

ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА

ШАГ ЗА ШАГОМ

Бурное развитие микроэлектроники ставит производителей электронных узлов перед необходимостью радикального изменения методов сборки. Увеличение числа выводов компонентов, уменьшение их размеров и расстояний между ними, изменение конфигурации выводов – все это делает более целесообразной установку многовыводных корпусов БИС и СБИС не в сквозные отверстия, а на контактные площадки, расположенные на поверхности печатных плат (ПП). Обобщение технологического опыта специалистов ООО “Электрон-Сервис-Технология” позволяет компетентно рассмотреть технологию поверхностного монтажа с обзором возникающих видов брака и методов их устранения. Оговоримся сразу, что описать в рамках одной статьи все возможные варианты технологического брака невозможно.

Уже более 15 лет назад стало очевидным, что миниатюризация РЭА вызывает необходимость применения поверхностного монтажа при сборке электронных модулей (ЭМ). Однако большая часть отечественных предприятий только сейчас переходит на этот вид монтажа. Поэтому основные этапы сборочного процесса представляют большой интерес.

ШАГ 1. НАНЕСЕНИЕ ПАЯЛЬНОЙ ПАСТЫ/КЛЕЕВ

Практика показывает, что больше половины ошибок всего процесса сборки ЭМ приходится именно на этап нанесения паяльной пасты. Поэтому очень важно квалифицированно подобрать режимы технологического процесса. Нанесение пасты или клея может быть реализовано диспенсорным или трафаретным методом.

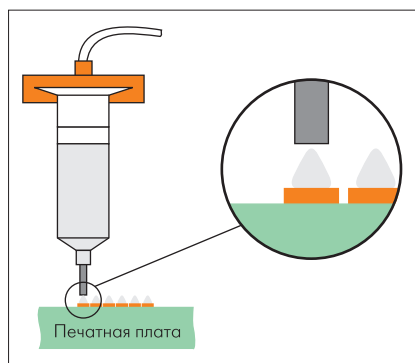


Рис. 1. Диспенсорное нанесение пасты

Дозирование паяльной пасты/клея.

Данный метод нанесения наиболее часто применяется в единичном и мелкосерийном производстве. К основным его преимуществам относятся простота переналадки оборудования и отсутствие необходимости изготавливать дорогостоящий трафарет.

А.Вотинцев Votincev@elserv.ru,
С.Борисенков svb@elserv.ru

Однако по сравнению с трафаретным этот метод не стоит считать более экономичным: стоимость пасты для трафаретного нанесения около 100 долл./кг, а пасты для дозатора около 500 долл./кг.

В основе диспенсорного метода лежит применение пневматического или механического дозатора (рис. 1). Под действием сжатого воздуха или шнека паста выдавливается через иглу на поверхность контактных площадок ПП. Метод пригоден как для ручного нанесения, так и для автоматического. Производительность ручной работы для опытных операторов достигает 120 точек/мин, автоматического нанесения – 800 точек/мин.

При ручном нанесении пасты возможны два наиболее опасных вида брака: неточное дозирование, которое приводит к замыканиям после оплавления припоя, и разное количество пасты на контактных площадках одного компонента, что приводит к эффекту опрокидывания. При автоматическом нанесении брак может возникнуть только по вине оператора (за исключением отказа оборудования по техническим причинам), поскольку точность современных установок достаточна (а зачастую и избыточна) для данного процесса. Немаловажным фактором также является качество паяльной пасты.

Трафаретная печать. Этот метод предполагает нанесение пасты через апертюры в сетчатом (рис. 2) или цельнометаллическом трафарете на контактные площадки ПП.

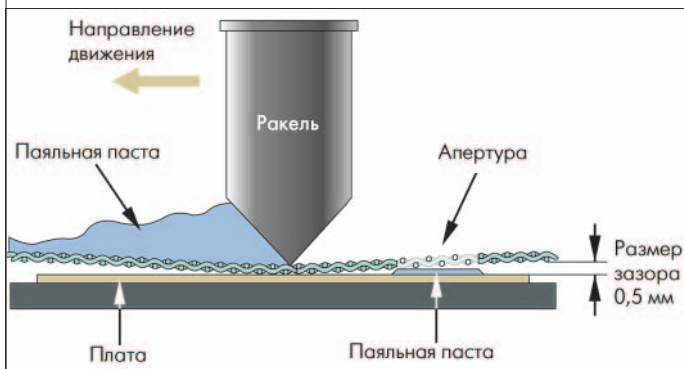


Рис. 2. Трафаретное нанесение пасты

Техника трафаретной печати проста: при движении ракеля по поверхности трафарета паяльная паста продавливается сквозь его апертюры на контактные площадки. Наиболее важная фаза этого процесса – продвижение пасты вдоль поверхности трафарета при определенной силе прижатия ракеля и со строго выверенной скорости его перемещения. Трафарет и ракели должны быть чистыми, а параметры силы и скорости перемещения ракеля – соответствовать характеристикам пасты. Ошибки в этих параметрах приводят к таким видам брака, как закоротки или непропаи. Преимущество трафаретного метода в том, что паста может быть нанесена

слоем до 300 мкм (в предельных случаях до 650 мкм) с очень высокой точностью. Обычно отверстия трафарета открывают лишь 50–90% площади контактных площадок, что исключает нанесение излишнего количества паяльной пасты. В результате данный метод в отличие от диспенсорного позволяет осуществлять высокоточный монтаж компонентов со сверхмалым шагом выводов.

При нанесении паяльной пасты трафаретным методом используются специальные установки, которые на рынке паяльного оборудования делятся на два типа: лабораторные ручные рамы и полуавтоматические или автоматические принтеры. В ручных или полуавтоматических установках паяльная паста вручную размещается на трафарете и затем прожимается сквозь него на контактные площадки ПП с помощью ракеля. Автоматические установки могут работать без вмешательства оператора, причем современные установки (например, фирмы Samsung) имеют встроенные 2D-системы контроля качества, что позволяет проводить контроль сразу после нанесения паяльной пасты, не повышая тактовое время линии. Таким образом, отпадает необходимость дополнительного промежуточного контроля.

