

# Нанесение паяльной пасты с помощью сетчатых и металлических трафаретов.

## Часто задаваемые вопросы

**Нанесение паяльной пасты является первым этапом современного процесса монтажа печатных плат. Качество электронного изделия напрямую зависит от качества нанесения паяльной пасты.**

**Данная статья содержит ответы на часто задаваемые вопросы, которые помогут технологам избежать многих ошибок. При написании статьи использовались материалы компании Speedline Technologies (США), поставщика трафаретных принтеров MPM.**

Антон Сизов

smt@dipaul.ru

### Общие вопросы по нанесению паяльной пасты

— *Как быстро можно наносить паяльную пасту?*

— Между углом наклона и давлением ракеля, а также скоростью нанесения и составом паяльной пасты есть взаимосвязи, которые нельзя нарушать, если хотите получить хорошее качество нанесения. Для наилучшего результата паяльную пасту разного состава надо наносить с разной скоростью. Если ракели «планируют» (не касаются трафарета) и оставляют на трафарете тонкий слой пасты или флюса, то необходимо увеличить давление ракелей до очистки верхней стороны трафарета. Не следует увеличивать давление и угол наклона ракелей выше того предела, когда паста перестает «кататься». Перекачивание пасты во время ее нанесения является индикатором того, что качество работы приемлемо. Слишком быстрое нанесение пасты может привести к тому, что апертуры будут заполняться не полностью (особенно у кромки), а «планирование» приведет к образованию «пиков» пасты и только частичному заполнению площадок из-за того, что паста не выходит из апертур.

— *Почему паста остается на трафарете после прохода ракелей?*

— Это возможно по ряду причин. Мы рассмотрим две главные причины. Первая: кроме давления на рапель в принтерах существует такой параметр, как расстояние вдавливания ракелей в трафарет (downstop) (См. ниже раздел «Вдавливание и отлипание»). Если величина расстояния вдавливания слишком мала, заданное давление не будет достигнуто, несмотря на то, что вы установили нужную силу давления ракелей. Вторая возможная причина — недостаточная поддержка платы снизу. При недостаточной поддержке платы она может прогибаться вниз под давлением ракелей, и, следовательно, образуемый угол между лезвиями ракелей и платой не позволит очистить трафарет. Недостаточная поддержка платы может привести к тому, что давление ракелей на плату не будет равномерным из-за прогиба платы вниз.

— *Почему с одной стороны платы слой пасты толще, чем с другой?*

- Возможно, изогнуты или повреждены лезвия ракелей. Проверьте лезвия, положив их на ровную поверхность. Замените, если они повреждены.
- Также возможно, что неверно настроен угол наклона ракелей. Проверьте угол наклона ракеля в держателе лезвий под прямым углом. Чтобы настроить угол работы в 0°, необходимо настроить угол держателя лезвий в 90°.
- Возможно, лезвия неверно установлены в держатель. Выньте и заново установите лезвия, выровняйте их, попробуйте еще раз пропечатать плату.
- Еще одной распространенной причиной может быть неправильная или неравномерная поддержка платы в той части, где слой пасты толще. Возможно, на держателях и (или) рабочем столе скопилась паста. От этого плата поддерживается неравномерно, что приводит к увеличению толщины слоя наносимой пасты.
- Если ваш автомат трафаретной печати оснащен блоком ракелей с контролем балансировки Prohead, то, возможно, причина в неравномерности прилагаемого усилия с левой и с правой стороны. Этот параметр можно настроить для приложения большей силы с одной стороны лезвий, чем с другой. Убедитесь, что в настройках задано соотношение 50/50%.

