

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

А. В. Архипов, Б. Н. Березков

Технологии поверхностного монтажа

Электронное учебное пособие

САМАРА
2011

УДК 621.81

Авторы: **Архипов Алексей Владимирович,**
Березков Борис Николаевич

Архипов, А. В. Технологии поверхностного монтажа [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / .А. В. Архипов, Б. Н. Березков; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон. текстовые и граф. дан. (1,32 Мбайт). - Самара, 2011. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

Рассматриваются аспекты технологии сборки современных электронных средств различного назначения. Рекомендуется при изучении дисциплин «Технология РЭС» (9, 10 семестр) студентам специальности 210201.65, «Технология производства электронных средств» (7, 8 семестр) направления 211000.62., «Технология поверхностного монтажа» (семестр В), магистрантам направления 211000.68. кафедра КиПРЭС радиотехнического факультета.

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2011

Содержание

Введение	
1. Используемая элементная база	3
2. Виды монтажа РЭС	4
3. Основы выбора применяемого оборудования	8
4. Основные этапы технологического процесса монтажа	13
4.1 Нанесение припойной пасты или клея	13
4.2 Установка компонентов	24
4.3. Оплавление пасты и (или) полимеризация клея (пайка)	27
4.4 Отмывка и удаление остатков флюса	49
4.5 Контроль качества пайки	61
5. Материалы, используемые в поверхностном монтаже	73
Список используемых источников	78

Введение

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 многвыводных корпусов БИС и СБИС не в сквозные отверстия, а на контактные площадки, расположенные на поверхности печатных плат (ПП) /1/.

Переход электронной промышленности с традиционного навесного на современную технологию поверхностного монтажа (SMT) имеет объективные предпосылки. Это обосновано экономическими и технологическими факторами. Предприятие при применении поверхностно монтируемых компонентов получает следующие преимущества:

1. Значительное повышение качества и надежности изделий благодаря применению лучших материалов и компонентов.
2. Снижение себестоимости изделий. Современная комплектация, монтируемая на поверхность платы, дешевле, чем навесная.
3. Упрощение и удешевление демонтажа компонентов.
4. Значительное уменьшение трудоемкости производственных циклов
5. Достижение современного технического уровня, соответствие современным стандартам (ISO 9000).
6. Уменьшение габаритных размеров изделий при увеличении их функциональных возможностей.

1. Используемая элементная база

Тип монтажа электронных модулей РЭС определяется в первую очередь количеством сторон, на которые осуществляется монтаж (одно- или двусторонний), и номенклатурой используемых компонентов. Поэтому описание типов монтажа необходимо предварить кратким обзором компонентов и корпусов. Основным, наиболее важным для технолога критерием разделения электронных компонентов на группы является метод их монтирования на плату – в отверстия или на поверхность. Именно он главным образом и определяет технологические процессы, которые необходимо использовать при монтаже.

В таблице 1.1 приведена информация по наиболее распространенным корпусам компонентов: названия, габариты, шаг выводов. Все размеры, за исключением особо оговоренных, приведены в милах (1 mil = 0,0254 мм) /2/.

Таблица 1.1 – наиболее распространенные корпуса в современных РЭС

Компоненты, монтируемые в отверстия			
Группа	Типы корпусов в группе	Габариты корпусов	Шаг выводов
С одним рядом выводов — SIL	TO-92, TO-202, TO-220 и др.	380x190, 1120x135, 420x185...	100 мил
С двумя рядами выводов — DIL	MDIP, CerDIP	250x381...577x2050	100 мил
С радиальными выводами	TO-3, TO-5, TO-18	-	-
С осевыми выводами		-	-
Решетки — Grid	CPGA, PPGA	286x286...2180x2180 мил	20...100 мил
Компоненты, монтируемые на поверхность			
С двумя рядами выводов — DIL	«SOT-23, SSOP, TSOP, SOIC»	55x120...724x315 мил	25...30 мил
С выводами по сторонам квадратного корпуса — Quad Package	LCC, CQJB, CQFP, CerQuad, PLCC, PQFP	350x350 мил ... 20x20 мм	50 мил...0,5 мм
Решетки — Grid	BGA, uBGA	-	0,75 мм (uBGA)

Большинство компонентов уже давно используются в различных конструкциях РЭС. Одним из перспективных новшеств являются компоненты, используемые только в технологии поверхностного монтажа, выполненные в корпусах BGA, а точнее mBGA, которые имеют различное число выводов с шагом 0,75 мм и даже 0,5 мм. Для них характерны оплаваемые шариковые выводы, расположенные на нижней части корпуса.

Приведенный краткий обзор современных компонентов дает представление о том, насколько велико число возможных вариантов реализации монтажа модулей РЭС при различном расположении их на плате. Кроме того, в обзоре не была представлена еще одна группа – группа нестандартных компонентов (odd form components).

Особенности элементной базы для поверхностного монтажа

Для монтажа на поверхность, в принципе, пригодны любые миниатюрные компоненты, которые, кроме основных, удовлетворяют двум дополнительным требованиям:

- ♦ выдерживают жесткие технологические воздействия, обусловленные групповыми методами пайки (в паровой фазе, конвекционным нагревом, ИК-нагревом, погружением в расплавленный припой при пайке волной припоя);
- ♦ пригодны для автоматизированного монтажа.

Если второе требование не является чем-то необычным для компонентов, монтируемых в отверстие, то более жесткие технологические воздействия резко ограничили или сделали практически невозможным применение для поверхностного монтажа большинства элементов, использовавшихся ранее.

Разработка компонентов, монтируемых на поверхность, в России ведется в настоящее время в двух направлениях:

- ♦ путем доработки существующей элементной базы до требований поверхностного монтажа;
- ♦ путем разработки новых приборов, не имеющих аналогов в исполнении элементов для монтажа в отверстия.

Примером первого направления является доработка резисторов типа P1 - 12 и конденсаторов K10 - 17, второго – разработка поверхностно монтируемых переключателей, катушек индуктивности, реле. Для полупроводниковых приборов и интегральных микросхем переход к SMD исполнению осуществляется упаковкой (капсулированием) кристаллов в корпуса, конструкция и материал которых удовлетворяет предъявляемым требованиям (корпуса типа SOT, SOIC, PLCC, QFP, BGA и др.).

Виды монтажа можно разделять по различным параметрам: по количеству используемых для монтажа сторон платы (одно- или двусторонний), по типам используемых компонентов (поверхностный, выводной или смешанный), по их расположению на двустороннем модуле (смешанно-разнесенный или смешанный). Рассмотрим наиболее распространенные из них.

2. Виды монтажа РЭС

Поверхностный монтаж

Поверхностный монтаж на плате может быть односторонним и двусторонним. Число технологических операций при этом виде монтажа минимально /2/.

При одностороннем монтаже (рисунок 2.1а) на диэлектрическое основание платы наносят припойную пасту методом трафаретной печати. Количество припоя, наносимое на плату, должно обеспечивать требуемые электрофизические характеристики коммутируемых элементов, что обуславливает необходимость соответствующего контроля. После позиционирования и фиксации компонентов выполняют операцию пайки путем оплавления дозированного припоя. В завершение технологического цикла производится контроль паяных соединений, а также функциональный и внутрисхемный контроль. На рисунке 2.1а изображены поверхностно-монтируемые компоненты различных видов: относительно сложно монтируемые компоненты в корпусах PLCC и SOIC и легко монтируемые чип-компоненты.

Для двустороннего поверхностного монтажа (рисунок 2.1б) возможны различные варианты реализации. Один из них предполагает начало технологического процесса с операции нанесения паяльной пасты на нижнюю сторону платы. Затем в местах установки тяжелых крупногабаритных компонентов наносят расчетную дозу клея и производят установку компонентов. После этого в печи клей полимеризуется и происходит оплавление пасты припоя. Плата переворачивается, наносится паста припоя, и устанавливаются компоненты на верхнюю сторону платы, после чего верхняя сторона оплавляется. В этом случае для пайки компонентов используются печи с односторонним нагревом.

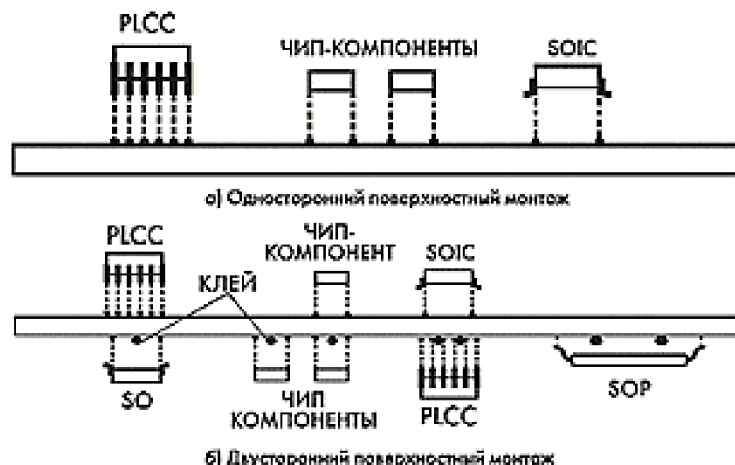


Рисунок 2.1а,б одно- и двусторонний поверхностный монтаж

При другом варианте реализации двустороннего поверхностного монтажа используются печи с двусторонним нагревом.

Интересен вопрос о необходимости нанесения клея на плату. Эту операцию выполняют с целью предотвращения отделения компонентов от платы при ее переворачивании. Существующие расчеты показывают, что большинство компонентов не упадут с платы даже при ее переворачивании, поскольку будут держаться за счет сил поверхностного натяжения припойной пасты. По этой причине операцию нанесения клея нельзя отнести к обязательным.

Смешанно-разнесенный монтаж

При смешанно-разнесенном монтаже компоненты, устанавливаемые в отверстия ТНТ-компоненты (Through Hole Technology), располагаются на верхней стороне платы, а компоненты для поверхностного монтажа – на нижней. В этом случае обязательной является операция пайки двойной волной припоя или применение селективной пайки волной припоя после оплавления паяльной пасты. Схематичное изображение платы со смешанно-разнесенным монтажом компонентов показано на рисунке 2.2.