Расположение плат. Располагать ПП на рабочем поле установки трафаретной печати целесообразно по диагонали – только в этом случае обеспечивается равномерное нанесение пасты на контактные площадки четырехсторонней ориентации (например, для компонентов типа QFP). К тому же, поскольку крепление платы происходит только по периферии, в случаях, когда используются большие мультиплицированные заготовки, обеспечить достаточную жесткость системы "плата–трафарет" можно только за счет дополнительных опор. Встраиваемые в автоматические линии установки Samsung позволяют в автоматическом режиме, в зависимости от размеров платы и расположения компонентов, установить дополнительные опоры в рабочей области из внешнего магазина.

Типы ракелей. Общий вид составного ракеля приведен на рис.3. Износостойкость и твердость ракеля сильно влияют на качество нанесения припойной пасты. Для обеспечения необходимого качества кромка ракеля должна быть острой и прямой, и в условиях массового производства состояние этой кромки должно тщательно контролироваться.

Слабое прижатие ракеля к трафарету может привести к пропуску либо к неровному заполнению апертур трафарета паяльной пастой. Чрезмерное прижатие приводит к вычерпыванию пасты из больших апертур трафарета. Кроме того, из-за плохой очистки трафарета и/или зазора между ПП и трафаретом может произойти вдавливание пасты между нижней поверхностью трафарета и ПП.

Зарубежные компании, работающие в данной отрасли (Samsung, Assembled, Siemens и т.д.), используют два основных типа ракелей: полиуретановые и металлические. По мере уменьшения шага выводов компонентов все большую популярность приобретают металлические ракели, которые изготавливаются из нержавеющей стали или латуни и располагаются под углом от 30 до 45° в установках трафаретной печати. Благодаря тому, что форма рабочей кромки в процессе нанесения пасты остается неизменной (что объясняется высокой жесткостью материала), металлические ракели не вызывают вычерпывания пасты из окон трафарета. Однако стоимость металлических ракелей гораздо выше полиуретановых, а кроме того, они вызывают значительный износ трафарета.

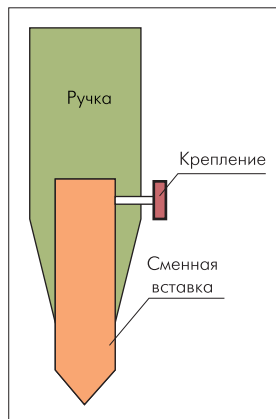


Рис.3. Ракель

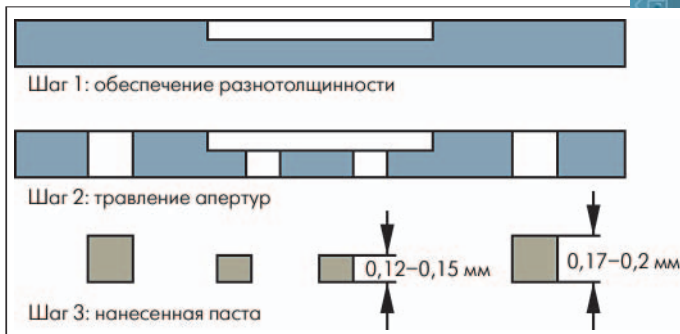


Рис.4. Изготовление многоуровневого трафарета

Типы трафаретов. Поскольку для различных компонентов требуется различное количество паяльной пасты на контактных площадках платы, существует проблема подбора правильной толщины трафарета. Для нанесения различного объема пасты на контактные площадки одной и той же платы поступают по-разному: крупные фирмы-производители используют трафареты сложной конфигурации (многоуровневые разнотолщинные трафареты, рис. 4), остальные же производители применяют трафареты двойной толщины (система трафарет-на-трафарете). При работе с трафаретами двойной толщины паста наносится только каучуковыми (полиуретановыми) ракелями, кромка которых повторяет рельеф трафарета при нанесении.

Сегодня наибольшее распространение получили сеточные и цельнометаллические трафареты. Сеточные представляют собой натянутые на рамки мелкоячеистые сетки (размер ячейки должен превышать размер частиц припоя), изготавливаемые методами фотолитографии. Металлические трафареты используются для больших заготовок плат при массовом выпуске. Важные параметры металлического трафарета – точность изготовления апертур и гладкость его поверхностей. Для создания такого трафарета применяют три способа: химическое травление, лазерное фрезерование, аддитивный метод.

При **химическом травлении (фрезеровании)** на металлическую пластину с обеих сторон наносят фоторезист, который экспонируют и проявляют. Затем сквозь образовавшиеся окна травят металл. Техника двухстороннего травления обеспечивает существенно меньшую погрешность формы кромки окна, чем односторонняя. Однако после травления кромка отверстия получается не гладкой, и для достижения требуемого ее качества используются электрополировка или гальваническое осаждение никеля. Полировка всей поверхности трафарета может привести к тому, что шарики припоя будут "отскакивать" от поверхности трафарета и образовывать прослойку между поверхностью трафарета и кромкой ракеля. Поэтому всегда стремятся полировать только кромки апертур. Нанесение же никеля повышает качество наносимой пасты, однако слой никеля может существенно изменить размер апертур трафарета, что следует учитывать при его проектировании.

Лазерное фрезерование трафаретов лишено такого серьезного недостатка, как подтравливание материала. А поскольку изготовление трафарета не требует создания фотошаблонов и исключает последующие этапы литографии, точность размеров апертур гораздо выше, чем у предыдущего метода. Другое преимущество лазерной резки – стенки апертур можно сформировать в конической форме. Для существенного облегчения нанесения припойной пасты достаточно клин боковых стенок апертур в 2°. Лазерная резка позволяет получать апертуры шириной 0,1 мм с точностью до 5 мкм, что делает этот способ перспективным для монтажа компонентов с малым шагом выводов. Признанными лидерами в области оборудова-

ния для лазерной резки являются компании LPKF (Германия) и Маре (Дания).