— *Можно ли использовать паяльную пасту для нанесения в сквозные отверстия?*

— Да, нанесение паяльной пасты теперь возможно и для этого типа монтажа. Процесс использования паяльной пасты для заполнения отверстий плат при сквозном монтаже часто называется «интрузивной пайкой» (intrusive soldering) или технологией pin-in-paste printing. Апертуры трафарета должны быть правильно спроектированы, так как для заполнения сквозных отверстий с последующим получением надежного соединения в них должно поступать достаточное количество пасты. Надо учитывать, что коэффициент усадки пасты обычно составляет 50%, поэтому первый шаг — высчитать необходимое

количество пасты. Для этого из объема пасты, необходимого для заполнения отверстия, вычитаем объем вывода. Пасты требуется в два раза больше, чем припой, а размер апертуры может быть высчитан исходя из толщины трафарета и свободного пространства вокруг площадки с отверстием. Можно нанести немного больше пасты, чем нужно, во время оплавления она все равно вернется обратно в пределы паяемой поверхности. Более подробную информацию о работе с автоматами трафаретной печати SPM можно найти на сайте компании Speedline ([www.speedlinetech.com](http://www.speedlinetech.com)).

**Расчет объема пасты, необходимой для заполнения отверстия**

Объем пасты, необходимой для заполнения отверстия, равен разности объемов отверстия и вывода, умноженной на 2 (рис. 1).

$$V = (3,14 \times H \times D^2 / 4 - 3,14 \times d^2 / 4) \times 2$$

или  $V = 3,14 \times H \times (D^2 - d^2) / 2$ .

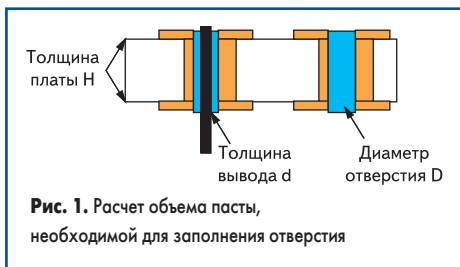


Рис. 1. Расчет объема пасты, необходимой для заполнения отверстия

**Расчет размера апертуры квадратной формы**

Размер равен квадратному корню из отношения «необходимый объем пасты/толщина трафарета» (рис. 2).

$$A = \sqrt{V/T}$$

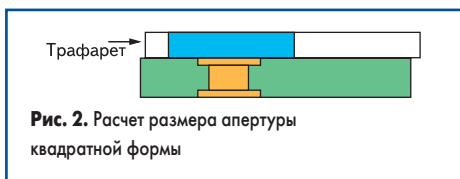


Рис. 2. Расчет размера апертуры квадратной формы

**Ракели**

— Для чего нужны ракель разной жесткости и как их использовать?

— Для работы с сетчатым (экранным) и металлическим трафаретами нужны ракель разной жесткости. При работе с сетчатым трафаретом обычно используют полиуретановые ракель с жесткостью от 60 до 80 по Шору. Сетка трафарета должна мешать лезвию вычерпывать материал с подложки при работе с более мягкими материалами. Ракели с жесткостью от 90 до 110 по Шору обычно используются для нанесения пасты с помощью металлических трафаретов. Однако если при нанесении паяльной пасты с помощью металлических трафаретов используются полиуретановые ракель, может возникнуть такая проблема, как «вычерпывание» пасты из больших апертур. Для нанесения пасты с помощью металлических трафаретов предпо-

читательнее использовать металлические ракель. Тем не менее, при работе с трафаретом, на котором имеются только маленькие апертуры, или при работе с многоуровневым разнотолщинным трафаретом (Step-stencil), использование полиуретановых ракей даст лучшее качество печати и уменьшит износ трафарета. Многоуровневый разнотолщинный трафарет — это трафарет с участками большей или меньшей толщины относительно общей толщины трафарета. Они обычно используются для плат, для которых одновременно нужны апертуры большого и очень маленького размера.

— Какой величины должен быть угол контакта лезвий ракей?

— Угол контакта кромки лезвий без нажатия составляет для металлических ракей — 60°, для полиуретановых — 50°. Если автомат трафаретной печати оснащен блоком ракей с контролем балансировки Prohead, то угол контакта можно регулировать на ±5° от номинального значения. Сила давления на лезвие должна быть достаточной для того, чтобы удалить с трафарета остатки пасты, но не такой большой, чтобы продавить трафарет и вызвать его преждевременный выход из строя. Продавливание — это термин, используемый для обозначения отпечатка краев платы снизу трафарета при излишнем давлении на трафарет за пределами поверхности платы.