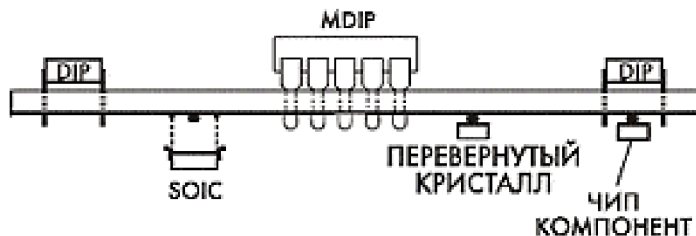


Рисунок 2.2 – Смешанно-разнесенный монтаж

Реализация такого вида монтажа предполагает следующую последовательность операций: на поверхность платы наносится дозатором клей, на который устанавливаются SMD-компоненты, клей полимеризуется в печи, после чего производится установка компонентов в отверстия, пайка волной припоя, промывка модуля и выполняются операции контроля.

Возможен альтернативный вариант, при котором сборку начинают с установки компонентов в отверстия платы, после чего размещают поверхностно-монтажные компоненты. Он применяется тогда, когда формовка и вырубка выводов обычных компонентов осуществляется при помощи специальных приспособлений заранее, иначе компоненты, монтируемые на поверхность, будут затруднять обрезку выводов, проходящих через отверстия платы. Компоненты для поверхностного монтажа при повышенной плотности их размещения целесообразно монтировать в первую очередь, что требует минимального количества переворотов платы в процессе изготовления изделия.

Смешанный монтаж

Примером смешанного монтажа является установка на верхней стороне платы и SMD-, и THT-компонентов, которые монтируются в отверстия, а на нижней стороне – только SMD-компонентов. Это самая сложная разновидность монтажа (рисунок 2.3).

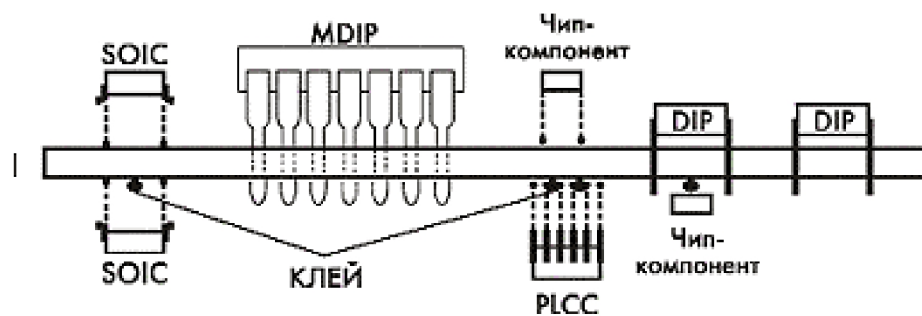


Рисунок 2.3 – Смешанный монтаж

Возможны различные варианты ее реализации. При одном из них сначала на нижнюю сторону печатной платы методом дозирования наносят клей, а на нанесенный клей устанавливают SMD-компоненты. После проведения контроля установки компонентов проводят отверждение клея в печи. На верхнюю сторону платы наносится паяльная паста, а на нее затем устанавливаются SMD-компоненты. Нанесение паяльной пасты возможно как методом трафаретной печати, так и методом дозирования. В последнем случае операции нанесения клея и паяльной пасты можно проводить на одном оборудовании, что сокращает затраты. Однако нанесение паяльных паст методом дозирования непригодно при массовом и крупносерийном промышленном производстве из-за низкой скорости и стабильности процесса по сравнению с трафаретной печатью и оправдано только в условиях отсутствия трафарета на изделие или нецелесообразности его изготовления. Такая ситуация может сложиться, например, при опытном производстве большой номенклатуры электронных модулей, когда из-за большого числа обрабатываемых конструкций и малых серий затраты на изготовление трафаретов значительны.

После установки SMD-компонентов на верхнюю сторону платы производится их групповая пайка методом оплавления припойной пасты. После этой операции технологический цикл, связанный с установкой поверхностно монтируемых компонентов, считается завершенным.

Далее, после ручной установки компонентов в отверстия платы производится совместная пайка всех SMD-компонентов, ранее удерживавшихся на нижней стороне платы при помощи отвержденного адгезива (клея) и уже установленных выводных компонентов. В конце технологического цикла выполняют операции визуальной инспекции пайки и контроля.

При другом варианте реализации смешанного монтажа предполагается иная последовательность выполнения операций. Первым этапом является нанесение припойной пасты через трафарет, установка на верхней стороне платы сложных компонентов для поверхностного монтажа (SO, PLCC, BGA) и пайка расплавлением дозированного припоя. Затем, после установки компонентов в отверстия платы (с соответствующей обрезкой и фиксацией выводов), плата переворачивается, на нее наносится адгезив, и устанавливают

ся компоненты простых форм для поверхностного монтажа (чип-компоненты, компоненты в корпусе SOT). Они и выводы компонентов, установленных в отверстия, одновременно пропаяются двойной волной припоя. Возможно также использование в составе одной линии оборудования, обеспечивающего эффективную пайку компонентов (с верхней стороны платы) расплавлением дозированного припоя и пайку (с нижней стороны платы) волной припоя.

Необходимо отметить, что в технологическом процессе, реализующем смешанный монтаж, возрастает количество контрольных операций из-за сложности сборки при наличии компонентов на обеих сторонах платы. Неизбежно возрастают также количество паяных соединений и трудность обеспечения их качества.

Односторонний выводной и поверхностный монтаж

Такая технология носит в мировой практике название технологии оплавления припойных паст (reflow) и является одной из стандартных в технологии монтажа на поверхность (рисунок 2.4).

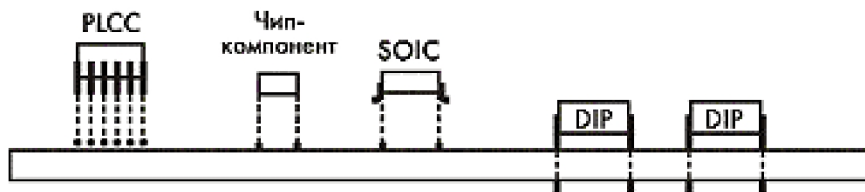


Рисунок 2.4 – Односторонний монтаж SMD и THT

Сборка модулей такого типа осуществляется следующим образом: на поверхность платы наносится припойная паста, на которую устанавливают SMD-компоненты; затем паста оплавляется в печи, устанавливаются THT-компоненты, проводится пайка волной припоя, после чего осуществляют промывку и контроль собранного модуля.

Односторонний выводной монтаж

Технология сборки таких печатных плат (рисунок 2.5) является стандартным сборочно-монтажным циклом с применением пайки волной припоя. Этот цикл состоит из операций установки выводных компонентов, их пайки на установке пайки волной и контрольных операций. Установка компонентов может быть как ручной, так и полуавтоматической. Выбор оборудования определяется требуемой производительностью. Автоматизация такого типа монтажа является минимальной, а сама реализация – предельно простой.

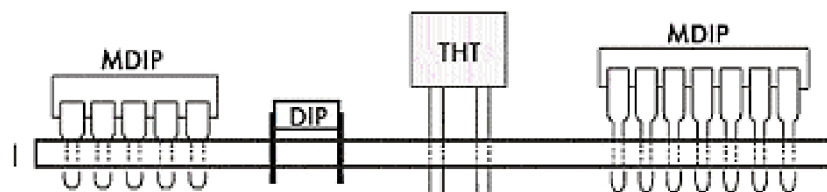


Рисунок 2.5 – Односторонний монтаж THT

Стоит отметить, что в нашей стране последний вариант, как в чистом виде, так и вариант с установкой THT компонентов на обеих сторонах печатной платы до недавнего времени являлся доминирующим способом сборки узлов РЭС. В настоящее время при сохранении позиций выводного монтажа происходит сдвиг в сторону поверхностного монтажа вследствие существенного удешевления процесса производства за счет автоматизации сборочных процессов. Конечно при этом увеличиваются капитальные затраты на оборудование, но это с лихвой окупается при серийном производстве РЭС.

В целом технологический процесс с использованием поверхностного монтажа можно отобразить в обобщенной структурной схеме, приведенной на рисунке 2.6 /3/.

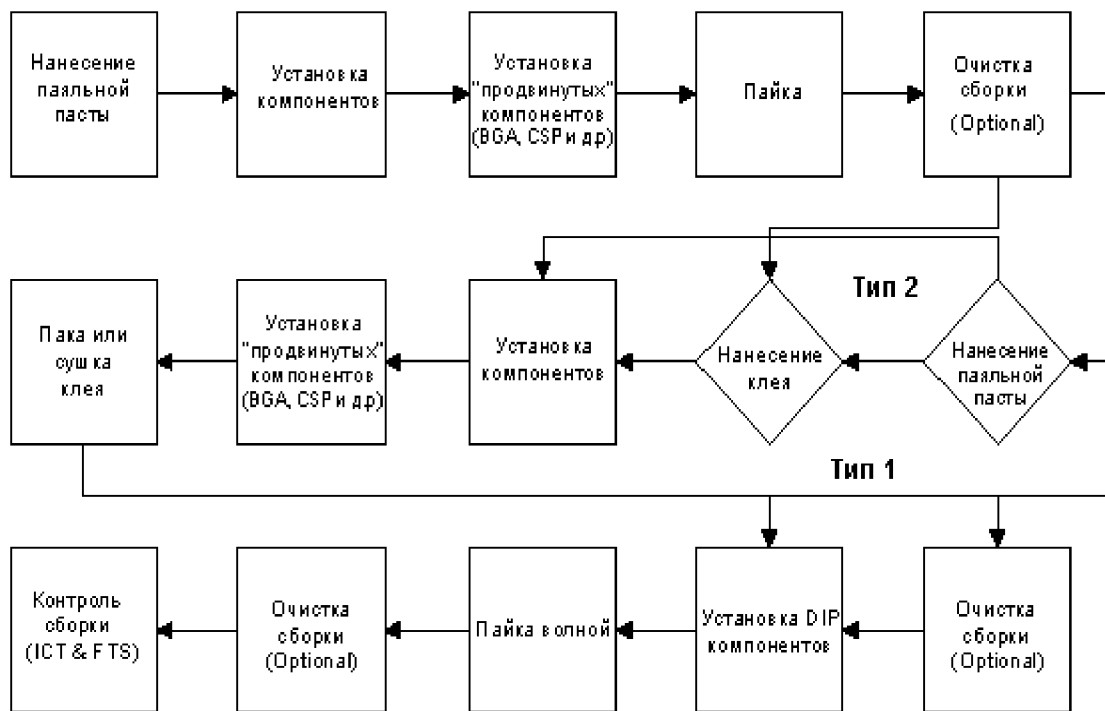


Рисунок 2.6 – обобщенная схема технологического процесса сборки РЭС с применением технологии поверхностного монтажа

3. Основы выбора применяемого оборудования

Рассмотрим факторы, которые оказывают влияние на выбор оборудования, его виды, производительность, на количество рабочих мест и другие характеристики производственной линии. Во-первых, общие особенности конструкции модуля, такие как номенклатура используемых компонентов, количество рабочих сторон модуля, на которых осуществляется монтаж, а также, в случае двустороннего монтажа, расположение компонентов: смешанно-разнесенное или смешанное.