Для лазерного изготовления трафаретов также характерна неровность кромок апертур трафарета, что вызвано испарением металла и его окаливанием в процессе резки. В результате возможно закупоривание отверстий трафарета паяльной пастой. Сглаживание кромок можно осуществить микротравлением. Еще один недостаток такого метода – невозможно получить многоуровневые трафареты без предварительного химического травления областей, которые должны быть тоньше основного материала трафарета. Поскольку каждая апертура вырезается отдельно, стоимость изготовления трафарета таким способом зависит от сложности топологии ПП и обычно значительно выше, чем травление.

Аддитивный способ изготовления (метод гальваноластики) заключается в гальваническом осаждении никеля на гибкую подложку – медную фольгу толщиной 6 мм. На фольгу накатывается фоторезист, который экспонируется и проявляется таким образом, чтобы полученный рельеф повторял рисунок будущего трафарета. Затем на подложку химико-гальваническим способом осаждается никель. После достижения требуемой толщины трафарета процесс осаждения заканчивается и производится смывка фоторезиста. Ключевой этап получения готового трафарета – отделение никелевого слоя от медной подложки, которое осуществляется изгибом меди.

Процесс гальванического осаждения, как и лазерный метод, исключает подтравливание стенок апертур, что, в свою очередь, исключает забивку пасты под его поверхность. В результате снижается вероятность замыканий на ПП. Однако такая абсолютно вертикальная кромка апертур вызывает проблемы при отделении трафарета от платы.

Характеристики методов изготовления трафаретов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Оценка характеристик методов изготовления трафаретов

Характеристика	Химическое травление	Лазерная резка	Гальвано-ластика
Точность размеров	Плохо	Хорошо	Отлично
Гладкость стенок апертур	Хорошо	Плохо	Отлично
Контроль формы стенок апертур	Плохо	Хорошо	Отлично
Производительность	Отлично	Хорошо	Хорошо
Прочность трафарета	Отлично	Отлично	Хорошо
Применимость для компонентов с малым шагом выводов	Плохо	Хорошо	Отлично
Стоимость	Низкая	Средняя	Высокая

При выборе технологии изготовления трафарета следует руководствоваться следующими принципами. Основной аспект оценки технологии – соотношение ширины минимального окна и толщины трафарета в этом месте (рекомендуется значение 1–1,5). Этот параметр необходимо выдерживать для предотвращения закупорки трафарета.

Таблица 2. Брака нанесения пасты

Вид брака	Причина возникновения	Устранение
Смазывание	Чаще всего – либо на стадии отрыва трафарета от ПП, либо на стадии установки компонентов	При единичном браке – очистка контактных площадок и ручное диспенсорное нанесение пасты. При большой площади смазывания – полная очистка платы и повторное нанесение пасты
Закоротки	Неравномерное прилегание трафарета к ПП, ошибки при определении силы прижатия и скорости перемещения ракеля, неравномерная толщина защитного покрытия платы	При механическом повреждении трафарета – его замена. При загрязнении трафарета – тщательная промывка. В остальных случаях необходим более точный подбор режимов нанесения или замена плат
“Заливка” контактных площадок	Чрезмерно большой зазор между ПП и трафаретом в локальных областях платы	Регулировка зазора при трафаретной печати
“Вычерпывание” паяльной пасты	Чрезмерное прижатие ракеля с полимерной рабочей кромкой к трафарету. При печати происходит продавливание кромки ракеля в апертуры трафарета и вычерпывание пасты	До отделения трафарета – локальное нанесение пасты в апертуры трафарета. После отделения – ручное диспенсорное нанесение пасты

По технологии изготовления трафаретов можно обозначить следующие области их применения: трафареты, полученные химическим травлением, приемлемы для узлов широкого потребления и продукции неответственного назначения; полученные методом гальваноластики – также для узлов широкого потребления, но особо точных и с высокой плотностью монтажа; лазерным вырезанием – для всех типов ЭМ.

Брак нанесения пасты. Основные виды брака при ручной трафаретной печати (вызванные ошибками оператора):

- неравномерное нанесение пасты из-за неравномерной силы прижатия ракеля к трафарету;
- смазывание пасты при отрыве трафарета от ПП;
- неполное заполнение апертур трафарета из-за загрязнения кромки ракеля пастой или использования просроченной пасты.

При автоматической трафаретной печати брак чаще всего возникает из-за погрешностей настройки оборудования:

- неверного подбора зазора между ракелем и трафаретом;
- неправильно подобранной скорости движения ракеля и т.д.

Основные виды брака при нанесении пасты приведены в табл. 2.

Также при трафаретном нанесении паяльной пасты можно выделить шесть основных видов дефектов:

- **дефект совмещения трафарета и ПП.** Ошибка совмещения апертур трафарета и контактных площадок платы не должна превышать 15% от минимального размера апертуры трафарета для контактной площадки минимального элемента платы;
- **просадка пасты.** Возможна из-за неправильно подобранной вязкости паяльной пасты. Рекомендуемая просадка пасты не должна превышать 15% минимального размера контактной площадки;
- **неравномерность толщины нанесенной пасты.** Колебания толщины пасты не должны превышать $\pm 20\%$ от требуемой. Слишком тонкий слой может быть недостаточным для пайки компонента, а слишком толстый привести к замыканиям контактных площадок платы;
- **вычерпывание пасты из апертур трафарета.** Такой дефект может вызываться чрезмерной силой прижатия ракеля к поверхности трафарета или слишком мягкой кромкой ракеля. В результате уменьшается количество пасты на контактных площадках. Из-за вычерпывания уменьшение пасты не должно превышать 20% от расчетной ее высоты;
- **излишки пасты.** Такой дефект может вызываться недостаточной силой прижатия ракеля к поверхности трафарета или погрешностью геометрической формы кромки ракеля. Высота нанесенной припойной пасты с учетом этого дефекта не должна превышать расчетную более чем на 20%;
- **наклон нанесенной пасты по отношению к ПП.** Регламентируется следующим образом: разница максимальной и минимальной высоты пасты не должна превышать 20% необходимой высоты.