**Вдавливание и отлипание**

— Что такое вдавливание (downstop)?

— Термин «вдавливание» используется для обозначения запрограммированного расстояния вдавливания ракей в трафарет при печати. Плата будет поддерживать трафарет во время прохода ракей. Тем не менее, если ракель выйдут за пределы платы и опорного рельса, то это может вызвать деформацию и преждевременный износ трафарета. Правильная настройка вдавливания позволит избежать этого, так как ракель не будут выходить за пределы неподдерживаемого участка трафарета и, следовательно, продавливать трафарет. Однако если сила вдавливания недостаточна, то достичь нужной силы давления при нанесении паяльной пасты не удастся, так как лезвие ракей не будет достаточно изогнуто. Обычные параметры вдавливания — от 0,065" (1,6 мм) до 0,075" (1,9 мм).

— Какая разница между контактным (contact printing) и бесконтактным (snap-off printing) методом нанесения паяльной пасты, что значит термин «медленное отлипание» (slow snap-off)?

— Контактный метод (рис. 3а) — это такой метод нанесения паяльной пасты, когда вся поверхность платы соприкасается с трафаретом. После прохода ракей и заполнения апертур пастой, трафарет и плата отделяются друг от друга, причем движение должно быть равномерным и направленным по вертикали.

Бесконтактный метод (рис. 3б) — это такой метод нанесения паяльной пасты, когда между платой и трафаретом в состоянии покоя есть зазор. Во время нанесения паяльной пасты

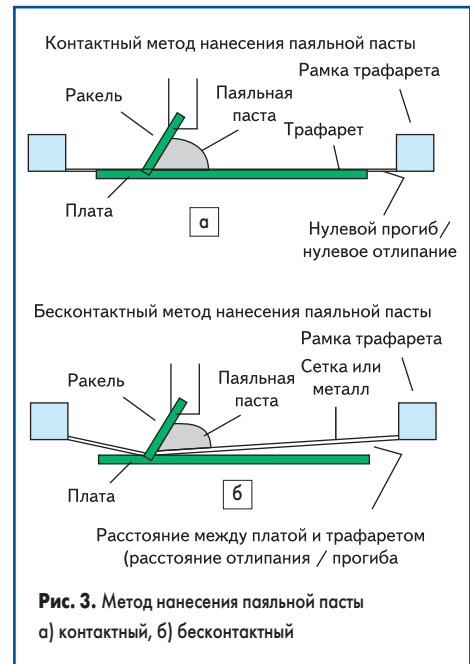


Рис. 3. Метод нанесения паяльной пасты а) контактный, б) бесконтактный

трафарет прогибается, и тот соприкасается с платой. Плата и трафарет контактируют только в том месте, где ракель давят на трафарет. После продвижения ракей вперед сетка или металл отлипают от поверхности платы. Бесконтактный метод используется при работе с платами с высокой плотностью монтажа, при неравномерной скорости отлипания, высокой скорости печати и использовании сетчатого трафарета. Бесконтактный метод нанесения с медленной скоростью отлипания (slow snap-off) — это термин, используемый для описания процесса медленного отделения трафарета и платы после прохода ракей. Так как разные марки пасты по-разному выходят из апертур трафарета, то эта регулируемая настройка позволяет пасте «осесть» после нанесения пасты и четко выйти из апертур.

— Когда лучше всего использовать бесконтактный метод нанесения паяльной пасты?

— Бесконтактный метод нанесения паяльной пасты применяется при использовании сетчатых или металлических трафаретов для работы с платами с высокой плотностью монтажа. Расстояние отлипания — это расстояние между сеткой/металлом и платой до того, как ракель продавят сетку/металл до соприкосновения с поверхностью платы. При этом сетка или металл как бы прокатываются по плате, в результате чего создается равномерная скорость высвобождения пасты из апертур. Если при нанесении паяльной пасты на плату с высокой плотностью монтажа компонентов использовать контактный метод, то скорость отделения сетки или металла по краям платы будет отличаться от скорости отделения в центре из-за разной силы сцепления.

