополнительную информацию о бессвинцовом припое, изучите листы технических данных используемого сплава и флюса.

## Проверка качества

**Ключевые слова:** тестирование игольчатым пробником, паяльная паста, пригодная для тестирования игольчатыми пробниками (тестеры «поле контактов»/«летающий пробник»)

**Тестирование игольчатыми пробниками** платы с остатками паяльной пасты после пайки зачастую представляет собой трудноразрешимую задачу. Однако при наличии выводных компонентов на том же печатном узле и жидкого флюса, оставшегося после ручной пайки или пайки волной, проблемы приобретают ярко выраженный характер из-за присутствия большого количества остатков.

Если плата тестируется сразу же после пайки в печи, то результаты будут сильно отличаться от результатов тестирования, полученных через сутки после пайки. Чем выше температура остатков флюса после пайки, тем они мягче, что делает их более липкими. Зачастую сложно принять однозначное решение, когда проводить тестирование, поскольку приходится иметь дело как с платами, только что сошедшими с конвейера, так и с платами, подвергшимися ремонту. Принимайте решение с учетом собственных производственных потребностей.

Использование **пригодной для тестирования игольчатыми пробниками пасты** упрощает процесс тестирования. Такая паста создает на плате после пайки воскообразное покрытие, которое не липнет и не тянется, легко прокалывается наконечником зонда, не крошится и не засоряет наконечник как непосредственно после пайки, так и месяцы спустя. В зависимости от требований вашего отдела качества, вы можете применять на практике несколько методик.

# Словарь терминов

**Активирующее вещество:** химический компонент, который улучшает способность флюса удалять оксиды и способствует смачиванию деталей во время пайки.

**Выделение газа:** выброс загрязняющих веществ из печатной платы или ее компонентов, который возникает под воздействием тепла или при пониженном давлении.

**Вязкость:** одно из явлений переноса, свойство текучих тел (жидкостей и газов) оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой.

**Галоидные соединения:** соединения, содержащие фтор, хлор, бром, йод. Такие соединения входят в состав активирующих веществ, флюсов определенного типа и требуют регулярной очистки в силу своих коррозионных свойств и проводимости.

**Галтель:** мениск припоя или соединение, образованное припоем между контактной площадкой или отверстием и выводом компонента.

**Трещины на паяном соединении:** разрывы на поверхности припоя, которые сформированы трещинами при охлаждении припоя SAC305 и его аналогов.

**Игольчатый зонд:** инструмент, использующийся в автоматических системах тестирования, с помощью которого возникает электрический контакт между контактной площадкой печатной платы или галтелью и тестером.

**Контактная печать:** отсутствие прогиба печатной платы, отсутствие печатного зазора (зазора между печатной платой и трафаретом) при трафаретной печати.

**Контактная площадка:** элемент печатного рисунка платы или другого коммутационного основания, предназначенного для дальнейшего выполнения паяного соединения или иного соединения. На печатных платах контактные площадки выполняются вокруг отверстий (при монтаже в отверстия) или без отверстий (для поверхностного монтажа).

**Коробление корпуса:** изгиб корпуса, который возникает после его изготовления или в процессе пайки. Особенно важна данная особенность при работе с малыми компонентами. Например, большая часть BGA-корпусов поставляется с 200 микронным допуском на коробление, при этом большая часть плат монтируется при толщине слоя паяльной пасты от 100–130 микрон. Это приводит к тому, что шариковые выводы не соприкасаются с пастой, а это способствует образованию эффекта «голова на подушке». Важно помнить об этом при работе с любым компонентом с большим количеством выводов (LGA-корпус, QFN-корпус, QFP, BGA).

**Миграция меди:** бессвинцовые сплавы растворяют медь с контактных площадок в припое. Это может привести к смыыву контактной площадки и/или к отслоению металлизированного отверстия от поверхности платы.

**Шарики припоя:** маленькие шарики припоя, сформированные в процесс пайки волной припоя и оставшиеся на поверхности печатного узла после пайки.

**Сферы припоя:** наличие сфер образных крупных шариков припоя между выводами отдельных компонентов, как правило, резистора или конденсатора, однако встречаются на крупных и малых транзисторах.

**Непропаянные выводы:** выводы, на которых отсутствовала паяльная паста, например, из-за дефекта в процессе трафаретной печати. При пайке волной припоя это области, которые должны быть спаяны, но были пропущены в силу затенения или выделения газа.

**Несмачиваемость:** неспособность припоя смачивать определенные выводы или контактные площадки.

**Несмоченная поверхность:** поверхность, которая вступила в контакт, но не была смочена припоем.

**Образование перемычек:** паяное соединение, объединяющее два проводника, которые не должны быть спаяны вместе, что вызывает короткое замыкание.