Проведенный анализ способов нанесения пасты и изготовления трафаретов показал целесообразность следующего применения этих методов: диспенсорный метод – на участках опытной и мелко-серийной сборки узлов (из-за низкой производительности); трафаретная печать – на участках крупносерийного и массового производства: помимо огромной производительности (десятки плат/ч по сравнению с диспенсорной – единицы плат/ч) этот метод обладает высочайшей точностью нанесения (под платой подразумевается ев-розакладка размерами 240x160 мм).

ШАГ 2. УСТАНОВКА КОМПОНЕНТОВ

Установка поверхностно монтируемых компонентов гораздо проще установки традиционного монтажа в отверстия, а благодаря структуре корпусов компонентов и особенно их выводов стала возможной автоматизация процесса установки. В зависимости от производительности можно выделить два основных типа установщиков: ручные, автоматы и полуавтоматы.

Ручные установщики. Ручная установка поверхностно монтируемых компонентов производится вакуумными пинцетами. Сегодня рынок оборудования предлагает огромный выбор инструментов и насадок для ручной установки компонентов. Однако небольшие размеры корпусов и малый шаг выводов сильно затрудняют установку компонентов типа QFP и BGA. Поэтому вакуумным пинцетом чаще всего устанавливаются пассивные компоненты и ИС с шагом выводов не менее 0,65 мм. Производительность ручной установки составляет порядка 300 комп./ч.

Автоматы и полуавтоматы. *Револьверные системы.* Это наиболее быстродействующие типы установщиков. При этом высокая скорость установки компонентов берет верх над точностью установки и гибкостью переналадки. В таких машинах плата обычно неподвижна, а питатели и револьверная головка перемещаются. Производительность достигает 60000 комп./ч. Данный тип оборудования ориентирован на компоненты, поставляемые в ленте, и используется для крупносерийных производств с малой номенклатурой.

Портальные системы. Для таких установщиков характерно неподвижное расположение плат и питателей и перемещающаяся установочная головка. Производительность достигает 40000 комп./ч, но при этом точность установки компонентов до 20 мкм. В отличие от револьверных систем эти установщики работают с широким диапазоном типоразмеров компонентов. Использование таких систем целесообразно для участков с модульным принципом построения, используемых при создании широкономенклатурных производств, что актуально для России.

Двухпортальные системы. Традиционно в автоматах используется концепция двоякого блока установки: пока одна головка выполняет позиционирование и установку компонента на ПП, вторая осуществляет захват и центрирование компонента из питателя. ПО системы управления оптимизирует этот процесс. Некоторые автоматы содержат до 18 установочных головок. Их производительность достигает 100000 комп./ч, однако такие системы не всегда гибки в переналадке.

Видеосистемы автоматов. В револьверных системах обычно производится контроль и центрирование компонента при каждом повороте головки. Для портальных систем характерно использование видеокамер высокого разрешения при каждой установочной головке, для чего применяются лазерные системы позиционирования или камеры нижнего просмотра. Типичные системы имеют станции центрирования: установочная головка подводит компонент к системе видеонаблюдения и после центрирования перемещает в зону

установки. "Центрирование на лету", например в автоматах фирмы Samsung, существенно повышает производительность и точность установки.

Питатели. Питатели могут быть ленточными, пенальными, матричными или кассетными. Наиболее часто используются ленточные питатели.

Большинство установщиков используют все возможные типы питателей. Современные сборочно-монтажные автоматы могут быть оснащены интеллектуальными питателями с системой автораспознавания и возможностью подготовки данных для сборки следующего изделия в режиме off-line. Таким образом, время переналадки автомата с полной сменой питателей всего несколько минут. Благодаря сетевому подключению оператор получает информацию о компонентах, используемых в настоящий момент, штрих-кодах, номере партии; количественных данных, необходимых для планирования производственного процесса.

Компоненты с несимметричным расположением выводов. Ранее разъемы, силовые переключатели, колодки и т. д. устанавливались только вручную. Современные автоматы поверхностного монтажа могут устанавливать широкую номенклатуру компонентов с несимметричным расположением выводов, в том числе ряд компонентов, монтируемых в отверстия.

Точность установки. Системам с большим числом установочных головок обычно присущи большие вибрации. Для предотвращения возможного смещения компонента вследствие вибрации большинство автоматов имеют повышенную массу основания и подвижных элементов системы перемещения. Компания Samsung разработала современные облегченные конструкции автоматов портального типа, работающие на больших скоростях захвата/установки компонентов. Конструкция машин такова, что инерционность подвижных элементов снижается, а соответственно исключаются вибрационные удары.

Программное обеспечение. Наиважнейшее требование к ПО управления установщика – простота настройки автоматов и возможность создания рабочих программ в режиме off-line. Отличительная особенность ПО автоматов компании Samsung – возможность программирования установки и оптимизации программы на следующую партию изделий во время обработки текущей. Это позволяет свести к минимуму время переналадки элементов линии и простоя оборудования.

Автопроверка управляющих программ. Около 80% ошибок на этапе установки компонентов возникают при вводе новых данных в режиме on-line. Однако современные установщики могут интегрироваться в сеть, и в случае сбоя проблемные файлы пересылаются в службу технической поддержки. Это исключает необходимость вызова сервисного инженера компании-производителя. Автоматы Samsung имеют встроенную систему самодиагностирования, что позволяет быстро выявить и устранить неисправность.