Эти характеристики модуля оказывают влияние на выбираемый тип монтажа. Тип монтажа, в свою очередь, определяет виды оборудования, которое будет использоваться на производстве.

Во-вторых, на формирование производственной линии оказывают влияние количественные характеристики модуля:

- ♦ общее число монтируемых компонентов;
- ♦ количество выводных ТНТ и нестандартных компонентов;
- ♦ количество производимых модулей в единицу времени.

Эти параметры определяют необходимую производительность установленного оборудования и число используемых рабочих мест, на которых будут выполняться ручные операции.

Влияние описанных характеристик модуля на состав производственной линии отображено на рисунке 3.1.

Кроме этих параметров немаловажным фактором, влияющим на выбор оборудования, является требуемая гибкость технологического цикла. Под этим понимается время необходимое для перехода к производству другого изделия. Когда имеется массовое производство можно выбирать для его оснащения высокопроизводительное специализированное оборудование с малой возможностью переналадки, а когда главным фактором является большая номенклатура выпускаемой продукции, то очевидно необходимо оборудование, позволяющее решать большое количество задач, хотя и с меньшей производительностью.

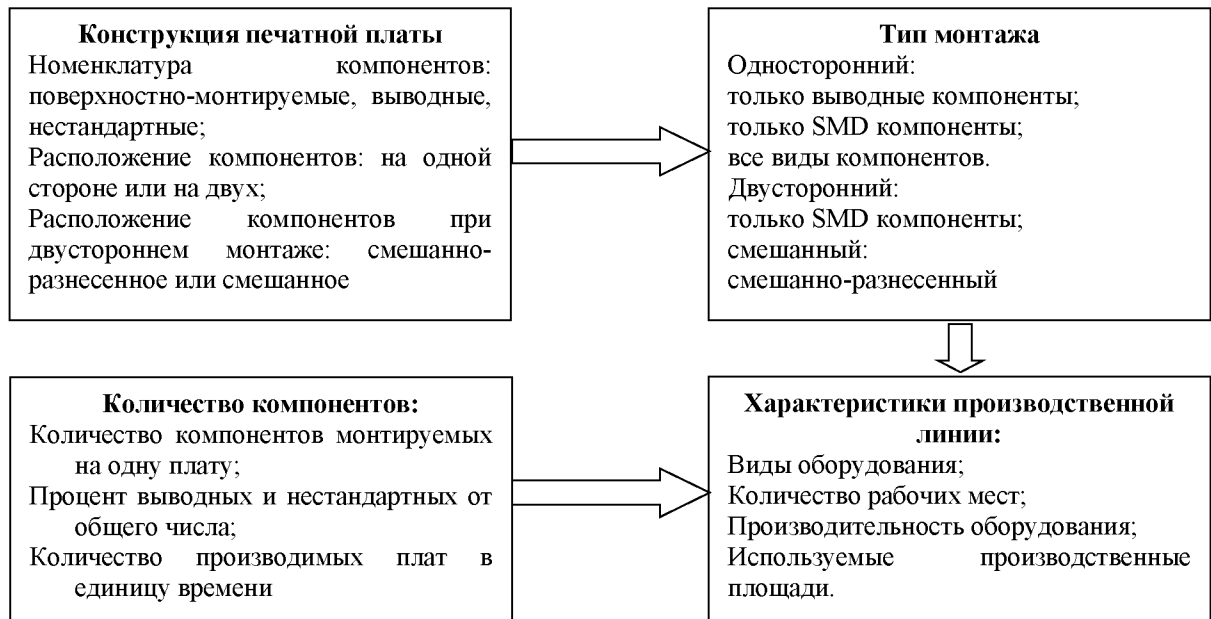


Рисунок 3.1 – Зависимость состава производственной линии от характеристик модуля

Рассмотрим технологические операции, которые составляют производственный цикл, и вкратце оборудование, применяемое на каждом из них.

1. Загрузка и выгрузка плат

Необходимость использования автоматики для транспортировки плат, загрузки их в линию и выгрузки из нее определяется только масштабами производства. При изготовлении модулей в лабораторных объемах в таком оборудовании нет необходимости. Даже при серийном производстве с небольшой производительностью затраты на автоматическую транспортировку вряд ли будут оправданы. Автоматические загрузчики и транспортные системы целесообразно использовать только на крупносерийном производстве, где используется автоматическая линия, и весь процесс расписан посекундно. В таких условиях автоматическая транспортировка сильно упростит задачу и сэкономит время.

2. Нанесение материалов

Как правило, технологический цикл сборки электронных модулей начинается с нанесения на поверхность печатной платы материалов (паяльной пасты или клея). Общеизвестны два способа выполнения этой операции: трафаретная печать и дозирование.

Если на производстве изготавливается большое число конструкций плат, то целесообразно применять метод дозирования, особенно при лабораторном производстве, когда на оборудование, ввиду его невысокой производительности, были потрачены сравнительно небольшие финансовые средства. В случае применения трафаретной печати необходимо использовать по одному трафарету на каждую сторону каждой конструкции платы, что потребует введения на производстве новой операции по изготовлению трафаретов или их покупки. Стоимость трафарета составляет 100 – 500\$ за штуку. При большом их количестве себестоимость обработки существенно увеличится, несмотря на то, что стоимость самого оборудования не слишком высока.

В случае промышленного производства, напротив, нанесение материалов методом дозирования нежелательно из-за низкой скорости и нестабильности процесса по сравнению с трафаретной печатью. К тому же на крупносерийных производствах число выпускаемых конструкций плат ограничено, да и стоимость трафаретов не внесет заметного вклада в общие расходы ввиду высокой стоимости оборудования. Теперь рассмотрим устройства трафаретной печати. Они могут быть как ручными, так и автоматическими.

Ручной принтер представляет собой сравнительно простое устройство: на металлической раме закрепляется трафарет, после чего раму крепят к рабочему столу, на котором находится плата. Для лучшего соприкосновения платы и трафарета в пространстве между ними может быть создано низкое давление. Для этого дополнительно используют вакуумный насос. При использовании ручного принтера давление на рапель осуществляется оператором вручную.

В автоматических принтерах все операции – совмещение трафарета и печатной платы, осуществление приводного давления на рапель, дозирование припойной пасты на трафарет – выполняются автоматически. Эти устройства могут работать как автономно, так и в составе производственной линии. В зависимости от класса этого оборудования оно может выполнять различные дополнительные функции, такие как автоматическая инспекция печатной платы при помощи технического зрения, приводное изменение ширины конвейера и другие. Основные параметры автоматических принтеров: максимальный формат платы, который может достигать значения 510×510 мм, и скорость перемещения ракеля (до 150 мм/с).

При использовании автоматического принтера в промышленной линии особое значение приобретают возможности программного обеспечения (ПО), которое на нем установлено. В наиболее высокотехнологичном и дорогостоящем оборудовании ПО позволяет устройству получить доступ к централизованной базе данных предприятия, подключаться к локальной сети и даже использовать Интернет для удаленного доступа. Все это позволяет оборудованию повышать качество изделий и уменьшать количество ошибок.

Другой вид оборудования для нанесения материалов – устройства дозирования. Как уже отмечалось, такое оборудование рационально использовать только в случае невысокой производительности монтажного участка, при лабораторном характере производства. Поэтому такое устройство нет необходимости встраивать в автоматическую линию. Автоматический дозатор представляет собой рабочий стол, на который крепится обрабатываемая плата. Над рабочим полем автоматически перемещается диспенсер (шприц), который осуществляет нанесение материалов на плату. Для управления используется персональный компьютер и относительно несложное специализированное ПО. Ключевые параметры автоматических дозаторов: скорость дозирования (до 15 тыс. точек в час) и максимальный формат обрабатываемой платы (до 450×450 мм).

Для нанесения материалов можно применять и ручное дозирование. Однако это рационально только при очень невысокой производительности монтажного участка, так как у оператора производительность, естественно, существенно ниже, чем у любого из описанных выше видов оборудования.

3. Установка компонентов

Установка компонентов является, пожалуй, наиболее важной и сложной операцией в технологическом цикле. Как правило, именно производительность установки компонентов на плату определяет общую производительность монтажного участка. Наиболее простой и наименее производительный метод установки компонентов – ручной, при помощи соответствующего инструмента (вакуумного пинцета). В этом случае большую роль играют субъективные факторы, такие как уровень профессионализма и опыт оператора. Кроме того, при использовании некоторых современных компонентов вероятность ошибки оператора увеличивается. Установка наиболее сложных компонентов (маленьких чипов 0102 и fine-pitch) отнимает у оператора много времени, а для установки компонентов в корпусах BGA необходимо специальное оборудование, так как ручная установка невозможна.

