

# Каплеструйная печать: другой способ нанесения паяльной пасты

**В течение многих лет трафаретная печать была стандартным способом нанесения паяльной пасты при поверхностном монтаже компонентов. До недавнего времени этот способ (за некоторым исключением) считался единственным. Он совсем не плох для поверхностного монтажа компонентов, но с ним постоянно были связаны трудности.**

**Петер Гранди  
(Peter Grundy)**

**Перевод:  
Ольга Зотова**

smt@dipaul.ru

Они не привели к исчезновению трафаретной печати, так как компании научились извлекать максимум пользы из этой технологии. Всегда будет множество компаний, которые полностью довольны результатами трафаретной печати, но также есть и те, кто может извлечь дополнительную пользу из технологии нанесения паяльной пасты методом каплеструйной печати. Компания MYDATA automation (Швеция) разработала каплеструйный принтер MY500 (рис. 1) для нанесения паяльной пасты: специально, чтобы преодолеть многие из существующих трудностей.

## Технология нанесения паяльной пасты методом каплеструйной печати

Каплеструйная печать — это способ нанесения паяльной пасты путем ее «выстреливания» при почти комнатной температуре (примерно 30 °С) из картриджа через эжектор на печатную плату точно в то место, куда необходимо нанести пасту согласно схеме платы. Картридж передвигается над поверхностью печатной платы по осям X и Y с помощью моторов с линейным приводом. Точность позиционирования привода составляет  $\pm 0,015$  мм на  $3\sigma$ , как и в высокоточных установщиках. Приводная система обеспечивает установку картриджа в нужное время и в нужное место, но именно картридж обеспечивает правильное нанесение слоя пасты.

Принцип каплеструйной печати паяльной пасты (рис. 2) очень похож на тот, что используется при струйной печати на бумаге. Струйная насадка сканирует поверхность платы и наносит паяльную пасту согласно заданной программе со скоростью до 1 800 000 доз в час. Паяльная паста поступает из стандартного 30-мл картриджа, но роль эжектора (рис. 3), следящего за подачей пасты, не менее важна.

«Сердце» эжектора — это приводимый в действие мотором шнек (Архимедов винт), который подает измеренное количество паяльной пасты на иглу. Паста подается на шнек из картриджа под давлением примерно 1 бар. Пока шнек вращается и поддерживается давление, паста будет выдавливаться из иглы, находящейся на конце шнека. Если шнек прекратит вращение, то обратное давление предотвратит вытекание



Рис. 1. Каплеструйный принтер MY500

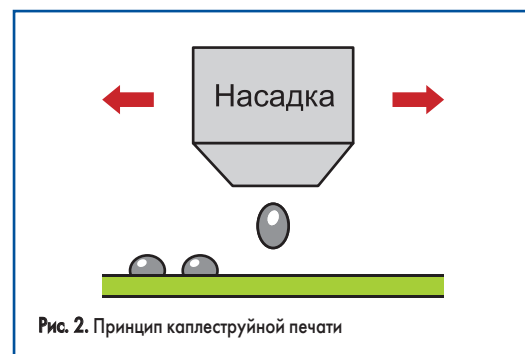


Рис. 2. Принцип каплеструйной печати



Рис. 3. Эжектор с установленным картриджем с паяльной пастой

паяльной пасты из иглы. Необходимое для подачи пасты из иглы давление должно быть по возможности постоянным. Если оно будет слишком низким, то при вращении шнека в камере могут возникнуть пустоты (кавитация), в результате чего дозы будут неравномерными. Если давление будет слишком большим, то паста будет нагнетаться на шнек и вытекать или капать на печатную плату. Поэтому для данного процесса очень важно следить за давлением. Слишком высокое или слишком низкое давление нежелательны. В худшем случае кавитация может привести к повреждению шнека. А ведь никто не хочет видеть подтекание паяльной пасты на те участки печатной платы, где нет контактных площадок!