**Отрыв пасты при печати:** дефект паяльной пасты во время печати, который представляет собой отрыв нанесенной паяльной пасты от контактных площадок печатной платы, что приводит к засорению

апертур трафарета.

**Паутина:** дефект при пайки волной припоя, для которого характерно наличие паутины припоя на непроводящей части печатной платы.

**Перемычки при пайке волной припоя:** образование перемычек, возникающее при пайке волной припоя между выводами или компонентами.

**Повреждение паяльной маски:** химическая атака маски флюсом, как правило, приводит к повреждению паяльной маски. Это зачастую связано с плохой адгезией с платой из-за наличия окисленных частиц меди или недостаточной сушки маски. Эта проблема решается путем контроля растворителей в используемом жидком флюсе.

**Пустоты при пайке BGA:** несмотря на существующие способы сокращения процента образования пустот, вы не можете избежать 100 % отсутствия пустот в BGA-корпусе. Если пустоты не похожи на пузырьки шампанского, такие пустоты не являются угрозой надежности. Данное утверждение подтверждается исследованием сплава с поверхностно-активным составом, которое провел Совет по регулированию обращения паяных изделий при Ассоциации производителей электронной аппаратуры и проборов.

**Проводящее кольцо:** проводящая область вокруг металлизированного отверстия.

**Прогиб/Печатный зазор:** расстояние между трафаретом и печатной платой во время трафаретной печати.

**Профиль пайки, термопрофиль:** график соотношения времени и температуры при прохождении печатной платы через источник нагрева.

**Разность ( $\Delta$ ) температур:** самая значительная температурная разница нагрева разных компонентов в рамках одного и того же печатного узла.

**Разрывы:** два проводника, не спаянные припоем. Данный дефект возникает при недостатке припоя либо при неравномерном распределении свинца в точке соединения.

**Ракель:** пластиковый, металлический нож, который используется для распределения припоя по поверхности трафарета и заполнения его апертур.

**Ракушки:** небольшие отверстия или пустоты, которые формируются в металлизированном отверстии под действием газа.

**Оползание:** распространение паяльной пасты, которое может привести к образованию перемычек. Существует холодное растекание (возникает до пайки) и горячее растекание (возникает во время плавления).

**Реология:** наука, изучающая текучесть материалов с точки зрения зависимости деформации материала от напряжения и времени.

**Смачивание:** образование интерметаллического соединения, которое позволяет расплавленному припою растекаться по металлической подложке.

**Содержание твердых фракций:** процентное содержание по массе нерастворимых веществ во флюсе.

**Солидус:** температура, при которой припой полностью затвердевает.

**Точка плавления:** температура, при которой припой полностью расплавлен или находится в жидком состоянии.

**Угол наклона пайки:** угол, при котором печатная плата входит в контакт с волной припоя.

**Шарики припоя:** дефект пайки, при котором появляются небольшие сферические частицы припоя, которые, как правило, собираются вокруг паяного соединения или вокруг компонента.

**Электромиграция:** способность проводящего материала распространяться от одного паяного соединения к другому, вызывая короткое замыкание.

**Эффект «надгробного камня»:** дефект пайки, при котором компонент принимает вертикальное положение или фиксируется под углом, при этом одна сторона компонента остается незапаянной.

**Эффект «Попкорна»:** растрескивание микросхемы во время пайки, как правило, в результате влагопоглощения.

**Эффект «рекламного щита»:** деталь с двумя запаянными выводами, которая припаяна на «ребро».

## Справочный раздел

Типовые припойные сплавы							
СПЛАВ	Ag (серебро)	Cu (медь)	Pb (свинец)	Sb (сурьма)	Sn (олово)	Температура плавления (°C)	Плотность (фунт/дюйм <sup>3</sup> )
Олово							
Sn99					99,9	232	0,2628
Sn96.5	3,5				96,5	221	0,2657
Sn95	5				95	221–240	0,2668
Sn90			10		90	183–213	0,2682
Sn70			30		70	183–193	0,2889
Sn63			37		63	183	0,3032
Sn62	2		36		62	179	0,3036
Sn60			40		60	183–188	0,3068
Sn50			50		50	183–212	0,3202
Sn40			60		40	183–247	0,3430
Sn35			65		35	183–250	0,3431
Sn30			70		30	183–257	0,3509
Sn20			80		20	183–280	0,3686
Sn10			90		10	275–302	0,3881
Sn5			95		5	308–312	0,3980
Sn3			97		3	314–320	0,4030
Серебро							
Ag2.5	2,5		97,5			304	0,4070
CASTIN®	2,5	0,8		0,5	96,2	215–217	0,2670
SAC305	3,0	0,5			96,2	217–218	0,2680
SAC0307	0,3	0,7			99	217–227	0,2673
SN100C®		0,6		Ni0,05	99,4	227	0,2670
Ag5.5	5,5		94,5			305–364	0,4079
Сурьма							
Sb5				5	95	232–240	0,2617
Sb2			63	2	35	185–243	0,3350
Sb1			79	1	20	184–270	0,3680
Свинец							
Pb88	2		88		10	268–290	0,3880
Pb68			68	2	30	185–243	0,3429
Pb80	2		80		185	252–260	0,3826
Pb94	1,5		93,5		5	305–306	0,3982
Pb93	2,5		92,5		5	299–304	0,3980
Pb95	2		95		3	299–305	0,3980
Pb96			96		2	252–295	0,3956