**Конструкция трафарета**

— Я хочу разместить на трафарете два рисунка. На каком расстоянии они должны находиться друг от друга?

— Обычно рисунки должны находиться на расстоянии минимум 3" (76 мм) друг от дру-

га из-за задних кромок ракелей. Если есть допуск на небольшое движение ракеля после нанесения паяльной пасты, то расстояние должно быть увеличено до 4 дюймов (100 мм). Тогда максимальный размер платы при работе с трафаретом 29×29" (736,6×736,6 мм) уменьшится до 6" (150 мм). При работе с печатной головкой, оснащенной реометрической помпой, расстояние между рисунками может быть сокращено до 0,75" (19 мм), а общая ширина платы увеличится до 8,9" (226 мм).

— **Какой минимальный размер поверхности металлического трафарета может использоваться с сохранением эффективности нанесения паяльной пасты?**

— При работе ракелями с задней кромкой минимальный размер поверхности трафарета по оси Y (по ширине) высчитывается следующим образом: к размеру платы прибавляется 7" (178 мм). При работе ракелями ромбовидной формы минимальный размер поверхности трафарета высчитывается так: к размеру платы прибавляется 1" (25 мм). Расстояние по оси X (длина) должно быть минимум на 1" (25 мм) больше длины ракелей.

— **Почему рекомендуется располагать рисунок в центре трафарета?**

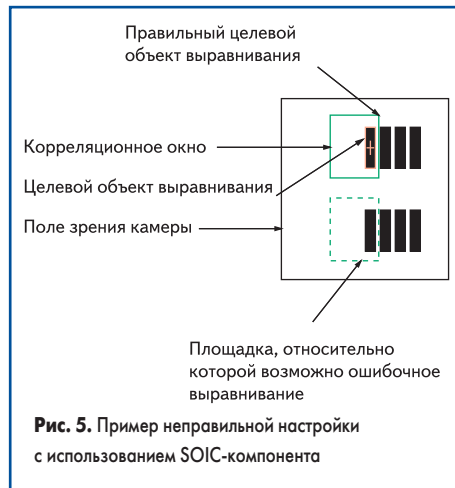
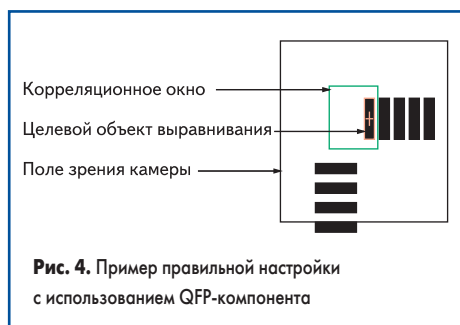
— Чтобы добиться точного отделения трафарета и платы по вертикали, рисунок следует располагать в центре трафарета. Если рисунок смещен, то отлипание будет неравномерным.

— **Всегда ли нужны реперные знаки для точного позиционирования трафарета относительно платы?**

— Для достижения наилучших результатов предпочтительно, чтобы реперные знаки были. Однако если традиционных реперных знаков нет, хорошие результаты могут быть достигнуты при использовании вместо них контактных площадок и апертур трафарета. На плате надо выбрать какой-либо однозначно определяемый знак, например для позиционирования платы и трафарета можно использовать последнюю площадку QFP. Отметим, что надо заботиться о том, чтобы апертур всегда были чистыми, так как если они будут забиты пастой, то могут возникнуть проблемы выравнивания, так как размер и форма апертур будут отличаться от размеров и формы чистой апертур, использованной во время программирования.