Следующим по производительности способом установки компонентов является полуавтоматический монтаж на специальной установке. Спектр оборудования, предлагаемого различными фирмами, достаточно широк, но в целом устройство таких установок одинаково. Установка состоит из рабочего поля, на котором закрепляется плата, над ней в полуавтоматическом режиме перемещается вакуумная присоска, предназначенная для захвата и перемещения устанавливаемого компонента из накопителя на место его монтирова-

ния на плате. Полуавтоматическое устройство монтажа комплектуется набором различных накопителей для компонентов (ленты, пеналы или плоские поддоны для расположения интегральных схем). Компоненты могут также браться из россыпи, для чего они помещаются в специальные ячейки. Устройство комплектуется персональным компьютером с программным обеспечением, определяющим последовательность установки и расположения компонентов на плате.

На производительность такого рода оборудования сильно влияет квалификация и опыт оператора. Как правило, полуавтоматы по установке компонентов позволяют монтировать до 400–500 компонентов в час. Такое оборудование позволяет монтировать только SMD-компоненты. Выводные компоненты придется устанавливать вручную.

Наиболее сложным, дорогим и производительным оборудованием, используемым на данном этапе технологического цикла, являются автоматические установщики. Принцип их работы состоит в следующем: с помощью ПО файлы САПР транслируются в исполнительные программы, посредством которых монтажная головка устройства автоматически перемещает компонент из накопителя на место его монтажа на плате.

Основные характеристики автоматических установщиков компонентов:

- ♦ Производительность: может колебаться от минимально возможной – порядка 1,5 тыс. компонентов в час до очень высокой – более 80 тыс. компонентов в час. 40–50 тыс. установленных компонентов в час является пределом для самых крупных российских заводов.
- ♦ Номенклатура устанавливаемых компонентов: от ограниченного числа чипов и микросхем, наиболее простых для установки, до самых сложных компонентов, таких как чипы 0402 и 0201, ИМС с шагом выводов менее 0,5 мм (fine-pitch) и корпусов с шариковыми выводами (mBGA). Наиболее дорогостоящее оборудование позволяет монтировать не только SMD, но и некоторые выводные компоненты.
- ♦ Максимальная величина формата монтируемой платы при использовании групповой заготовки. Эта величина может достигать значения 12×18 (457×508 мм).
- ♦ В некотором наиболее сложном оборудовании предусмотрена возможность использования производственной мощности установщика для выполнения дозирования материалов. Для этого вместо головки, устанавливающей компоненты, в автомате используется специальная дозирующая головка.

Как и для любого автоматического оборудования, в автоматах-установщиках большое значение имеет используемое ПО и его возможности. Можно отметить следующие функции ПО:

- ♦ возможность оптимизации исполнительной программы установки компонентов с точки зрения наиболее короткого перемещения головки;
- ♦ моделирование работы оборудования, позволяющее вычислять время сборки продукта без реального запуска автомата;
- ♦ сбор статистической информации о важнейших параметрах работы оборудования;
- ♦ возможность отбраковки помеченных бракованных плат;
- ♦ защита при помощи пароля.

Выбор оборудования, которое будет использоваться на данном этапе, необходимо проводить исходя из особенностей конструкции платы и производительности участка. При лабораторном производстве можно укомплектовать участок ручными средствами реализации технологического процесса. При мелкосерийном производстве оптимально использование полуавтоматов, которые просты в управлении, сравнительно недороги (примерно 15–18 тыс. долл.), снижают утомляемость и значительно превышают производительность оператора. При больших объемах производства необходимо использование автоматов, которые помимо увеличения производительности повышают качество изделия и снижают вероятность ошибок.

4. Пайка (оплавление припойных паст и пайка волной)

Пайка компонентов, установленных на плате, в зависимости от применяемой технологии может проводиться методом оплавления припойных паст и пайкой волной припоя.

Для проведения пайки оплавлением используются различные способы, самыми распространенными из которых, до недавнего времени, являлись конвекционная пайка, осуществляемая горячим воздухом, и ИК - нагрев, а также комбинация этих двух принципов. В последнее время происходит возрождение интереса к оплавлению в паровой фазе.

Конвекционная пайка реализуется в камерных или конвейерных печах. В первом случае отработка профиля пайки осуществляется путем изменения температуры внутри камеры со временем, а во втором – перемещением платы по конвейеру через несколько зон печи – через зоны нагревания, затем через зоны охлаждения, каждая из которых имеет свою температуру. Как правило, максимальная температура, при которой происходит непосредственно оплавление пасты, составляет 210 – 220 °С (для оловянно-свинцовых припоев). Плата находится в печи при максимальной температуре в течение всего нескольких секунд, после чего производится ее охлаждение (как правило, естественное и неуправляемое).

В ряде случаев применяется пайка в инертной среде, при которой осуществляется выпуск азота в рабочую область печи. Эта операция используется для сведения к минимуму окислительного процесса. Однако необходимо проанализировать целесообразность этой операции. В случае если процесс пайки длится не очень продолжительный промежуток времени (4 – 5 минут), припой просто не успеет окислиться, так как в его состав входит флюс, обеспечивающий растворение окислов на поверхности частиц порошка припоя. К тому же пайка в инертной среде потребует большого расхода азота, что повлечет за собой использование азотной станции, а это означает существенные дополнительные расходы.

Использование азотной среды при конвекционной пайке оправдано только в условиях серийного производства при изготовлении сложных модулей, требующих высокого качества исполнения. Приведем значение некоторых ключевых параметров печей конвекционной пайки.

Для конвейерных печей имеет значение ширина конвейера (до 460 мм), для камерных – площадь рабочей области (до 350х500 мм). Максимальная рабочая температура может достигать 350 °С. Количество зон колеблется от 3 зон нагрева и 1 зоны охлаждения в небольших печах, применяемых в мелкосерийном производстве, до 12 зон нагрева и 4 зон охлаждения в больших промышленных установках. Длина печи может быть от 1 до 6 метров.

Что касается программного обеспечения, которое может поставляться вместе с печью оплавления, то здесь одним из основных свойств является возможность сохранения и вызова файлов с термопрофилями процессов пайки, которые могут быть реализованы на данной установке. Кроме того, возможно выполнение следующих функций:

- ♦ сбор и хранение информации о параметрах процесса пайки;
- ♦ контроль заданного температурного режима;
- ♦ создание системы подсказок.

Пайка волной припоя может использоваться для монтажа как выводных, так и SMD- компонентов. Основной частью установки является конвейер, по которому перемещается плата, омываемая снизу двойной волной припоя. Двойная волна применяется по следующим причинам. Из-за наличия сил поверхностного натяжения и отсутствия смачиваемости пластмассового корпуса элемента припоем вблизи элемента образуется «тень», в которой отсутствует смачивание припоем выводов. Эта проблема особенно актуальна для высоких корпусов. Обычная волна не обеспечивает пайку всех выводов SMD-компонентов, вследствие такого «теневоего эффекта». Кроме того, обычная волна часто создает пайки с излишками припоя, что приводит к появлению перемычек между выводами компонентов. В установках двойной волны эти недостатки отсутствуют.

Еще одной важной частью установки пайки волной припоя является флюсователь. Это устройство должно обеспечить равномерное нанесение флюса на поверхность платы. Среди нескольких методов, которыми осуществляется эта операция, выделим флюсование разбрызгиванием и пенное флюсование.

Применение опции пайки в среде азота при пайке волной является более оправданным, чем при конвекции, а подчас и необходимым. Процесс окисления при пайке волной идет гораздо активнее, а расход азота при этом будет значительно меньше.

Основными параметрами, которыми определяется класс установки пайки волной и сфера ее использования, являются следующие:

- ♦ максимальная ширина платы (до 500 мм);
- ♦ максимальная высота компонентов на верхней стороне платы (100–150 мм);
- ♦ вместимость ванны с припоем (от 100 до 800 кг);
- ♦ наличие возможности регулировки угла наклона конвейера.

5. Ручные операции

Какой бы уровень автоматизации ни был реализован на производстве, ручного труда избежать не удастся. При ручном и полуавтоматическом характере производства работа операторов используется на всех этапах цикла. Автоматическая линия предполагает работу оператора на этапе визуальной инспекции после установки компонентов, пайки в печи оплавления и пайки волной, на этапе установки выводных компонентов и ручной досборки.

Рабочее место оператора, выполняющего операцию установки компонентов, должно быть обеспечено набором ручного инструмента для захвата компонентов (пинцеты, вакуумные захваты), увеличительным стеклом, желательным с подсветкой (для меньшего утомления зрения оператора), а также местом для размещения плат в накопителях. Рабочее место, на котором будут выполняться операции контроля и ручной пайки, должно быть укомплектовано паяльной рабочей станцией.

4. Основные этапы технологического процесса монтажа

Рассмотрим более подробно элементы технологии и оборудование, используемые в современном технологическом процессе сборки РЭС. Как уже отмечалось, можно выделить шесть основных составляющих:

- ♦ Нанесение припойной пасты или клея;
- ♦ Установка компонентов;
- ♦ Оплавление пасты и (или) полимеризация клея;
- ♦ Отмывка и удаление остатков флюсов;
- ♦ Контроль качества пайки.

4.1. Нанесение припойной пасты или клея

Существует несколько способов нанесения. Рассмотрим наиболее используемые методы: диспенсорное нанесение и трафаретная печать.

Диспенсорное нанесение

Довольно часто встречающимся методом нанесения припойной пасты, применяемым в штучном и мелкосерийном производстве, является диспенсорный метод, в котором используется диспенсер – шприц (рисунок 4.1.1).

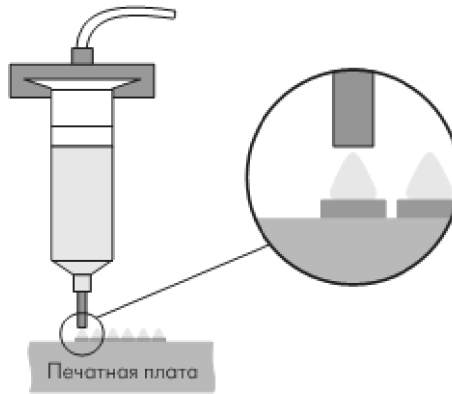


Рисунок 4.1.1 – Простейший диспенсер – шприц и его составляющие: крышка, давящий воздух, поршень, припойная паста, цилиндр, сопло.