Чтобы поддерживать по возможности одинаковую вязкость паяльной пасты, картридж работает при температуре 29...30 °С. Вязкость — это еще одна переменная, которая влияет на эффективность работы эжектора. Поэтому ее влияние нужно сводить к минимуму.

Сначала материал может поступать неравномерно, поэтому важно запрограммировать машину так, чтобы первые дозы паяльной пасты наносились не на печатную плату. Это позволит стабилизировать подачу пасты. В принтере MY500 есть рулон бумаги, который предназначен для нормализации подачи паяльной пасты, а также для того, чтобы продемонстрировать правильность размера доз пасты. Конечно, на кромку печатной платы можно прикрепить и тест-кулон паяемости, как это предписано Национальной физической лабораторией Великобритании (NPL) и ассоциацией Smart Group. Тест-кулон может служить механизмом обеспечения равномерности подачи паяльной пасты.

### Паяльная паста

С точки зрения состава металлов нет никакой разницы между паяльной пастой для трафаретного или капле струйного принтера.

Но для капле струйной печати необходима паста 5-го типа с диаметром зерна 0,025 мм. В ней больше флюса и растворителя, чем в пасте для трафаретной печати, что необходимо для придания пасте текучести, чтобы ее можно было «выстреливать». Паста для капле струйной печати недостаточно густа для трафаретной печати, а паста для трафаретной печати слишком густа для капле струйной. Сейчас ассортимент паст представлен составами 1–8 типов. Но все эти пасты предназначены для трафаретной печати. В пасте 8-го типа размер зерна составляет около 8 микрон, но у этой пасты большая склонность к «расползанию», то есть нанесенный слой пасты не сохраняет форму «кирпичика». Если нужно нанести слой пасты для крошечных компонентов, например для конденсаторов 01005, то паста 8-го типа будет наилучшим вариантом. Но такие компоненты лучше располагать рядом с маленькими, а не с большими. Принтер MY500 разработан специально для того, чтобы работать с различными компонентами, а значит, и с разными по величине слоями наносимой паяльной пасты. Поэтому для принтера лучше использовать ту паяльную пасту, которая подходит для работы с большим ассортиментом компонентов. Для этого оптимальный выбор — паста 5-го типа. И так как самый маленький тип компонента — 0201, то и диаметр насадки эжектора составляет 0,3 мм, что позволяет добиться при нанесении пасты лучших результатов (рис. 4).

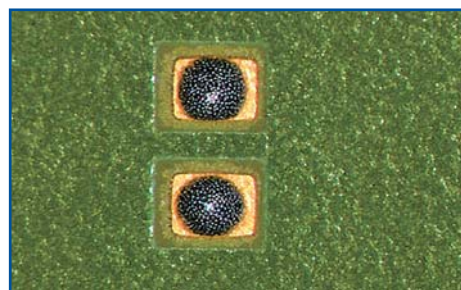


Рис. 4. Слой нанесенной пасты на контактные площадки компонента 0201

В будущем будут созданы пасты для работы с компонентами 01005, но такие компоненты применяют на крупносерийных производствах, а это очень ограниченный рынок.

Сегодня паста для капле струйной печати дороже пасты для трафаретной печати. Но стоимость паст для капле струйной печати снизится, как только объемы и масштабы их производства станут выгодными для производителей. И даже если стоимость этих составов сравняется, то конечная стоимость пасты для капле струйной печати и сам процесс имеют гораздо больший потенциал. Ведь при капле струйной печати наносится столько пасты, сколько нужно для создания хорошей галтели.

### Потери паяльной пасты

При нанесении паяльной пасты через трафарет или методом капле струйной печати паяльная паста никогда не расходуется до последнего грамма. Сегодня потери пасты при капле струйной печати сравнимы с потерями

пасты при работе с закрытой головкой печати в трафаретном принтере.

