

Чем заменить пайку волной, или О преимуществах технологии Pin-in-Paste

Процессы сборки печатных плат могут быть очень сложными. Нередко при изготовлении ПП используют двустороннюю пайку оплавлением для монтажа на поверхность с последующей пайкой волной для монтажа компонентов в отверстия. Однако такая многоступенчатая процедура требует дорогостоящей доработки и может дать не лучшие результаты. При выпуске промышленных изделий с небольшой прибылью стоимость пайки волной может значительно повысить производственные расходы. По мнению авторов статьи, решением этой проблемы является технология Pin-in-Paste.

Вольфганг Блохинг (Wolfgang Bloching)
Тим Йенсен (Tim Jensen)
Рональд С. Лэски (Ronald C. Lasky)

Перевод: Ольга Очур

Обычно при пайке волной припой требуется использовать палеты (рис. 1), чтобы предотвратить SMD-компоненты, смонтированные на плату на предыдущем этапе. Часто сами палеты достаточно толстые (что усложняет их применение при пайке волной, поскольку снижается эффективность течения припоя), однако создают хорошее соединение при монтаже в отверстия. Поэтому вместо пайки волной можно использовать технологию Pin-in-Paste (PiP). В настоящей статье подробно рассматривается практическое применение данной технологии.

В сложных процессах производства выход годного с первого предъявления, составляющий около 10%, — это достаточно редкое явление. Доработка не только дорога, но и, если она выполнена неверно, может стать причиной серьезных проблем с надежностью. Результатом работы некоторых таких процессов сборки являются продукты с относительно низкой рентабельностью. Кроме того, затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание оборудования для пайки волной могут стать причиной роста стоимости выпускаемой продукции.

О технологии

Цель технологии PiP — использование процесса поверхностного монтажа с помощью пайки оплавлением припоя для получения надежных паяных соединений с монтажом в отверстия, удовлетворяющих стандартам IPC. Ключевая задача — получить соединения без пустот и пор внутри объема припоя, образованного при пересечении металлических поверхностей, соединенных пайкой (кромка припоя).

Процесс

Обычно процесс PiP напрямую включается в процедуру поверхностного монтажа. Для этого требуется выполнение нескольких условий:

- Трафарет для поверхностного монтажа печатных плат должен быть спроектирован так, чтобы в монтажные отверстия попадало необходимое и достаточное количество паяльной пасты для получения надежного соединения при пайке оплавлением.
- Паяльная паста должна иметь характеристики, подходящие для технологии PiP.
- Процесс нанесения пасты через трафарет должен быть оптимизирован.
- Выбранные компоненты для монтажа в отверстия должны выдерживать температуры, которыми сопровождаются процессы пайки оплавлением.
- Форма концевой части компонента, монтируемой в отверстие, должна быть скруглена.
- Концевая часть компонента должна иметь подходящую длину, это необходимо для формирования надежного соединения.
- Компоненты для монтажа в отверстия должны быть установлены правильно.
- Температурный профиль оплавления должен быть построен правильно.

Разработка трафарета

Одна из самых важных задач в процессе PiP — разработка трафарета для поверхностного монтажа.