Последующая модернизация оборудования. При оснащении производства новым оборудованием важно знать, какое оборудование может понадобиться в будущем. Поскольку обычно такой информации нет в момент подбора оборудования, необходимо решение, которое позволило бы в дальнейшем без значительных затрат перестроить весь технологический процесс (и чтобы часть уже купленного оборудования не стала бы при этом бесполезной). Такое решение предлагает компания ООО "Электрон-Сервис-Технология": модульные машины с дополнительными аксессуарами, встраиваемые в автоматические линии, и универсальное ПО с технологией plug-and-play. При дооснащении линии дополнительными установщиками важно, чтобы уже купленные питатели подходили

Таблица 3. Виды брака установки компонентов

Вид брака	Причина возникновения	Устранение
Разрушение компонента	Неточная регулировка высоты захвата и установки компонентов автоматическими системами. При двустороннем монтаже неаккуратное размещение платы на этапе трафаретной печати или установки компонентов. Дефект может быть невидим до конца оплавления пасты	Регулировка систем установки компонентов и аккуратное размещение плат двустороннего монтажа в рабочих областях оборудования
Неправильное расположение	Ошибка программирования автоустановщиков компонентов либо движение компонента на насадке во время перемещения установочной головки	Исправление программы установщика. Проверка давления
"Заливка" контактных площадок	Чрезмерно большой зазор между ПП и трафаретом в локальных областях платы	Регулировка зазора при трафаретной печати
Изгиб выводов компонентов	Неверная настройка высоты захвата/установки компонентов в автоустановщиках	Регулировка оборудования

к новому автомату и ПО линии было совместимо с системой управления нового модуля. Другими словами, приобретение новых машин должно сохранить первоначальные инвестиции. Можно начать оснащение производства с одного автоматического установщика и затем приобретать новые, устанавливая их параллельно/последовательно и повышая производительность. Гибкость ПО Samsung позволяет, раздвинув линию и установив новый модуль, сразу начать работу без какой-либо механической переналадки оборудования.

Экономическое обоснование. Одним из наиболее важных факторов при выборе оборудования является цена. Однако к предлагаемому оборудованию нужно относиться внимательно. Необходимо остерегаться "больших покупок" оборудования, требующих обучения, запасных частей, периодического обновления ПО и т.д. Начальная цена может быть низкой, но в процессе эксплуатации выяснится, что большинство необходимых для работы элементов системы должно приобретаться опционально. Затраты на опции могут превышать стоимость самой системы!

Как только выбор сделан, необходимо проверить оборудование на реальном изделии. "Золотая плата" или "стеклянная плата" для проверки совмещения не могут быть приняты как единственное и достаточное доказательство возможностей оборудования. Наконец, поставщик должен обеспечивать длительную и адекватную поддержку выбранного оборудования. С учетом постоянно меняющейся экономической ситуации фирма-поставщик должна быть способна выполнять поддержку как старых, так и новых моделей оборудования.

Полуавтоматические системы. Принципиально отличаются от автоматов отсутствием привода установочной головки – перемещение осуществляет оператор. Автоматизация процесса заключается только в запоминании управляющим устройством координат установки каждого компонента и в блокировке перемещения манипулятора в заданных точках. Такой принцип установки удобен в мелкосерийном производстве и лабораторных условиях. Производительность установки компонентов в этом случае достигает 700 комп./ч.

Выбор установщика. Современные электронные модули содержат наряду с большими корпусами микросборок такие миниатюрные компоненты, как CSP, QFP, µBGA и т.д. Кроме того, необходимо устанавливать и такие чипы, как 0201, что невозможно без смены инструмента. Обычно в сборочных линиях используют последовательную комбинацию автоматических установщиков: один устанавливает чипы, другой – компоненты с малым шагом выводов. Число тех или иных автоматов в технологической цепочке зависит от требуемой производительности и номенклатуры компонентов. Сборочно-монтажные линии фирмы Samsung способны обеспечить производительность до 100000 комп./ч.

Нужно отметить, что в условиях развития отечественной промышленности целесообразно оснащать участки сборки встраиваемы-

ми в автоматические линии универсальными установщиками фирмы Samsung (при этом можно даже не дробить процесс установки на разные автоматы). Предлагаемые компанией ООО "Электрон-Сервис-Технология" автоматы настолько универсальны, что даже с учетом времени на автоматическую смену инструмента их производительность вполне достаточна для серий отечественных производств. Имея невысокую закупочную стоимость (в своем классе), эти машины обеспечивают минимальную себестоимость установки компонентов на плату и работают с типоразмерами компонентов от 0201 (которые просто невозможно установить вручную) до BGA 55x55 мм. Помимо этого автоматы (например, CP55) позволяют устанавливать некоторые типы компонентов, монтируемых в отверстия.

Использование полуавтоматических установщиков целесообразно в лабораториях и исследовательских участках, т.е. там, где требуется выполнение малых объемов сборочных работ. Типичное мнение о достаточности полуавтоматов для изготовления прототипов не всегда оправдано, так как в настоящее время существует ряд типоразмеров компонентов, не поддающихся ни ручной, ни полуавтоматической установке. При этом такие компоненты становятся неотъемлемой частью современных электронных модулей.

Брак установки компонентов. Основные виды брака приведены в табл.3.

ШАГ 3. ОПЛАВЛЕНИЕ ПАЯЛЬНОЙ ПАСТЫ

Методы нагрева. Существуют два основных метода нагрева: ИК-излучением и конвекционный. Системы ИК-пайки применяются в мелкосерийном производстве, использующем простые платы и простые компоненты (не рекомендуется паять BGA). Данный метод легко реализуется, однако основной недостаток пайки ИК-нагревом в том, что количество энергии излучения, поглощаемой компонентами и платами, зависит от поглощающей способности материалов, из которых они изготовлены. В результате в пределах монтируемого устройства нагрев осуществляется неравномерно. Кроме того, не стоит забывать про теневые эффекты (невозможность пропайки выводов под корпусами микросхем и плат с высокой плотностью монтажа).

Большинство современных систем пайки используют конвекционный нагрев ЭМ. Данный метод легко поддается программированию и контролю, что обеспечивает равномерность прогрева изделия и высокое качество всех типов компонентов. В связи с переходом производства на бессвинцовые технологии актуально использование в качестве рабочей среды инертных газов, в частности азота. Это позволяет исключить окисление узлов пайки при более высоких температурах.