Но дело не только в потере неиспользованной паяльной пасты. Немаловажно и то, что при работе с трафаретом без закрытой головки печати остатки пасты в конце рабочего дня собирают и помещают в специальную емкость. Постепенно характеристики пасты меняются, она теряет флюс и летучие растворители, ее труднее наносить, и, что хуже всего, изменяется качество галтелей. Если на предприятии существует система контроля качества, то вся неиспользованная паста должна быть выброшена как негодная, а не возвращена в емкость для дальнейшего использования. Такая система контроля качества обеспечивает не только постоянное высокое качество галтелей, но и очень высокие издержки производства и расход пасты.

### Трафареты

Существует три способа производства трафаретов, отличающихся технологией производства и стоимостью. Самый простой и дешевый способ — химическое травление, при котором на листе металла (обычно это нержавеющая сталь) с обеих сторон протравливается рисунок апертур. Так как травление осуществляется с обеих сторон, то в середине каждой апертюры формируется небольшой выступ, который слегка мешает проникновению паяльной пасты, поэтому трафареты, произведенные методом химического травления, не очень подходят для работы с крошечными апертюрами и апертюрами под выводы с малым шагом. При втором способе используется CO<sub>2</sub>-лазер, с его помощью наносится рисунок апертур. На стенках не формируется никаких «выступов», а все неровности являются вертикальными (страты). Поэтому трафареты, произведенные методом лазерной резки, пользуются спросом у компаний, которые работают с компонентами с малым шагом выводов. Когда же необходимо сделать чрезвычайно маленькие апертюры для микро-BGA или компонентов 01005, то даже вертикальные страты в трафаретах, произведенных методом лазерной резки, могут привести к прилипанию пасты к стенкам апертюр трафарета. В результате объем наносимой пасты трудно определить. В этом случае технически подходят трафареты, произведенные методом гальванопластики, но они дорогие. Стоимость таких трафаретов зависит от их сложности и количества апертюр, но обычно превышает стоимость «лазерных» трафаретов в два раза.

Металл (обычно это никель) наращивается слой за слоем вокруг фотомаски с нужным рисунком апертюр. Апертюры могут быть очень маленькими и предназначены для работы с компонентами 01005, так как конечная толщина трафарета обычно не превышает 0,1 мм, а наносимый слой пасты, соответственно, еще меньше. Производство трафарета методом гальванопластики занимает больше времени, чем производство трафарета методом лазерной резки или химическим травлением. И в результате получается очень хрупкий трафарет,

чувствительный к любым повреждениям, так как такие трафареты предназначены для нанесения очень маленького количества пасты на очень небольшом расстоянии друг от друга, из-за чего участки трафарета между апертурами очень непрочные.

Как при внесении любых изменений в дизайн трафарета, так и для каждого отдельного дизайна печатных плат нужен новый трафарет, а значит, и соответствующая система учета и хранения трафаретов, в результате чего их стоимость существенно вырастает. Трафареты необходимо отмывать и хранить так, чтобы исключить их повреждение. Хранение трафаретов без рамки обходится недорого, и затраты на них немного ниже, чем на трафареты в индивидуальной рамке. Хотя специальная рамка в принтере, которая обеспечивает натяжение и фиксацию трафарета, стоит еще дороже обычной. Для капле струйных принтеров трафареты не нужны, но, тем не менее, замена трафаретного принтера на капле струйный только по этой причине не оправдана. При полном отсутствии трафаретов остается только одна задача — создание программы.

### Квалификация персонала

Существует риск того, что для определенной печатной платы оператор может использовать трафарет, который ему покажется правильным, но на самом деле это будет не так. Для трафаретных принтеров нужно создавать правильную программу и подбирать правильный трафарет, для капле струйных принтеров же необходимо только первое. Это может показаться несущественным, но вспомните, что чем больше в цепи звеньев, тем больше вероятность ошибок. Но они будут связаны со знанием процесса трафаретной печати, а не с созданием программы.

С ростом автоматизации производства в цехах требуется все меньше и меньше людей, поэтому возрастает необходимость в квалифицированном персонале, работающем с CAD-и САМ-данными.