**Пример правильной настройки с использованием QFP-компонента (рис. 4)**

Как видно в приведенном на рис. 4 примере, в результате настройки создается однознач-



но читаемое изображение, так как система дополнительно запомнила пустое пространство слева от целевой площадки, и так как в поле зрения камеры нет других похожих объектов.

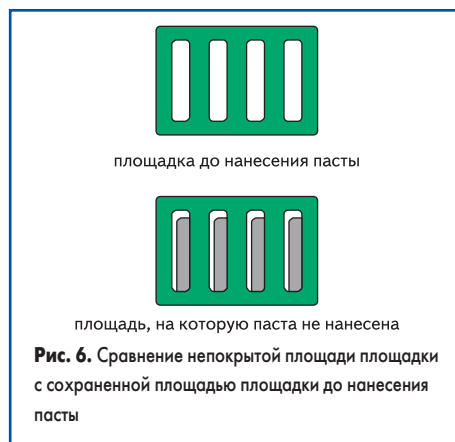
**Пример неправильной настройки с использованием SOIC-компонента (рис. 5)**

Здесь (рис. 5) проблема заключается в том, что корреляционное окно создано не для однозначно читаемого объекта, поэтому система может найти и другой похожий объект. Следовательно, система может произвести выравнивание относительно другой площадки, расположенной ниже в поле зрения камеры, а не той, которая нужна.

## 2D-контроль

— **Для чего нужен 2D-контроль?**

— 2D-контроль предназначен для проверки процесса нанесения паяльной пасты (это не инспекционная система и не предназначенная для ее замены функция). Проще говоря, 2D-контроль помогает улучшить процесс работы и проверить, как процесс управляется принтером. Если бы процесс никогда не менялся, то вам никогда не понадобились бы контроль и инспекция. Однако большинство печатных плат содержат очень сложные компоненты или рисунки. Это особенно верно для компонентов с малым шагом, для которых особенно необходим контроль. Системы 2D-контроля помогают добиться подходящего отделения трафарета и покрытия пастой площадок согласно эталонным образцам. Система контроля предупредит о любых



отклонениях от заданного процесса, что позволит вам внести нужные изменения прежде, чем придется прибегнуть к другим, более дорогостоящим процессам, например мытью плат или ремонту.

— **Как работает 2D-контроль?**

— Подсчитано, что примерно до 90% и даже больше всего брака печати или отклонений от заданного процесса может быть обнаружено при проверке покрытия целевой площадки пастой. При этом методе обнаруживаются площадки с недостаточным нанесением пасты, что приводит к недопустимому результату пайки.

В самую эффективную систему 2D-инспекции должна быть встроена техника сравнения серой шкалы для определения в процентном выражении покрытия целевых площадок платы пастой. В этой технике происходит сравнение непокрытой площади площадки, на которую нанесена паста, с сохраненной площадью площадки до нанесения пасты, которая задается во время первого программирования (рис. 6). При помощи этих данных производятся следующие вычисления для определения покрытия площадки пастой в процентном выражении:

$$\left(1 - \frac{\text{Площадь, не покрытая пастой (площадь, на которую паста не нанесена)}}{\text{Запрограммированная площадь площадки (площадка до нанесения пасты)}}\right) \times 100.$$

— **Какие существуют стратегии для оптимизации процесса?**

— Лучше всего находить и исправлять проблемы, связанные с нанесением паяльной пасты, по мере их поступления. За некоторым исключением, когда в линию включена линейная инспекция, 2D-контроль не предназначен для проверки каждой отдельной площадки на каждой плате. Поэтому всегда должен быть способ программирования инспекционной системы для наиболее рационального использования основных устройств и проверки основных плат и площадок в качестве модели данных. Инспекция последних будет проводиться на всех платах в любом цикле. Чтобы узнать, как лучше создавать модели данных, необходимо понимать, какие категории компонентов надо проверять на плате. Также важно полностью понимать гибкость программного обеспечения инспекции, чтобы использовать эти модели данных наиболее правильно и эффективно для каждой отдельной операции.