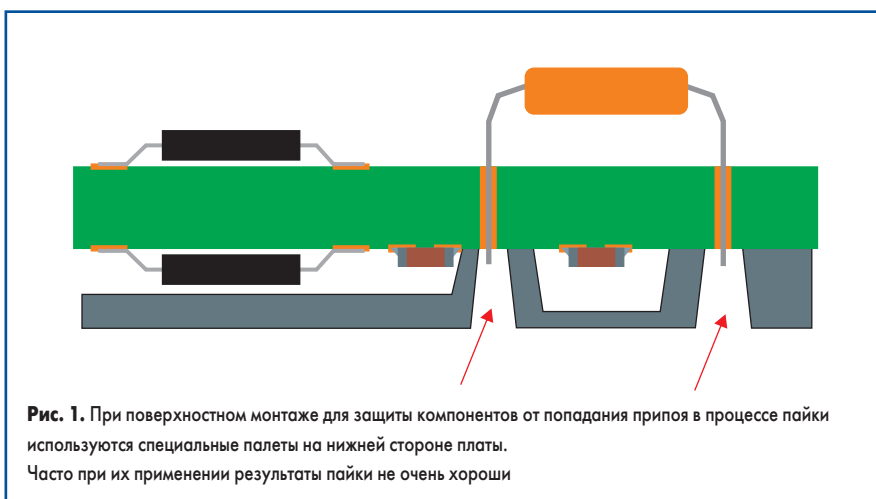


Рис. 1. При поверхностном монтаже для защиты компонентов от попадания припоя в процессе пайки используются специальные палеты на нижней стороне платы. Часто при их применении результаты пайки не очень хороши

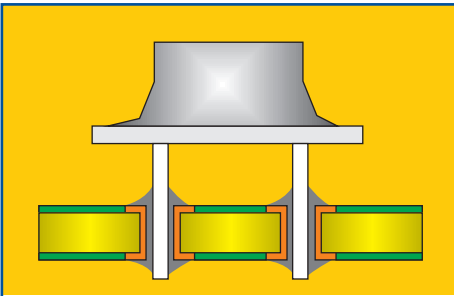


Рис. 2. Цель процесса PiP — обеспечение более высокого выхода годного продукта, соответствующего требованиям IPC к надежности паяных соединений с монтажом компонентов в отверстия

Для ее решения нужно в первую очередь определить правильное количество паяльной пасты. На рис. 2 приведена схема паяного соединения, для которой будет показан способ расчета количества паяльной пасты для монтажа в отверстия.

Общий объем припоя V_{SJ} в паяном соединении при монтаже в отверстия определяется суммой объема отверстия V_h и объема кромки припоя V_f минус объем штыря V_p (а точнее, объем, вытесняемый штырем). Перечисленные объемы наглядно показаны на рис. 3.

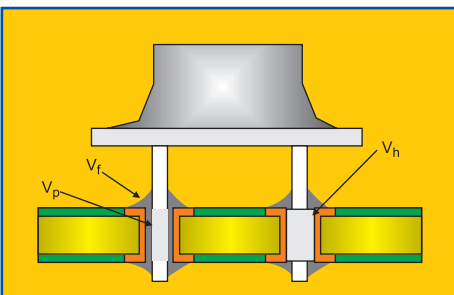


Рис. 3. Схема паяного соединения с монтажом компонентов в отверстия (расчет проведен Джимом МакЛенаганом, Creyr Innovations)

Объем кромки припоя V_f определяется с помощью теоремы Паппа — Гульдена для объемов тел вращения:

$$V_f = (0,215 \times r^2) \times (0,2234 \times r + a) \times 2\pi,$$

где $r = ([\text{диаметр площадки под припой}] - [\text{диаметр штыря}]) / 2$, a — радиус штыря (в случае цилиндрического штыря) или (в случае прямоугольного штыря) величина, равная значению $[\text{длина штыря}] \times [\text{ширина штыря}] / \pi$.

$$V_h = \pi \times d^2 \times t / 4,$$

где d — диаметр сквозного отверстия, t — длина металлизированного перехода отверстия.

Объем штыря цилиндрической формы:

$$V_p = \pi \times a^2 \times t.$$

Объем штыря прямоугольной формы:

$$V_p = [\text{длина штыря}] \times [\text{ширина штыря}] \times t.$$

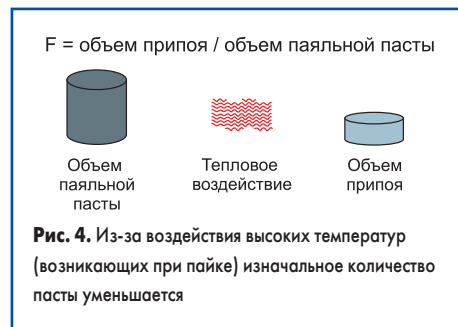
Таким образом, общий объем припоя для паяного соединения:

$$V_{SJ} = V_h + V_f - V_p. \quad (1)$$

Количество паяльной пасты V_{SP} не равно V_{SJ} , так как паяльная паста составляет только 50% объема припоя. Необходимое количество паяльной пасты равно:

$$V_{SP} = V_{SJ} / F, \quad (2)$$

где F — коэффициент уменьшения паяльной пасты, обычно составляет от 0,45 до 0,55. На рис. 4 показано теоретическое влияние теплового воздействия на объем паяльной пасты.