### Разнотолщинные трафареты

Такие трафареты часто использовали, когда возникала необходимость нанести различное количество пасты для компонентов разного размера и их галтелей. Разнотолщинные трафареты справляются со своей задачей, но, тем не менее, существуют некоторые ограничения. Со временем ракели или лезвия закрытых голов печати, которые «проталкивают» пасту в апертуры, подвержены большому износу, чем если бы они использовались на трафаретах с одинаковой толщиной. Из-за разной высоты участков трафарета бывает невозможно расположить рядом крошечные компоненты с очень маленькой высотой апертур и более крупные апертуры. Конструкторы печатных плат вынуждены были создавать материнские платы по «традиционной» технологии и трафарет толщиной, например 0,15 мм, а также одну или несколько дочерних плат с тонким трафаретом толщиной примерно 0,1 мм. Это уже мог быть

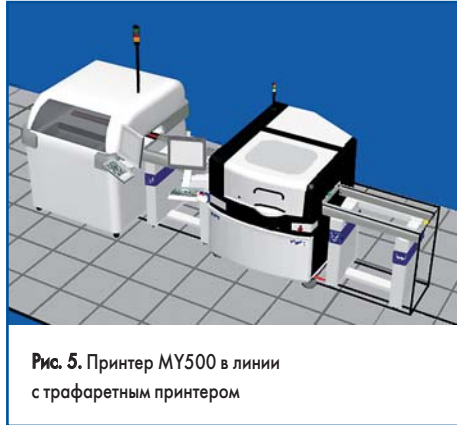


Рис. 5. Принтер MY500 в линии с трафаретным принтером

трафарет, произведенный методом гальванопластики.

При работе с капле струйным принтером вы полностью избавлены от этих неудобств, так как для него нужна только программа нанесения большого количества паяльной пасты на большие площадки и меньшего количества пасты на маленькие контактные площадки. Расстояние между контактными площадками ограничено лишь возможностями процесса оплавления. Капле струйный принтер (рис. 5) доказал свою работоспособность на шаге 0,4 мм и меньше и при размещении больших контактных площадок на расстоянии 0,4 мм от маленьких, то есть в тех случаях, когда использование разнотолщинного трафарета невозможно.

Толщина трафарета зависит от типа сборки и средней высоты слоя нанесенной паяльной пасты. При использовании разнотолщинных трафаретов на выбранные участки наносится большее количество пасты, но даже при работе с разнотолщинными трафаретами не всегда можно использовать любой диапазон толщины нанесенного слоя паяльной пасты. При капле струйной печати полностью контролируется высота и форма слоя, поэтому есть возможность наносить паяльную пасту для интрузивной пайки (PIHR — Pin-in-Hole-Reflow) рядом с крошечными контактными площадками для конденсаторов 0201 и т. д. При этом паяльную пасту с различным типом и размером компонентов наносят, используя одну машину. А вот трафаретный принтер может и не справиться с этой задачей. В тех же случаях, когда важна скорость, имеет смысл наносить на большинство контактных площадок пасту в трафаретном принтере, а затем «достреливать» остальные участки капле струйным принтером.

### Точность

Современные трафаретные принтеры — очень точные машины, но их возможности ограничены из-за использования трафаретов. Платы в партии могут слегка отличаться друг от друга и быть деформированы по осям X и Y. Искажения деформированной или погнутой платы могут быть скомпенсированы установщиком компонентов с хорошим управлением перемещением по осям. Трафаретный принтер этим похвастаться не может. Если проектировщик вынужден использовать большую панель, например размером 450×450 мм, на которую по краям монтируются компоненты

0201, то существует большой риск того, что по углам платы паяльная паста будет нанесена на контактные площадки неточно. Понятно, что компоненты могут быть некачественно запаяны и что производительность будет низкой.