Типовые диаметры трубчатого припоя										
Дюйм	0,010	0,015	0,020	0,025	0,032	0,040	0,050	0,062	0,092	0,125
Мм	0,25	0,40	0,50	0,63	0,80	1,0	1,25	1,57	2,34	3,17

Классификация гранулометрического состава порошка паяльной пасты		
Размер частиц	Размер зерна при изготовлении	Классификация Ассоциации производителей электронной аппаратуры и приборов
75 микрон	-200/+325	2
55 микрон	-270/+400	не указано
45 микрон	-325/+500	3
38 микрон	-400/+635	4
25 микрон	-500	5
15 микрон	-635	6

Специальные припойные сплавы								
СПЛАВ	Ag (серебро)	Au (золото)	Bi (висмут)	In (индий)	Pb (свинец)	Sn (олово)	Температура плавления (°C)	Плотность (фунт/дюйм <sup>3</sup> )
Висмут								
Bi58			58			42	138	0,3090
Bi52			52		32	16	100	0,3465
Bi46			46		20	34	100–105	0,3500
Bi14			14		43	43	144–163	0,3245
Bi8			8		46	46	120–167	0,3166
Индий								
In99				99,9			156	0,2639
In80	5			80	15		142–149	0,2834
In70				70	30		165–175	0,2956
In60				60	40		173–181	0,3072
In52				52		48	118	0,2635
In50				50	50		178–210	0,3198
In40				40	60		195–225	0,3355
In30				30	70		245–260	0,3590
In26				26	37,5	37,5	134–181	0,3040
In25				25	75		350–264	0,3599
In20				20	26	54	130–154	0,2950
In19				19	81		270–280	0,3707
In5		25		5	92,5		300–310	0,3978

Переводная таблица температур							
°C = (°F – 32) X 5/9 (или 0,55)				°F = °C x 9/5 (или 1,8) + 32			
°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C
-40	-40	115	46,1	270	132,2	430	221,1
-35	-37,2	120	48,9	275	135,0	435	223,9
-30	-34,4	125	51,6	280	137,8	440	226,6
-25	-31,6	130	54,4	285	140,5	445	229,4
-20	-28,9	135	57,2	290	143,3	450	232,2
-15	-26,1	140	60	295	146,1	455	235
-10	-23,3	145	62,8	300	148,9	460	237,8
-5	-20,5	150	65,5	305	151,6	465	240,5
0	-17,78	155	68,3	310	154,4	470	243,3
5	-15,0	160	71,1	315	157,2	475	246,1
10	-12,2	165	73,9	320	160	480	248,9
15	-9,4	170	76,6	325	162,8	485	251,6
20	-6,6	175	79,4	330	165,5	490	254,4
25	-3,9	180	82,2	335	168,3	495	257,2
30	-1,1	185	85	340	171,1	500	260
32	0	190	87,8	345	173,9	550	287,8
35	1,6	195	90,5	350	176,6	600	315,5
40	4,4	200	93,3	355	179,4	650	343,3
45	7,2	205	96,1	360	182,2	700	371,1
50	10	210	98,9	365	185	750	398,9
55	12,8	212	100	370	187,8	800	426,6
60	15,5	215	101,6	375	190	850	454,4
65	18,3	220	104,4	380	193,3	900	482,2
70	21,1	225	107,2	385	196,1	950	510
75	23,9	230	110	390	198,9	1000	537,8
80	26,6	235	112,8	395	201,6		
85	29,4	240	115,5	400	204,4		
90	32,2	245	118,3	405	207,2		
95	35	250	121,1	410	210		
100	37,8	255	123,9	415	212,8		
105	40,5	260	126,6	420	215,5		
110	43,3	265	129,4	425	218,3		