Автоматическая дозировка осуществляется в соответствии с данными САПР при помощи сжатого воздуха. Паста поступает в виде «капель» непосредственно на контактные площадки печатной платы. Преимуществом диспенсорного метода является высокая гибкость его применения. Этим методом можно наносить пасту на контактные площадки толщиной от 0,75 мм. Однако не стоит считать этот метод однозначно экономически оправданным (по сравнению с трафаретной печатью). Стоимость банки пасты для трафаретного нанесения колеблется в пределах 40 - 60\$, а одного шприца пасты – 10-20\$. Метод применим как для ручного нанесения, так и для автоматического. Производительность ручной работы у опытных операторов достигает 120 точек в минуту. Производительность автоматического нанесения достигает 800 точек в минуту.

По принципу реализации электронной схемы управления импульсами дозаторы разделяются на аналоговые и цифровые (микропроцессорные). Наличие микропроцессора позволяет также реализовать сервисные опции, обеспечить удобные формы задания режимов дозирования, сохранение и отображение информации. С помощью клавиатуры и ЖК-дисплея, отображающего информацию, пользователь может задать несколько сохраняемых программ с параметрами длительности импульса дозирования и периодичности следования импульсов, запрограммировав величину дозирующего импульса для каждого типа контактных площадок, встречающихся на плате. При этом в процессе работы можно легко изменять величину капли одним нажатием клавиши, переключаясь с одной программы на другую. Благодаря этому производительность нанесения пасты повышается во много раз.

Дозирование производится с высокой точностью благодаря микропроцессорному электронному блоку. Подтекание материалов можно предотвратить обратной тягой воздуха в промежутках между импульсами дозирования. Наряду с автоматическим регулярным следованием импульса возможна эпизодическая работа от педали, в том числе с настройкой интервала. Воздушная магистраль подключается к пневмоблоку дозатора посредством быстросъемных соединений. Пневмоблок дозатор конструктивно отделен от электронного блока с целью обеспечения автономной ремонтпригодности каждого из них.

В комплект диспенсора, как правило, входят: адаптеры, трубки-воздуховоды с соединителями для работы со шприцкартриджами объемом 10 и 30 мл, а также набор дозирующих игл. Иглы могут быть изготовлены или из нержавеющей стали, или из пластика, с разным внутренним диаметром иглы, в некоторых случаях используются насадки из фторопласта. Благодаря адаптеру отпадает необходимость в перенастраивании и промывке агрегата при переходе с одного дозируемого вещества на другое (скажем, с пасты на клей и наоборот): достаточно сменить шприцкартридж и поставить другую иглу. Работа происходит следующим образом: насадка подводится к точке нанесения материала, оператор нажимает педаль, материал выделяется в необходимом количестве из насадки, после чего касанием насадки переносит материал на деталь. Сжатый воздух, поступивший в дозатор, подается на вход регулятора давления. Выход регулятора соединен с клапаном, который

изначально заперт, а рабочее давление контролируется по манометру. При открытии клапана сжатый воздух попадает в свободную полость картриджа, давит на поршень и материал начинает выдавливаться через насадку.

Рекомендации по ручному дозированию /5/. При подборе размера дозы вещества приходится учитывать влияние ряда факторов:

- ♦ вязкость дозируемого вещества;
- ♦ температуру окружающей среды (опосредовано влияет на вязкость);
- ♦ внутренний диаметр и длина дозирующей иглы;
- ♦ давление, передаваемое дозатором на картридж с вязким материалом;
- ♦ продолжительность импульса дозирования.

Диаметр иглы определяется вязкостью дозируемого вещества: менее вязкие материалы дозируют иглами меньшего диаметра.

При постоянной вязкости вещества размер дозы можно уменьшать снижением передаваемого давления, сокращением длительности дозирующего импульса, уменьшением диаметра иглы и увеличением ее длины. Каждый из этих параметров имеет предел, определяемый экспериментально для конкретного материала. Например, чрезмерное сокращение длительности импульса ведет к снижению равномерности (повторяемости) объема материала в дозе, а разное количество пасты на контактных площадках одного компонента приводит к эффекту опрокидывания (дефект типа «надгробный камень»). Паяльные пасты имеют в своем составе фиксированные по размеру частицы, которые и определяют минимальный диаметр иглы. В слишком узкой игле материал может застревать (что тоже влечет неравномерное дозирование), а из слишком широкой иглы материал может избыточно (неконтролируемо) выливаться, что приводит к замыканиям после оплавления припоя. Максимальный диаметр иглы зависит от размеров контактных площадок, на которые требуется нанести дозируемое вещество, а также от вязкости этого вещества (пасты, клея). Получение требуемой дозы варьируется давлением и продолжительностью импульса – как раздельно, так и совместно.

Дозируемые материалы имеют свойство изменять вязкость, что сильно влияет на точность процесса. Изменение вязкости вещества напрямую связано с изменением его температуры. Некоторые материалы при изменении температуры на 10 – 15 °C могут изменить вязкость в несколько раз, это приведет к тому, что при неизменных настройках дозатора, объем дозы будет меняться пропорционально изменению вязкости. Если точность дозирования важна для технологического процесса, то следует применять меры для стабилизации температуры материала. Для этого следует поддерживать стабильную температуру в комнате, закрепить картридж на штативе, чтобы он не прогревался от рук. При повышенных требованиях к точности дозирования хороший эффект дает применение блока термостабилизации дозирующей иглы или всего картриджа.

Еще одним фактором, влияющим на точность дозирования, является деформация пластиковых компонентов пневматического тракта под действием давления. При работе с картриджем, имеющим разделительный поршень, может наблюдаться эффект - защемления поршня. При подаче сжатого воздуха в картридж его стенки раздуваются, и поршень опускается на некоторое расстояние, хорошо видимое на глаз. При сбросе давления поршень поднимается, но в некотором положении, не успев подняться до конца, он защемляется сужающимися стенками картриджа за счет сил трения. В этом случае некоторое время материал под поршнем остается под избыточным давлением, то есть продолжается выделение материала из дозирующей насадки. Для устранения этого эффекта рекомендуется устанавливать пониженное рабочее давление и использовать картриджи с толстыми стенками.

Еще одним фактором, влияющим на точность дозирования, является увеличение времени установления рабочего давления в картридже по мере расхода в нем материала, а также увеличение времени сброса воздуха по завершении дозы. Погрешность дозирования уменьшается при увеличении рабочего давления и увеличении времени дозирования, а также при уменьшении объема картриджа. В пневмотракте некоторых дозаторов включа-

ют ресивер, что улучшает динамику накачки и снижает погрешность микродоз. При включении отсечки в свободной полости картриджа создается регулируемое разрежение, препятствующее вытеканию жидкости. По мере расхода вес жидкости уменьшается, и разрежение следует уменьшать, в противном случае возможен подсос воздуха внутрь картриджа, что резко ухудшает точность дозирования.

Дозирующие головки для нанесения материалов /4/.

Существуют различные типы дозирующих головок для нанесения широкого спектра материалов – от паяльных паст до компаундов для герметизации кристаллов. Дозирующие головки универсальны и могут устанавливаться на различные автоматы.

1. Струйные дозирующие головки.

Бесконтактные струйные дозирующие головки (рисунок 4.1.2) идеально подходят для нанесения клея при сборке двухсторонних печатных узлов. Бесконтактный способ нанесения технологических материалов позволяет исключить перемещение по оси Z, благодаря чему обеспечивается максимальная производительность автоматов дозирования.



Рисунок 4.1.2 – Строение дозирующей головки

Материал из картриджа поступает в камеру, где обеспечивается нагрев и постоянный контроль температуры материала для сохранения оптимальной вязкости. Как только игла с шариком на конце приподнимается из исходного положения, происходит заполнение образовавшегося пространства дозируемым материалом. При возвращении шарика в исходное положение образуется капля, наносимая на печатную плату с расстояния 1 – 3,5 мм, и формирующая на ней клеевую точку. На повторяемость формы клеевых точек не оказывает влияние нарушение плоскости печатной платы.

2. Шнековые дозирующие головки.

Для высокоточного нанесения паяльных паст рекомендуется использовать шнековые дозирующие головки (рисунок 4.1.3). Шнековый дозатор работает следующим образом. Картридж с материалом закрепляется на дозирующей головке. Материал под давлением поступает в камеру, где расположен шнек, управляемый сервоприводом. При вращении шнека материал подается в дозирующую иглу и наносится на плату. Величина дозы материала зависит от времени вращения и шага шнека, а также от диаметра иглы.



Рисунок 4.1.3 – Строение шнековой дозирующей головки

3. Пневматические дозирующие головки.

Главное преимущество пневматических головок – простота и низкая стоимость. Однако они имеют более низкую производительность и точность. Принцип работы данных дозирующих головок может проиллюстрировать рисунок – 4.1.4. К картриджу с клеем, закрепленному на дозирующей головке, прикреплена дозирующая игла нужного диаметра. Чтобы нанести материал на плату, к нему прикладывается импульс давления заданной величины и длительности, диаметр иглы, величина и время приложения давления определяют объем дозы материала.

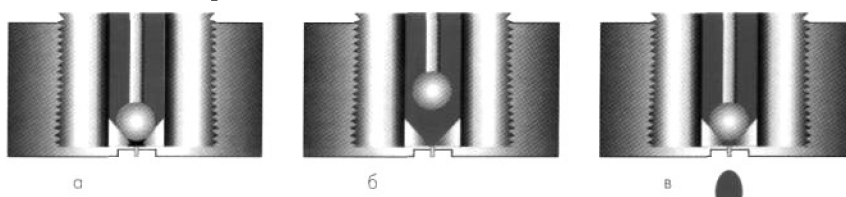


Рисунок 4.1.4 – принцип работы пневматической дозирующей головки

4. Поршневые дозирующие головки.