Требования, предъявляемые к печам пайки оплавления. Основное требование (помимо производительности) – точная выдержка температурного профиля изделия (рис.5). На стадии 1 проводится предварительный прогрев платы и компонентов, пре-

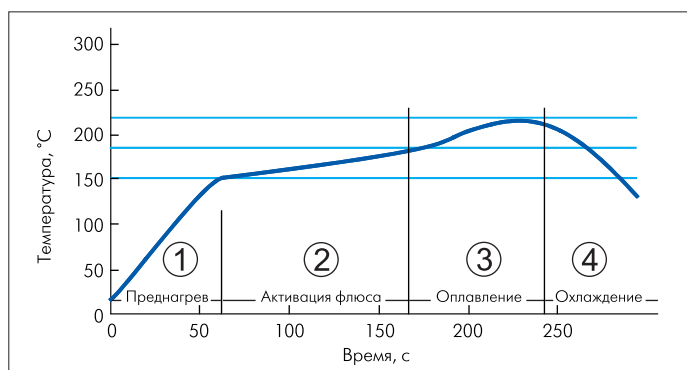


Рис.5. Температурный профиль

дотвращающий коробление изделия и растрескивание компонентов. Практика показывает, что слишком высокая скорость нагрева изделия до температуры активации флюса может также привести к разбрызгиванию припоя (припойный бисер). Рекомендуемая максимальная скорость нагрева не должна превышать 2–4°C/с.

Главный фактор на стадии 2 – выдержка платы при температуре активации флюса в течение времени, необходимого для активации и полного испарения флюсовой составляющей паяльной пасты. Кроме того, зона теплового насыщения (2) позволяет избежать смещения компонентов относительно контактных площадок платы вследствие разности КТР корпусов и текстолита.

Время нагрева изделия на первых двух этапах пайки точно рассчитать обычными методами теплотехники практически невозможно из-за большого числа вариантов сборок ЭМ. Однако обобщение экспериментальных данных позволяет говорить о том, что время всего цикла предварительного нагрева колеблется от одной до двух минут независимо от скорости нагрева.

По завершении цикла преднагрева начинается цикл пайки изделия (3 на рис.5). При пайке скорость роста температуры до значения расплавления припоя должна быть по возможности высокой,

чтобы избежать перегрева компонентов. На практике рост температуры с 120 до 200–220°C происходит в течение 10–15 с, после чего температура пайки выдерживается в течение времени, необходимого на самоустановку компонентов (10–15 с). После выполнения цикла пайки нагреватели печи выключаются (в камерных печах) либо плата перемещается на конвейере в зону охлаждения (в конвейерных печах).

Далее следует этап охлаждения платы (4), который в зависимости от типа печи и требований по производительности имеет два варианта: естественное охлаждение в печи до отверждения припоя и затем на воздухе или в блоке принудительного охлаждения. В условиях мелкосерийного и единичного производства время охлаждения не учитывается, поскольку оно слишком мало по сравнению со всем циклом пайки и почти не влияет на производительность печи. Обычно время естественного охлаждения припоя до температуры отверждения менее 20 с. Сравнительно быстрое падение температуры в печах подобного класса обусловлено их конструктивными особенностями: стационарная камера нагрева имеет большие тепловые потери благодаря окну загрузки, которое, как правило, остается открытым в течение всего цикла пайки. Кроме того, некоторые типы камерных печей, применяющихся в мелкосерийном производстве, оснащаются механизмом перемещения плат в камеру пайки и на открытое пространство для охлаждения.

Брак оплавления. Виды брака представлены в табл.4.

Ремонт после неудачной пайки. Припойные шарики диаметром, большим чем минимальное расстояние между выводами компонента, аккуратно удаляются при помощи вакуумного термоотсоса. Маленькие припойные шарики, покрытые флюсом, можно оставить на поверхности платы или компонента при минимальном риске нарушения работоспособности изделия. Как показывает практика, небольшие шарики припоя, расположенные на диэлектрической поверхности платы, смываются вместе с остатками флюса при отмывке в УЗ-ваннах.

Таблица 4. Виды брака оплавления припоя

Вид брака	Причина возникновения	Устранение
Непропай	Недостаточная температура оплавления паяльной пасты	Локальный брак устраняется вручную с помощью термофенов. В случае непропая всей платы допускается повторное оплавление пасты в печи
Трещины и расслоения корпуса	Неверно сформирован термопрофиль работы печи: происходит резкий скачок температуры при переходе из одной зоны в другую	Корректировка термопрофиля
Излом корпуса	Подобные повреждения имеют механическую природу и происходят на этапе установки компонентов на ПП с помощью автоматических систем размещения	Корректировка высоты захвата и установки компонентов
Опрокидывание компонентов	Размерные погрешности контактных площадок платы: площадки одного компонента сильно отличаются друг от друга. Различная степень смачивания припоем одноименных контактных площадок платы и контактов элемента. Повышенная шероховатость контактной площадки. Недостаточная металлизация контактных площадок корпуса компонента, излишки припоя на них. Большие растягивающие напряжения между контактными площадками и паяльной пастой (чаще всего при пайке в парогазовой фазе). Неправильное размещение компонентов	Корректировка термопрофиля. Использование специальных паяльных паст
Плохая смачиваемость выводов компонента	Сильное окисление выводов. Брак может быть не выявлен электрическим тестом, однако подобные контакты не надежны в эксплуатации	Необходимо хранение компонентов в шкафах с пониженной влажностью (например, шкафы японской фирмы SEIKA)
"Открытые" выводы	Типичный вид брака для транзисторов SOT89 – отрыв контактов от места пайки. Под массивный задний вывод всегда делают большую контактную площадку, однако при нанесении паяльной пасты необходимо выдержать требуемую минимальную высоту. Переизбыток пасты приводит к чрезмерному подъему компонента и нарушению контакта выводов с паяльной пастой	Необходима выпайка компонента, очистка контактных площадок и локальная пайка
Припойный бисер	Разбрызгивание шариков паяльной пасты по поверхности ПП и на нижней части компонентов во время пайки из-за неаккуратного нанесения пасты или повышенного газовыделения пасты на этапе предварительного нагрева. Чаще всего наблюдается под чип-резисторами и -конденсаторами, а также под компонентами типа SOT	Скорость предварительного нагрева не должна превышать 2–4 °C/с
Утолщение контактов	Плохая смачиваемость контактных площадок ПП	Платы необходимо хранить в соответствии с существующими стандартами
Растекание припоя	Ошибки проектирования платы. Переходное отверстие расположено слишком близко к контактной площадке. Минимальное расстояние должно быть равным 0,2 мм при толщине проводника 0,15–0,2 мм. В противном случае паста будет "стекать" с контактных площадок в отверстия	Исправление топологии печатной платы

Приемлемое количество и размеры припойного бисера рассматриваются в стандарте IPC-A-610.