Для капле струйного принтера не столь страшна деформация печатных плат. Такой принтер наносит слой пасты туда, куда нужно, вследствие чего повышается производительность. Конструкторы же получают больше свободы при проектировании ПП. Капле струйный принтер может работать и с местными реперными знаками, точно так же, как и установщик компонентов, и обеспечивать, таким образом, точность нанесения паяльной пасты на сложные контактные площадки или на площадки компонентов с малым шагом выводов. То есть, если конструктору нужно разработать печатную плату размером 600×500 мм с расположенными по краям компонентами с малым шагом или крошечными компонентами, то он больше не ограничен возможностями трафаретной печати.

### Как избежать образования дефектов?

С процессом нанесения паяльной пасты связано много видов брака. Компании, занимающиеся контролем качества продукции, часто публикуют данные, доказывающие, что на этапе нанесения паяльной пасты возникает гораздо больше брака, чем на других этапах. А если можно избежать появления дефектов на этапе нанесения паяльной пасты, то тогда появляется хорошая возможность добиться надежности процесса сборки. Обычно дефекты, возникающие в процессе нанесения паяльной пасты, приводят либо к непропаям, либо к перемычкам или замыканиям. Существует множество причин возникновения этих видов брака. Далее приведены самые распространенные.

#### Дизайн апертур и их расположение

Если апертура не сочетается с контактной площадкой, то может быть нанесено слишком много или слишком мало пасты, результатом чего становится любой тип брака. Капле струйный принтер будет запрограммирован таким образом, чтобы нанести правильное количество пасты в нужное место.

#### Подтекание пасты под трафарет

Иногда паста затекает под трафарет, в результате чего во время следующего цикла печати могут возникнуть перемычки. Этот дефект возникает чаще всего потому, что трафарет неплотно прилегает к печатной плате, поэтому паяльная паста затекает под него на плату и контактные площадки. В этом случае в трафаретном принтере нужно установить частую протирку трафарета, которая «съедает» много времени и может привести к тому, что в пасту будет попадать растворитель. В капле струйном принтере подтекание пасты под трафарет невозможно, следовательно, нет необходимости и в его протирке.

#### Расползание пасты

Этот дефект обычно связан с пастой. После того как выбрана паста с нужными характери-



стиками, она может быть подвержена воздействию температуры, вследствие чего меняется ее вязкость, характеристики текучести, и она может стать либо такой густой, что ее трудно будет наносить, либо слишком текучей, из-за чего будет растекаться по контактной площадке. В капле струйном принтере температура пасты отлично контролируется, поэтому растекание пасты практически невозможно.

#### **Забитые апертуры**

Этот дефект часто возникает, если в трафарете толщиной 0,15 мм и больше есть очень маленькие апертуры. Паяльная паста остается на той площади, которая больше, и если площадь контактной площадки больше, то она останется на контактной площадке, если же площадь стенки апертуры больше, то паста останется в апертуре. В капле струйном принтере это невозможно.

#### **Копланарность**

Если плата деформирована по оси Z, то часть деформации можно убрать с помощью хорошей фиксации платы по краям, но все равно будут участки, где трафарет может неплотно прилегать к поверхности платы. Даже если паста не будет подтекать, то, возможно, будет нанесено недостаточно пасты для того, чтобы выводы, например QFP, достали до пасты и после оплавления сформировалась хорошая галтель. Гипотетически такое может случиться и с капле струйным принтером, но если это будет происходить на многих платах, то можно просто изменить в принтере программу, чтобы он наносил больше или меньше пасты на данный участок.

#### **Качество пасты**

Плохое качество паяльной пасты всегда влияет на работу любого принтера, и капле струйный принтер здесь не исключение, но благодаря хорошей работе системы контроля температуры негативные последствия можно свести к минимуму.

#### **Паяльная маска и маркировка**

При условии, что правильно определена высота паяльной маски, она находится на одной высоте с контактными площадками платы и ее высота однородна, то и трафаретный, и капле струйный принтер хорошо нанесут пасту, но если паяльная маска неоднородна, то капле струй-

ный принтер справится с задачей лучше. Если на плату нанесена маркировка компонентов, то она может помешать хорошему прилеганию трафарета к поверхности платы/паяльной маски. При использовании капле струйного принтера такой проблемы не возникает.