В данных головках в качестве дозирующего механизма используется поршень (рисунок 4.1.5). Материал в картридже находится под постоянным давлением. Когда необходимо произвести дозирование на печатную плату, поршень опускается в цилиндр и наносит нужное количество материала. Преимуществами поршневых дозаторов являются малая зависимость или полное отсутствие зависимости рабочего цикла от объема доз материала, а также независимость объема доз от вязкости материала, которая может меняться в процессе работы.

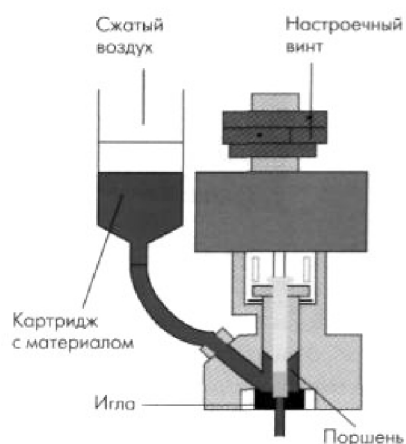


Рисунок 4.1.5 – Строение поршневой дозирующей головки

Виды брака, возникающие при диспенсорном нанесении

При ручном диспенсорном нанесении брак в основном определяется участием человека в процессе. При этом возможны два наиболее опасных вида брака:

- ♦ неточное дозирование – приводит к замыканиям после оплавления;
- ♦ разное количество припойной пасты на контактных площадках одного компонента приводит к эффекту опрокидывания.

При автоматическом диспенсорном нанесении брак может возникнуть также только по вине оператора (за исключением отказа оборудования по техническим причинам). Наименее вероятный брак в этом случае – неточность нанесения в пределах погрешности оборудования. Поскольку точность современных установок достаточна (а зачастую и избыточна) для процесса диспенсорного нанесения, погрешность размещения пасты на печатной плате не приводит к браку. Соответственно, брак может возникнуть только из-за неверной программной настройки оборудования по вине оператора.

Приведем некоторые примеры устройств, обеспечивающих диспенсорное нанесение технологических материалов. Каждое из этих устройств предназначено для эксплуатации на различных технологических уровнях производства. На рисунке 4.1.6 представлены диспенсорные системы, продаваемые в нашей стране [7].

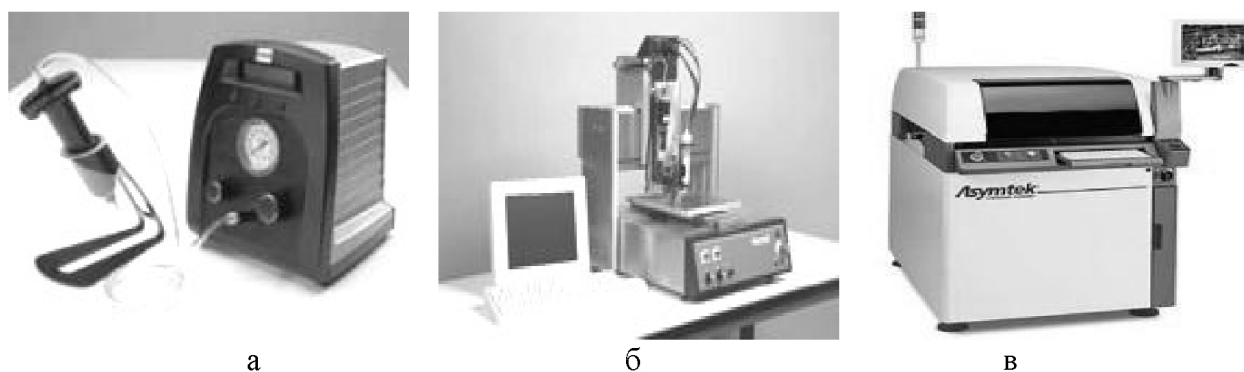


Рисунок 4.1.6 – Устройства дозирования

а - DX-200 экономичный ручной цифровой дозатор;

б - DispenseMate® 550 настольный малопроизводительный автомат дозирования;

в - Millennium M-2010 сверхвысокопроизводительный автомат массового производства.

Трафаретная печать.

Метод трафаретной печати подразумевает нанесение через аперттуры (окна) в сетчатом (рис. 4.1.7) или цельнометаллическом трафарете припойной пасты на контактные площадки печатных плат.

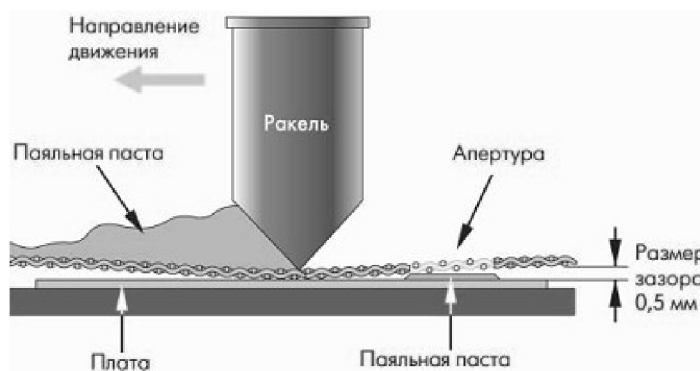


Рисунок 4.1.7. Трафаретное нанесение пасты через сетчатый трафарет

Техника трафаретной печати проста: при движении ракеля по поверхности трафарета припойная паста продавливается сквозь его апертury (окна) на контактные площадки. Наиболее важной фазой этого процесса является продвижение пасты вдоль поверхности трафарета, так как наносимая масса должна перемещаться по поверхности трафарета с определенной силой прижатия ракеля и строго выверенной скоростью его перемещения.

Трафарет и ракель должны быть чистыми, и паста должна иметь строго определенные характеристики для этой силы и скорости.

Ошибки в этих параметрах приводят к таким бракам, как закоротки или непропаи. Практика показывает, что больше половины ошибок всего процесса сборки печатных плат приходится именно на процесс нанесения припойной пасты. Преимуществом метода трафаретного нанесения припойной пасты является то, что паста может быть нанесена слоем до 300 (в предельных случаях до 650) мкм с очень высокой точностью.

В общем случае отверстия трафарета открывают лишь 50 – 90% площади контактных площадок, что исключает нанесение излишнего количества припойной пасты (соответственно, данный метод, в отличие от диспенсорного нанесения, позволяет осуществлять высокоточный монтаж компонентов со сверхмалым шагом выводов).

При нанесении припойной пасты этим методом используются специальные установки. Такие установки на рынке паяльного оборудования делятся на два типа: лабораторные ручные рамы и полуавтоматические или автоматические принтеры.

Поскольку время нанесения пасты трафаретной печатью гораздо меньше времени установки компонентов на плату, современные установки (например, фирмы Samsung) имеют встроенные системы 2D-контроля (а некоторые фирмы внедряют сейчас 3D-контроль) качества, что позволяет осуществлять контроль непосредственно во время нанесения. Таким образом, отпадает необходимость дополнительного промежуточного оптического контроля.

Существуют различные типы ракелей. Общий вид составного ракеля показан на рисунке 4.1.8. Износостойкость и твердость ракеля сильно влияют на качество нанесения припойной пасты. В условиях массового производства состояние кромки ракеля подлежит тщательному контролю. Для обеспечения высокого качества нанесения кромка ракеля должна быть острой и прямой.

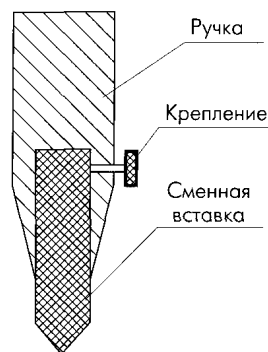


Рисунок 4.1.8 – Устройство составного ракеля

Сила прижатия ракеля к трафарету также влияет на качество нанесения. Слабое прижатие может привести к пропускам либо к неровному заполнению апертур трафарета припойной пастой. Чрезмерное прижатие приводит к вычерпыванию пасты из больших апертур трафарета. Кроме того, может произойти вдавливание пасты между поверхностью трафарета и печатной платой. Проявление такого дефекта зависит от шероховатости мест среза материала в окнах трафарета (в случае механического изготовления трафарета).

На сегодняшний день европейские компании, работающие в данной отрасли (Samsung, Assemblion, Siemens и т. д.), используют два основных типа ракелей: полиуретановые и металлические.

По мере уменьшения шага выводов компонентов все большую популярность стали приобретать металлические ракели. Их изготавливают из нержавеющей стали или латуни в форме клина с углом от 30 до 45°.

Благодаря отсутствию смены формы рабочей кромки во время нанесения пасты (благодаря высокой жесткости), металлические ракели не вызывают вычерпывания пасты из окон трафарета.

Однако стоимость металлических ракелей гораздо выше полиуретановых, кроме того, они вызывают значительный износ трафарета.

Поскольку для различных компонентов требуется различное количество припойной 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, например многоуровневые разнотолщинные трафареты, показанные на рисунке 4.1.9.

Остальные производители используют трафареты двойной толщины (система «трафарет на трафарете»). При использовании таких трафаретов паста наносится только каучуковыми (полиуретановыми) ракелями, кромка которых повторяет рельеф трафарета при нанесении.

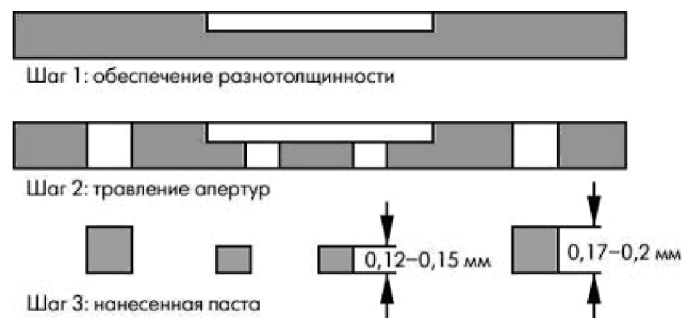


Рис 4.1.9 – Многоуровневые разнотолщинные трафареты.