ШАГ 4. КОНТРОЛЬ

В зависимости от развития технологии диапазон дефектов постоянно меняется, что вызывает необходимость в новых методах контроля.

Внутрисхемный контроль. Это единственный метод, позволяющий оценить качество изделия (в отличие от остальных методов, которые направлены на определение качества пайки). Он позволяет определить место дефекта, проверить работоспособность сложных ИС. Установки внутрисхемного контроля выполняются как в варианте ручных тестеров (с набором тестовых щупов и клипс, а также с возможностью подключения зондового стенда), так и в виде автоматических тестеров с перемещающимися щупами либо с настраиваемой матрицей щупов.

Автоматический оптический контроль. Позволяет оценить качество пайки, точность расположения компонентов, а также, благодаря анализу маркировки корпусов компонентов, — правильность расположения того или иного компонента (проверка полярности). Поскольку распознавание графического изображения происходит в автоматическом режиме и качество тестирования не зависит от опыта оператора, вероятность ошибки в результатах теста минимальна.

Автоматический рентгеновский контроль. Это наиболее эффективный метод оценки качества пайки компонентов с матричным расположением выводов. В определенных случаях, когда электрический контроль узла просто не применим, этот метод может оказаться единственно возможным. Оба автоматических метода не обеспечивают 100%-ной оценки качества пайки без применения функционального тестирования.

Поставляемые ООО "Электрон-Сервис-Технология" автоматические линии фирмы Samsung имеют встроенные системы контроля качества, обеспечивающие высокое качество собираемых модулей. Пример компоновки автоматической линии приведен на рис.6.

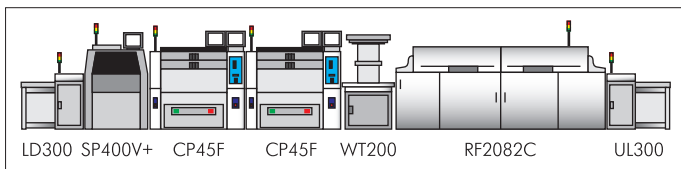


Рис.6. Универсальная автоматическая линия сборки плат. Производительность 14000–18000 комп./ч; общая длина 12,27 м; общая масса 5180 кг; потребляемая мощность 43 кВт

ШАГ 5. ОТМЫВКА

Для обеспечения высокого качества готового изделия процесс отмывки необходимо разделять на пять этапов:

- **определение целей отмывки.** Во многом это зависит от качества сборки на предыдущих этапах: либо нужно удалять остатки флюса и, частично, припойный бисер, либо осуществлять косметическую отмывку изделия;
- **четкое определение технологической отмывочной жидкости:** это может быть обычная дистиллированная вода либо специальное технологическое моющее средство;
- **выбор отмывочной системы.** На данном этапе нужно определить объем отмываемых партий и метод отмывки: статические ванны (для опытного производства) либо полуавтоматические и автоматические линии УЗ- или струйной отмывки;
- **тестирование выбранного метода отмывки с помощью специальных тестовых купонов.** Цель — проконтролировать поверхностное

сопротивление и добиться оптимального результата. Нередко на этом этапе выясняется ошибочность предварительного выбора;

- **интеграция системы контроля процесса:** необходимо добиться воспроизводимости результатов отмывки и достичь стабильности процесса при переходе на новые типы отмывочных жидкостей.

ШАГ 6. РЕМОНТ МОДУЛЕЙ

Замена сложных поверхностно монтируемых компонентов в большинстве случаев невозможна без специального оборудования. Во многом это определяется малым шагом выводов компонентов, а иногда и подкорпусной разводкой матричных компонентов (BGA, CSP и т.д.).

Ручной демонтаж компонентов с линейным расположением выводов в общем случае включает в себя следующие операции:

- если на контакты нанесено влагозащитное покрытие, которое следует удалять при оплавлении олова, необходимо очистить плату вокруг микросхемы отмывочной жидкостью;
- "запайка" выводов (рис.7) заключающаяся в огибании выводов компонента трубчатым припоем. Цель — недопущение возникновения зазора между выводами и губками термопинцета для равномерной теплопередачи;
- лужение губок термопинцета (рис.8). На разогретые губки (450°C) наносится максимальное количество олова по периметру будущего теплового контакта также с целью предотвращения появления зазора при захвате;
- захват компонента (рис.9). Позиционирование губок термопинцета над компонентом, захват его до упора губок без значительных механических напряжений, удержание в течение 3–5 с;
- подъем компонента (рис.10) над поверхностью ПП и отведение по траектории наименьшего пути до периферии платы без резких толчков и тряски, чтобы излишки расплавленного припоя в виде капель не попали на поверхность платы;
- удаление остатков припоя с контактных площадок вакуумным отсосом. Жало отсоса нагревается до температуры порядка 400°C (в зависимости от типа используемого припоя).