Окна в трафарете должны быть спроектированы таким образом, чтобы обеспечить нужный объем паяльной пасты. Если окно в трафарете круглое, объем паяльной пасты будет равен:

$$V_{SP} = r_s^2 \times t_s, \quad (3)$$

где r_s — радиус круглого окна трафарета, а t_s — толщина трафарета. Радиуса и толщины достаточно, чтобы рассчитать формулу (3).

Если форма окна трафарета прямоугольная, выражение для расчета объема паяльной пасты будет таким:

$$V_{SP} = l \times w \times t, \quad (4)$$

где l — длина окна, а w — ширина.

Пример трафарета

В качестве примера рассмотрим комбинацию, приведенную на рис. 1, 2: печатная плата с печатным монтажом и монтажом компонентов в отверстия.

Используя формулы для расчета, приведенные выше, мы можем вычислить объемы паяльной пасты. Например, сторона квадратного окна трафарета толщиной 7 мил должна составлять по крайней мере 135 мил для того, чтобы обеспечить нужный объем паяльной пасты. В случае круглого окна его радиус должен составлять по крайней мере 76 мил.

Для сборок ПП по технологии монтажа компонентов в отверстия с малым шагом требуются прямоугольные окна трафаретов, поскольку такая форма обеспечивает нужное количество паяльной пасты. В некоторых случаях толщина трафарета не подходит для технологии PiP и монтажа других компонентов. Тогда нужно будет провести работу с двумя

разными трафаретами или использовать многоуровневые трафареты [1].

Программы

для проектирования трафаретов

Вычисление необходимой конфигурации трафарета для некоторых печатных плат — процесс достаточно сложный. Для его упрощения разработана программа StencilCoach [2], которая позволяет быстро вычислить все параметры трафарета.

Паяльная паста

Для успешного применения технологии PiP нужен правильный выбор паяльной пасты. А поскольку паяльная паста наносится только на одну сторону подложки, важна способность пасты пройти сквозь отверстия в печатной плате до конца контактного штыря компонента. Эта способность зависит от характеристик пасты и самого процесса. Хотя и существуют исключения, для PiP-процесса хорошо подходят порошковые припои стандарта Type 3.

В PiP могут применяться и паяльные пасты, для которых не предусмотрена очистка, и водорастворимые паяльные пасты. Однако пасты, не требующие очистки, предпочтительнее, так как в итоге лучше счищаются с поверхности. Кроме того, при использовании паяльных паст для монтажа компонентов в отверстия образуется больше остатков флюса, чем при пайке волной. Толстый слой остатков флюса гораздо сложнее очистить, чем количество флюса, оставшееся вокруг поверхности смонтированного компонента. Да и сам компонент может скрыть остатки флюса, таким образом обеспечив менее эффективный процесс очистки поверхности.

Нанесение пасты через трафарет

В технологии PiP процесс нанесения трафарета должен балансировать между требованиями к традиционным устройствам, монтируемым на поверхность, и к компонентам, монтируемым в отверстия. Параметры печати при нанесении пасты — ключевой момент для обеспечения достаточного, не избыточного объема паяльной пасты при монтаже площадок в отверстия, поскольку необходимо, чтобы паста не попала на сами площадки под поверхностный монтаж с малым шагом. Хотя точные параметры зависят от проводимого процесса, наиболее важные переменные — давление и скорость нанесения.