#### **Температура, вязкость и давление**

Изменение температуры влияет на паяльную пасту: в результате теплового воздействия изменяются вязкость и реология пасты. Давно замечено, что если трафаретный принтер стоит в том месте, где часто меняется температура, например у двери, то в нем будет «плавать» качество печати. Трафаретные принтеры, установленные в помещениях с высокой влажностью воздуха или работающие в условиях, не поддающихся управлению, обычно дооснащаются внешним устройством управления окружающей средой. В капле струйных же принтерах необходимо поддерживать стабильные параметры, чтобы насадка эжектора могла работать стабильно. Принтер MY500 оснащен встроенной системой управления температурой, поэтому в нем для пасты всегда созданы оптимальные условия.

Если в трафаретном принтере «плавают» давление, то паста может вести себя не так, как должна, в результате качество печати будет неоднородным. В некоторых хороших трафаретных принтерах всегда осуществляется контроль давления, чтобы свести к минимуму возможные последствия. При использовании капле струйного принтера такой проблемы не возникает.

#### **Планирование и контроль производства**

Нежелательно, когда чего-то не хватает в тот самый момент, когда производство должно начаться. Представители многих компаний вынуждены признать, что такое случается, и до тех пор, пока система снабжения работает неидеально, таких проблем практически невозможно избежать. Капле струйный принтер можно легко перепрограммировать, чтобы «обойти» те задачи, для выполнения которых не хватает, например, нужных материалов, и таким образом избежать необходимости дорогостоящей переналадки производственной линии. Логичный совет в такой ситуации — следить за поставками и управлять ими так,

чтобы негативные последствия были минимальны. Но если отсутствия чего-то избежать никак не удастся и если дешевле начать производство, несмотря на нехватку некоторых компонентов, а затем доустановить их позже, то капле струйный принтер будет здесь просто незаменим.

Точно так же можно избежать последующего ремонта печатных плат, на которые уже нанесена паяльная паста, потому что капле струйный принтер можно запрограммировать таким образом, чтобы он проверял качество нанесения пасты. Если камера в принтере «увидит», что на очень важную контактную площадку нанесено неверное количество пасты, то принтер отошлет плату на доработку.

В трафаретных принтерах плата должна надежно поддерживаться снизу, иначе не избежать подтекания пасты под трафарет и других дефектов. В капле струйном же принтере поддерживать плату снизу совсем необязательно, так как в нем используется бесконтактный метод нанесения паяльной пасты. Поддержка снизу нужна только для гибких плат, но поддерживать их снизу нужно в любых принтерах.

#### **Технологии SiP, SoP, MCM и другие**

Зачастую при использовании этих технологий один кристалл устанавливается на другой. Один из распространенных способов сделать это — создать проволочные соединения между кристаллами, но все больше производителей переходят к использованию флип-чипов и корпусов размером с чип. При больших объемах партий поступают следующим образом: первый ряд кристаллов устанавливают в оснастку вверх контактной площадкой, наносят паяльную пасту на площадки, затем устанавливают второй ряд кристаллов и оплавливают все в оснастке. Конечно, так можно поставить кристаллы и в несколько рядов, но использовать при этом трафарет будет очень сложно и дорого. Здесь поможет капле струйный принтер.

#### **Выводы**

Капле струйный процесс печати отличается рядом преимуществ:

- он более эффективен с экономической точки зрения;
- освобождает конструкторов от имевшихся ранее ограничений;
- у него высокая точность;
- это чистый и полностью программируемый процесс;
- он может помочь при проблемах с поставкой компонентов;
- способен поддерживать стабильность планирования производства; предотвратить возникновение многих видов брака;
- облегчается нанесение слоев пасты различной высоты.

И все это с минимальными потерями пасты. Трафаретный принтер — правильный выбор для выполнения многих задач, но теперь появилась возможность применять технологию, которая отличается большими возможностями, чем предполагалось ранее.