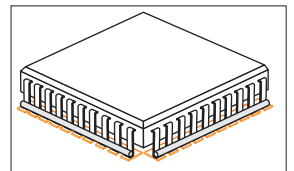


Рис.7. Нанесение пасты

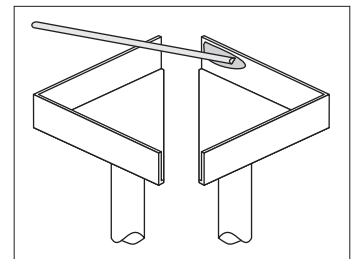


Рис.8. Лужение насадки

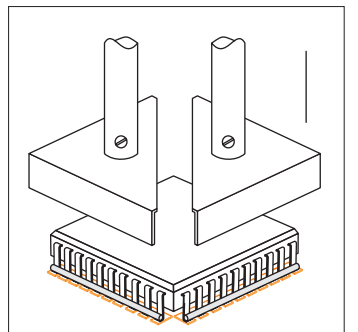


Рис.9. Захват компонента

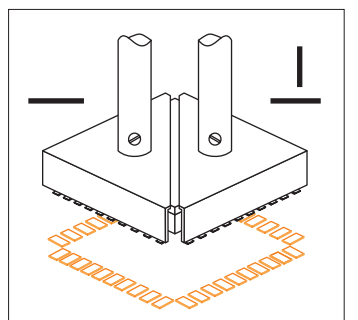


Рис.10. Подъем компонента

Ручной монтаж компонентов с линейным расположением выводов (QFP, SO и т.д.) проводится пайкой паяльником с жалом "мини-волна". Однако наи-

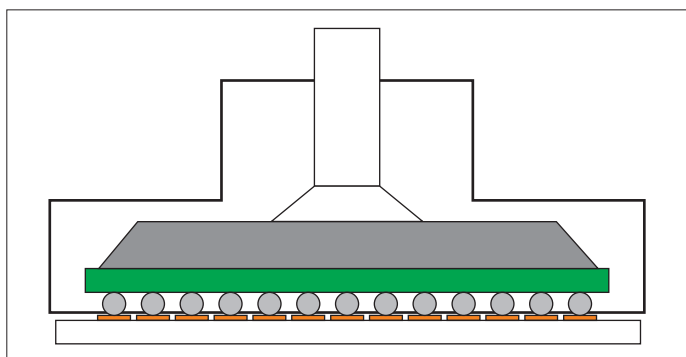


Рис. 11. Позиционирование

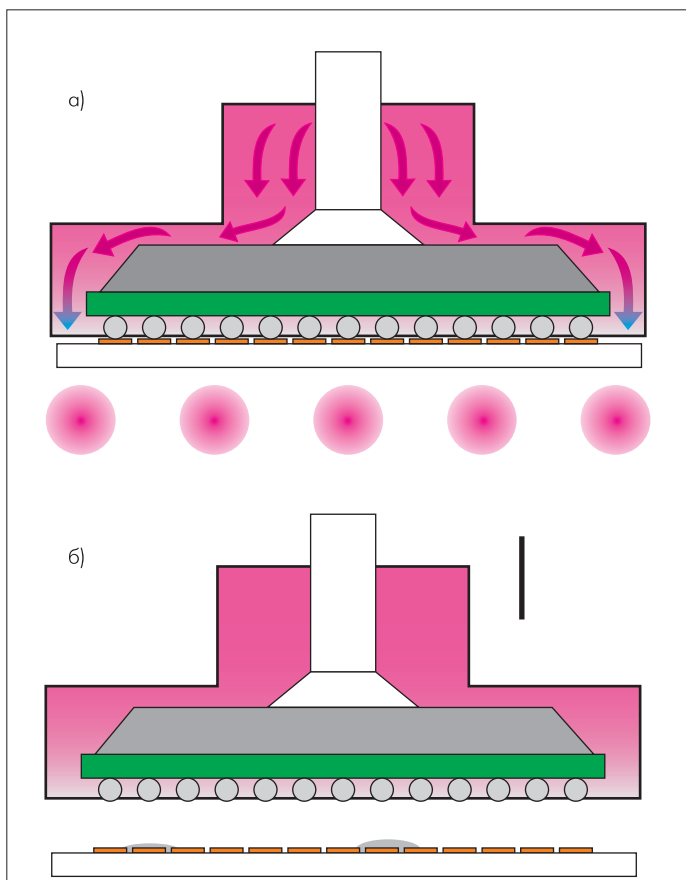


Рис. 12. Расплавление выводов и подъем компонента

большее распространение получила конвекционная пайка горячим воздухом благодаря универсальности для всех типов компонентов. Такой ручной монтаж состоит из следующих этапов:

- на предварительно очищенные контактные площадки диспенсером линейно наносится паяльная паста;
- с помощью вакуумного захвата позиционируется и устанавливается корпус компонента;
- предварительный прогрев паяльной пасты. При подготовке воздушного паяльника к работе необходимо провести регулировку воздушного потока: давление воздуха должно быть таким, чтобы при температуре наконечника паяльника около 400°C на расстоянии 0,5 см бумажная салфетка приобретала темно-коричневый оттенок и при этом не сдувалась со своего положения. Поднесенный на 2,5 см к выводам микросхемы паяльник медленно и равномерно перемещается вдоль всех выводов микросхем для прогрева паяльной пасты;
- по окончании этапа сушки паяльная паста приобретет ярко выраженный зернистый вид, паяльник придвигается к выводам на

расстояние около 0,5 см и происходит последующее ее оплавление.

Автоматизированная замена компонентов требуется либо в условиях серийного и массового ремонта, либо при ремонте компонентов с матричным расположением выводов. В общем случае последовательность при замене компонентов на ремонтных комплексах следующая:

- позиционирование над корпусом микросхемы насадки (в которую может встраиваться вакуумная присоска, рис. 11);
- расплавление паяных соединений (рис. 12а). При наличии вакуумной присоски немедленно производится подъем компонента (рис. 12б), при отсутствии – подается вакуумный захват;
- очистка контактных площадок от остатков припоя;
- нанесение жидкого флюса на поверхность контактных площадок, как правило, флюс-карандашом. Позиционирование нового/восстановленного компонента;
- оплавление выводов установленного компонента горячим воздухом через специальную насадку под контролем автоматической системы регулировки температуры.

Какими бы совершенными ни были материалы технологического процесса и оборудование, без грамотного контроля процесса добиться высокого качества продукции практически невозможно. После каждого этапа сборки необходима операция промежуточного контроля качества технологического процесса. Такой метод управления качеством позволяет исключить само возникновение брака благодаря поддержанию параметров сборки на заданном уровне и снизить себестоимость изделия за счет устранения брака на промежуточных операциях, а не после финишной пайки. ○