Также помимо различных ракелей мы имеем различные способы изготовления трафаретов. На сегодняшний день наибольшее распространение получили сеточные (рисунок 4.1.10а) и цельнометаллические (рисунок 4.1.10б) трафареты.

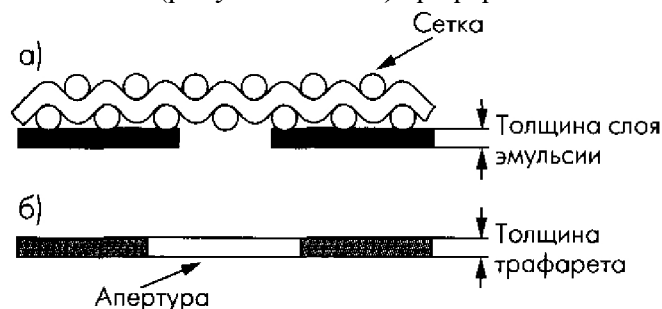


Рис 4.1.10 – Сетчатый (а) и цельнометаллический (б) трафарет.

Металлические трафареты используются в случае больших заготовок плат при условии массового выпуска. Сеточные трафареты представляют собой натянутые на рамки мелкоячеистые сети (размер ячейки должен превышать размер частиц припоя). Изготовление слоя, препятствующего проникновению припойной пасты, осуществляется методами фотолитографии: после нанесения светочувствительной маски осуществляется экспонирование и проявление.

Важными параметрами металлического трафарета являются точность изготовления апертур и гладкость поверхностей. На сегодняшний день существуют три основных способа изготовления металлических трафаретов: химическое травление, лазерное вырезание, аддитивный способ.

Рассмотрим каждый способ коротко по отдельности.

1. Химическое травление трафаретов.

Формирование окон в металлическом трафарете травлением называется химическим фрезерованием. На металлическую пластину наносят фоторезист с обеих сторон, экспонируют и проявляют его, после чего травят металл сквозь образовавшуюся контактную маску. Поскольку при травлении наружные кромки металла подвергаются травлению в большей степени, форма отверстия при одностороннем травлении приближалась бы в сечении к трапеции. Поэтому используют технику двустороннего травления, при которой погрешность формы кромки окна существенно уменьшается. На рисунке 4.1.11 проиллюстрирован способ изготовления трафаретов методом химического травления.

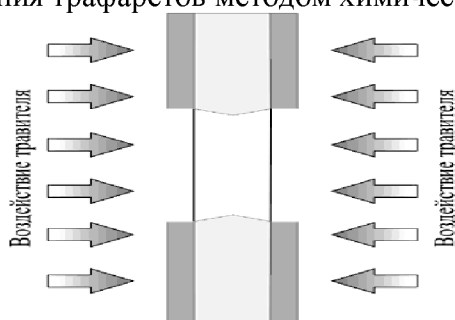


Рисунок 4.1.11 – Химическое травление металлического трафарета

2. Лазерное фрезерование трафаретов.

Лазерное фрезерование, как и предыдущий метод, относится к субтрактивным способам формирования изделий, однако ему не присущ такой большой недостаток, как подтравливание материала. Поскольку при изготовлении трафарета нет промежуточного создания фотошаблонов и последующих этапов литографии, точность размеров апертур гораздо выше, чем при использовании предыдущего метода. Другим преимуществом лазерной резки является то, что стенки апертур можно сформировать в конической форме. Рисунок 4.1.12 иллюстрирует способ лазерного фрезерования металлических трафаретов.

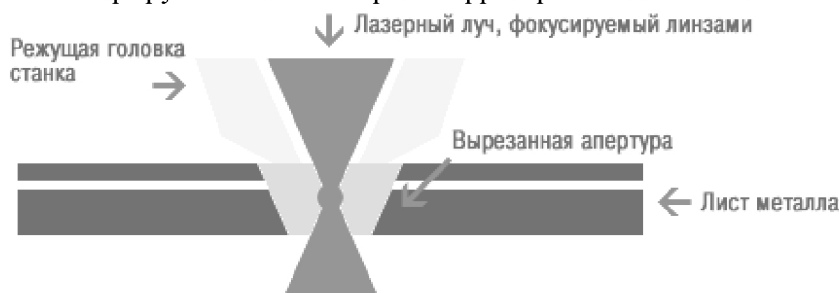


Рисунок 4.1.12 – Лазерное фрезерование металлического трафарета

Аналогичную форму апертур можно получить и химическим односторонним травлением, однако в этом случае угол будет почти неконтролируемым. Для существенного облегчения нанесения припойной пасты достаточен клин боковых стенок апертур в 2° . Способ лазерной резки позволяет вырезать апертуры шириной 0,004 мм с точностью 0,0005 мм, что делает этот способ перспективным при формировании апертур для компонентов с малым шагом.

Недостатком лазерного изготовления трафаретов является (как и в предыдущем случае) неровность кромок апертур трафарета. Это явление возникает из-за испарения и окаливания металла в процессе резки. Это может вызвать закупоривание отверстий трафарета припойной пастой. Сглаживание кромок можно осуществить микротравлением.

Еще одним недостатком такого метода является то, что лазерной резкой невозможно получить многоуровневые трафареты без предварительного химического травления областей, которые должны быть тоньше основного материала трафарета. Поскольку каждая апертура трафарета вырезается отдельно, стоимость изготовления трафарета таким способом зависит от сложности топологии печатной платы и обычно значительно выше, чем травление.

3. Аддитивный способ изготовления (метод гальванопластики).

Третий способ изготовления трафаретов заключается в гальваническом осаждении никеля на гибкую подложку – медную фольгу. На фольгу накатывается фоторезист, экспонируется и проявляется таким образом, чтобы проявленный рельеф повторял рисунок будущего трафарета (в месте расположения апертур трафарета фоторезист остается, в остальных удаляется при проявлении). Толщина используемой фольги 0,25 мм.

Затем на полученную подложку осуществляется химико-гальваническое осаждение никеля. После достижения требуемой толщины трафарета процесс осаждения заканчивается и производится смывка фоторезиста.

Ключевым этапом получения готового трафарета является отделение никелевого слоя от медной подложки. Этот процесс осуществляется изгибом меди, при котором никель начинает отслаиваться. Процесс гальванического осаждения, как и метод лазерного вырезания, исключает подтравливание стенок апертур, что предотвращает забивку пасты под поверхность. Следовательно, уменьшается вероятность образования замыканий на печатных платах. Однако такая почти вертикальная форма кромок апертур приводит к проблемам при снятии трафарета с платы, на которую нанесена припойная паста.

Таким образом, можно утверждать, что:

- ♦ Травление трафаретов приемлемо для узлов широкого потребления и продукции не ответственного назначения.
- ♦ Гальванопластика также применяется для узлов широкого потребления. Качество нанесения и точность нанесения обычно ниже, чем у химически выфрезерованных трафаретов (за счет вертикальности стенок).
- ♦ Лазерное вырезание трафаретов применимо для всех электронных блоков. По качеству и точности нанесения эти трафареты превосходят предыдущие два.

Система натяжения (монтажа) трафаретов.

Трафареты в оборудовании устанавливаются в специальные рамы, которые обеспечивают фиксацию положения (позиционирование) и натяжение трафарета. При этом возможны два варианта.

1. Многократно-используемая, трафаретная рама. Обеспечивает легкий монтаж – демонтаж трафарета.

Основные преимущества:

- ♦ Обеспечивает равномерное натяжение трафарета, что дает постоянство качества трафаретной печати паяльной пасты
- ♦ Снижается стоимость монтируемого изделия, так как не нужно тратить деньги на покупку отдельных рам для каждого трафарета
- ♦ Трафарет закрепляется прямо на раме, поэтому нет необходимости его монтажа на клей или металлическую сетку
- ♦ Быстрая окупаемость за счет удешевления стоимости трафаретов без рам
- ♦ Увеличенная область печати, по сравнению с трафаретами на металлической сетке
- ♦ За счет отсутствия рам для трафаретов уменьшается место, отводимое под хранение трафаретов
- ♦ Легкая очистка трафарета, так как нет компонентов рам, несовместимых с тем или иным растворителем, применяемым для очистки трафарета

Принцип действия заключается в следующем. Подсоединяемый к раме сжатый воздух постепенно заполняет шланг из эластичного материала внутри рамы, что приводит к одновременному перемещению четырех планок со штифтами по всем четырем сторонам трафарета и обеспечивает равномерное натяжение трафарета на крепежных штифтах. Когда достигается рабочее давление (примерно через 5 секунд), сжатый воздух отсоединяется. Обратный клапан на раме не дает воздуху выйти и позволяет использовать раму с натянутым на ней трафаретом в течение нескольких дней автономно от воздушной магистрали.

2. Трафареты на собственной раме, несмотря на столь внушительный перечень достоинств предыдущего типа, обладают своей привлекательностью, так как имеют более длительный ресурс работы, чем безрамные трафареты.

В основном они используются для крупносерийного монтажа электронных изделий, поскольку более долгое время сохраняют постоянство натяжения трафарета при эксплуатации.

Кроме того, поскольку трафарет имеет собственную раму, время на перенастройку оборудования под новый тип печати сокращается.