— **Как использовать расстановку приоритетов проведения 2D-контроля?**

— Определите места на плате, которые вероятнее всего могут быть проблемными для печати. Используйте их в качестве образцов для теста. Если качество печати этих трудных мест удовлетворяет вас, то можно предположить, что и качество печати более легких мест на плате тоже будет в пределах необходимых параметров. Так как на цикл печати часто отводится мало времени, и, следовательно,

и на инспекцию всего образца не будет хватать времени, ниже приведен список приоритетных мест, где могут возникнуть проблемы, связанные с нанесением пасты:

- **Трудная точечная пайка.** Выделите те компоненты, площадки которых будет трудно пропечатать. Это могут быть площадки для кристаллов, QFP-компонентов с малым шагом (в этом случае из-за малого количества наносимой пасты трудно проверить качество нанесения или объем нанесенной пасты) или CSP-компоненты.
- **Найдите места, куда потребуются нанести больше всего пасты.** Следует найти крупные контактные площадки на правой или левой стороне платы. На эти места понадобится нанести большее количество пасты, а, следовательно, здесь недостаток нанесенной пасты будет выявлен раньше, чем в других местах.
- **Создайте схему проведения инспекции.** Запрограммируйте проверку компонентов, разбросанных по всей поверхности платы. Это поможет выявить локальные проблемы, например: недостаточная поддержка платы или места, куда требуется нанести больше пасты. Рекомендуется проверять компоненты в нескольких разных квадратах платы, например: левый, правый, верхний, нижний и центральный.
- **Места, которые будет трудно проверить позже.** Выделите места, которые будет трудно проверить позже (то есть после установки компонентов или оплавления в печи), например: BGA или micro-BGA, при работе с которыми практически невозможно про-

верить соединение с контактной площадкой без проведения рентгеновского контроля, хотя и с его использованием будет достаточно трудно проверить качество нанесения пасты.

#### Система автоматической очистки трафарета

— **Насколько необходима функция автоматической очистки трафарета?**

— Для полуавтоматических устройств нанесения пасты, где оператор имеет возможность часто протирать трафарет вручную, эта функция не имеет такого значения, как в принтерах, встроенных в конвейерную линию. При печати QFP-компонентов с малым шагом, BGA, micro-BGA или CSP-компонентов эта функция необходима.

— **Как часто должна осуществляться очистка трафарета?**

— Очистку трафарета на простых платах включают с периодичностью 1 раз после каждых 10–20 проходов ракеля. На платах, где есть компоненты с шагом выводов до 0,5 мм, число проходов снижают до 3–5. В особых случаях очистку производят после каждого нанесения.

#### Статистический контроль и сбор данных

— **Что такое система статистической обработки данных?**

— Система статистической обработки данных — это использование техники сбора ста-

тистических данных, таких как контрольные диаграммы, для анализа процесса или их вывода. Это необходимо для того, чтобы предпринять нужные действия для достижения и поддержания статистического контроля и для улучшения производительности процесса.

— **Что такое контрольные диаграммы?**

— Контрольные диаграммы — это просто эффективный инструмент статистического контроля. Они предоставляют наиболее надежную информацию о том, когда следует предпринять действия и когда не следует предпринимать никаких действий. Это графическое представление характеристик процесса с выводом в виде кривой значений некоторых собранных данных, центральной линией или линией среднего значения, одним-двумя предупреждениями и границами элементов управления.

— **Что такое «Общая проблема» (Common Cause)?**

— Это причина отклонения, повлиявшая на все отдельные значения изучаемого процесса. Эту причину обычно необходимо исправить менеджером (например: качество платы, дизайн, выбранная паста и т. д.).

— **Что такое «Особая проблема» (Special Cause)?**

— Это скачкообразный, непредсказуемый или непостоянный источник отклонений. Эти причины отклонений не повторяются на всех платах в потоке и обычно это частные случаи (например, запущенная задом наперед плата или плата из другой партии). Все, что вызвало непредсказуемый скачок в сборе данных, будет рассматриваться как особая проблема. ■