Если увеличить давление лезвия ракеля, то в отверстия, в которые будут монтироваться контактные штыри, попадет большее количество паяльной пасты, что окажет положительное влияние на надежность соединения. Но если давление увеличено слишком сильно, на площадках, монтируемых на поверхность, будут появляться перемычки. Кроме того, повышенное давление потребует более частой очистки пространства под трафаретом.

Скорость движения лезвия должна соответствовать величине его давления. В общем, более низкая скорость позволит лучше заполнить окна трафарета и, таким образом, понадобится больший объем паяльной пасты.

Применение технологии прямой печати с помощью печатающей головки (например, технологии DEK Proflow, MPM Rheometric Pump и т. д.) позволяет улучшить результаты процесса PiP. Практика показывает, что дополнительное усилие головки, направленное вниз, обеспечивает попадание большего количества пасты в отверстия, чем стандартная технология с использованием ракеля. Увеличение количества пасты помогает лучше заполнить отверстия, обеспечить цельную качественную кромку припоя и получить более крепкое соединение.

Про компоненты

Очевидно, что применяемые компоненты должны выдерживать температуры процесса пайки. Такая информация обычно приводится в спецификациях на компоненты.

Использование необходимого и достаточного количества паяльной пасты для формирования необходимых паяных соединений не позволяет штырям компонентов при монтаже полностью вытолкнуть пасту из отверстия. Для этой цели также нужно, чтобы концевая часть штыря не выступала более чем на 60 мил над нижней поверхностью платы. Концевые части должны иметь округлую форму, что минимизирует эффект выдавливания пасты.

Размещение

Многие сборщики ПП находят, что ручной монтаж дает наилучшие результаты при PiP. Далее операторам нужно убедиться, что ни один из ранее установленных компонен-

тов под поверхностный монтаж не сместился, а концевые части компонентов, монтируемых в отверстия, не выступают над нижней поверхностью платы более чем на 60 мил. Кроме того, нужно быть осторожным, если при монтаже в отверстия компоненты имеют специальные, устанавливающиеся на плату опоры. Установка на поверхность таких опор может стать причиной смещения компонентов, монтируемых на поверхность.

Пайка оплавлением

Первая мысль, возникающая при применении пайки оплавлением припоя, — нужно руководствоваться, прежде всего, рекомендациями по профилю оплавления, предоставленными изготовителем паяльной пасты. Однако, как показала практика, предложенный Нинг-Ченг Ли [3] новый способ построения температурного профиля оплавления положительно влияет на выход годного. Данный способ состоит в том, что профиль имеет более сглаженный подъем температуры со скоростью до 0,5–1 °C/с, небольшую выдержку температуры ликвидуса, минимально возможное время выше температуры ликвидуса и очень быстрый спад температуры, но при этом скорость падения не превышает 4 °C/с.

Предложенный Ли профиль минимизирует появление многих дефектов, возникающих при пайке, например скатывание припоя. При более сглаженном подъеме температуры вязкость и густота припоя не уменьшается, что снижает вероятность «стекания» паяльной пасты с компонента во время начальной стадии нагревания в печи.

Оптимизация процесса

Данное обсуждение — это попытка показать читателю достоинства технологии PiP в целом. Однако для конкретного производства всегда необходима оптимизация процесса под конкретные нужды с помощью эксперимента по заранее разработанной программе. Для последующего контроля результатов процесса можно использовать системы статистического контроля производственных процессов. На основе эксперимента и статистического контроля нужно провести проверку на экономическую эффективность применяемой технологии.

Заключение

Технология PiP практически всегда становится ответом на вопрос, как упростить и улучшить процесс пайки сложных печатных плат. Мы надеемся, что данные в статье рекомендации пригодятся изготовителям ПП и помогут успешно применить данную технологию для производства.

Литература

1. www.indium.com/technical-documents/whitepaper/effect-of-nanocoated-stencil-on-01005-printing
2. www.indium.com/blog/pin-in-paste-aperture-solder-volume-calculations-with-stencilcoachtm.php
3. www.indium.com/biographies/ning-cheng-lee