Виды брака возникающего при трафаретной печати

Основными видами брака при ручной трафаретной печати являются те, что возникают по вине оператора:

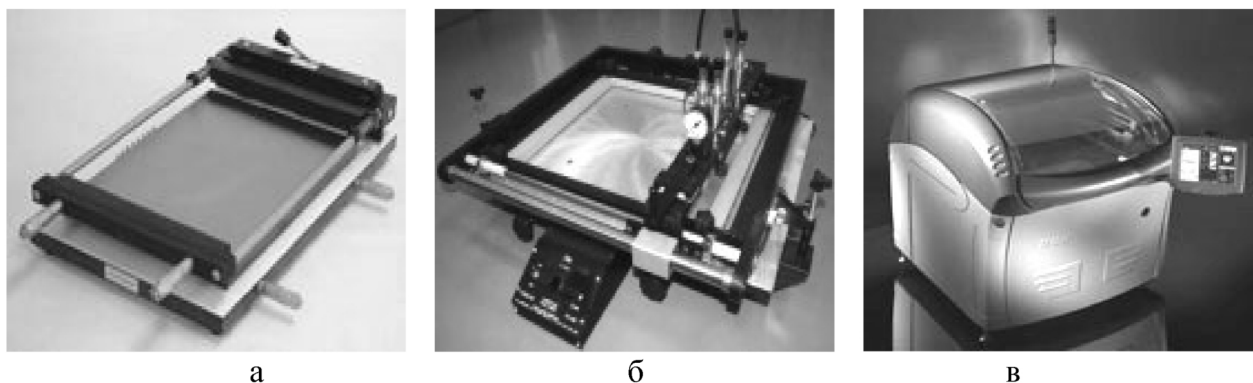
- ♦ Неравномерное нанесение пасты (вызвано неравномерной силой прижатия ракеля к трафарету);
- ♦ Смазывание пасты при отрыве трафарета от печатной платы;
- ♦ Неполное заполнение апертур трафарета из-за загрязнения кромки ракеля пастой или использования просроченной пасты.

При автоматической трафаретной печати брак чаще всего также возникает из-за погрешностей настройки оборудования по вине оператора таких как: неверный подбор зазора между ракелем и трафаретом; неправильно подобранная скорость движения ракеля; неправильно установленный угол между ракелем и платой и т.д.

Вне зависимости от варианта реализации, при трафаретном нанесении припойной пасты можно выделить пять основных видов дефектов:

- ♦ Дефект совмещения трафарета и монтажной платы. 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. Этот дефект может быть вызван неправильно подобранной вязкостью припойной пасты. Рекомендуемая просадка пасты не должна превышать 15% минимального размера контактной площадки.
- ♦ Неравномерность толщины нанесенной пасты. После нанесения пасты ее толщина должна колебаться в диапазоне $\pm 20\%$ от желаемой. Тонкий слой материала может быть недостаточным для пайки компонента, толстый может привести к образованию перемычек.
- ♦ Вычерпывание пасты из апертур трафарета. Дефект может быть вызван чрезмерной силой прижатия ракеля или слишком мягкой кромкой ракеля. В результате уменьшается количество пасты на контактных площадках. Уменьшение пасты при вычерпывании не должно превышать 20% от расчетной высоты пасты.
- ♦ Излишки пасты. Такой дефект может быть вызван 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%.

Приведем некоторые примеры прин- теров различного уровня для нанесения паяльной пасты через трафареты на рисунке 4.1.13 /7/.



а

б

в

Рисунок 4.1.13 – Устройства трафаретной печати:
а - SD-360U для ручного нанесения паяльной пасты;
б - ELITE E 5920/E6920 полуавтомат начального уровня;
в - EUROPA и GALAXY сверхпрецизионный автомат микронного класса.

4.2. Установка компонентов

Традиционные компоненты, монтируемые в отверстия, были наиболее узким местом в процессе установки их на печатную плату, поскольку практически полностью исключали возможность автоматизации процесса.

Внедрение технологии поверхностного монтажа приводит к существенному снижению себестоимости продукции, так как гораздо проще и быстрее автоматизировать процесс установки поверхностно монтируемых компонентов, чем монтаж традиционных компонентов.

Автоматизация процесса установки поверхностно монтируемых компонентов стала возможной, благодаря их корпусной структуре – СНР структуре и, следовательно, поэтому нет необходимости устанавливать компоненты в отверстия на печатной плате. Также следует отметить, что большинство автоматических машин для установки компонентов, могут устанавливать все типы SMD компонентов. В зависимости от производительности можно выделить два основных типа установщиков:

- ♦ Ручные.
- ♦ Автоматы и полуавтоматы;

Ручная установка

Ручная установка SMD-компонентов (рисунок 4.2.1) осуществляется вакуумными пинцетами.

Сегодня рынок оборудования предлагает огромный выбор инструментов и насадок для ручной установки компонентов. Тем не менее, небольшие размеры корпусов и малый шаг между выводами сильно затрудняют установку интегральных компонентов типа QFP и BGA. Чаще всего вакуумным пинцетом устанавливаются пассивные компоненты и ИС с шагом выводов не менее 0,65 мм.

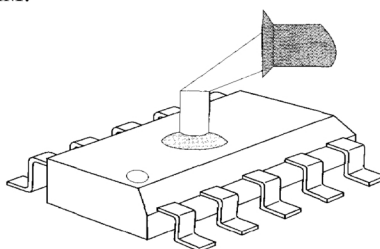


Рисунок 4.2.1 – Ручная установка.

Производительность ручной установки составляет порядка 300 компонентов в час.

Автоматическая и полуавтоматическая установка

Полуавтоматические системы принципиально отличаются от автоматов только одним – 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.

Дадим краткое описание различных систем, использующихся при автоматической и полуавтоматической установке элементов на печатную плату, наличие которых характерно для современного оборудования.

♦ Револьверные системы

Наиболее быстрыми типами установщиков являются системы револьверного типа. При этом высокая скорость установки компонентов берет верх над точностью установки и гибкостью переналадки. Такие машины обычно имеют неподвижную плату, перемещающиеся питатели и револьверную головку. Производительность может достигать 80 тыс. комп./ч. Данный тип оборудования ориентирован на компоненты, поставляемые в ленте, и используется для крупносерийных производств с малой номенклатурой.

♦ Портальные системы

Для данного типа установщиков характерно неподвижное расположение плат и питателей и перемещающаяся установочная головка. Производительность достигает 30 тыс. комп./ч, но при этом точность установки компонентов достигает 0,05 мм. В отличие от предыдущего типа, эти установщики работают с широким диапазоном типоразмеров компонентов. Использование таких систем целесообразно для участков с модульным принципом построения, используемых при создании широко номенклатурных производств, что актуально для России.

♦ Двойные блоки установочных головок

Традиционно в автоматах используется концепция сдвоенного блока установки: пока одна головка выполняет позиционирование и установку компонента на ПП, вторая осуществляет захват и центрирование компонента из питателя. Программное обеспечение системы управления оптимизирует этот процесс.

Некоторые автоматы содержат до 18 установочных головок. Их производительность достигает 96 тыс. комп./ч, однако такие системы не являются гибкими в переналадке.

♦ Видеосистемы автоматов

В револьверных системах обычно осуществляется контроль и центрирование компонента при каждом повороте головки. Для портальных систем характерно использование видеокамер высокого разрешения для каждой установочной головки. Для этого используются лазерные системы позиционирования или камеры нижнего просмотра. Типичные системы имеют станции центрирования: установочная головка подводит компонент к системе видео наблюдения, затем, после центрирования, осуществляется перемещение в зону установки. Некоторые автоматы позволяют осуществить «центрирование на лету», то есть во время перемещения головки от места захвата к месту установки осуществляется центрирование компонента благодаря подвижной системе контроля. Такой метод позволяет существенно увеличить производительность автоматов и точность установки благодаря исключению «лишних» холостых ходов и вибрационных коротких перемещений (захват – центрирование – установка).

♦ Интеллектуальные питатели

Назначение питателей автоматических установщиков заключается в подаче компонентов в зону захвата установочной головки. Питатели могут быть ленточными, пенальными, матричными или кассетными. Наиболее часто используются ленточные питатели.

Большинство порталных установщиков использует все возможные типы питателей. Они снабжены системой автораспознавания компонентов и возможностью подготовки питателей в режиме off-line, а установщик автоматически распознает питатели с загруженными компонентами. Таким образом, смена питателей занимает всего несколько минут. После установки комплекта питателей система управления автомата проверяет настройки. Оператор может удаленно (с помощью сетевого подключения) получить следующую информацию: какие компоненты используются в настоящий момент; штрих-код с номером партии; количественные данные, необходимые для планирования производственного процесса.

Ранее разъемы, силовые переключатели, колодки и т. д. устанавливались только вручную. Однако в современные автоматы поверхностного монтажа могут встраиваться специальные ленточные носители, матричные поддоны и захваты с системами видеоконтроля, позволяющие реализовать автоматическую установку элементов с несимметричными выводами на плату. При этом дооснащение автоматов не требует значительных инвестиций.

Для обеспечения функционирования полуавтоматических и автоматических установщиков производится разработка специализированного программного обеспечения (ПО). Наиважнейшим требованием к программному обеспечению управлением установщика является простота настройки автоматов и возможность создания рабочих программ в режиме off-line. Обычно данное ПО базируется на операционной системе Windows. В подавляющем большинстве для отработки технологического цикла установки компонентов на печатную плату основой служит электронная документация САПР, формируемая при разработке устройства. Некоторые компании добавляют дополнительные сервисные функции к ПО, например возможность программирования автоматов установки на следующую партию изделий во время обработки текущей. Это позволяет свести к минимуму время переналадки элементов линии и простоя оборудования.

Около 80% ошибок на этапе установки компонентов возникает при вводе новых данных в режиме on-line. Однако современные установщики могут быть интегрированы в сеть. В случае возникновения сбойной ситуации это позволяет переслать проблемные файлы в службу технической поддержки компании производителя оборудования и исключить время для выезда сервисного инженера. Кроме того, наиболее развитые автоматы позволяют в автоматическом режиме выполнять корректировку сбойных программ управления, исключая простой оборудования из-за незначительных ошибок. В случае если такая функция автопроверки и автокорректировки ПО установщика отсутствуют, процесс требует полной регенерации.

Точность установки компонентов в современных системах, как правило, зависит не от электронной системы управления, а от чисто механических причин.

Системам с большим количеством установочных головок традиционно присущи большие вибрации. Рабочий ход одной из головок может вызывать незначительные перемещения остальных. В то же время, вся система должна сохранять устойчивость в течение выполнения всего процесса установки, начиная с распознавания реперных знаков и заканчивая установкой таких компонентов как 0201 или fine-pitch. Чтобы предотвратить подобные смещения большинство автоматов имеет повышенную массу основания и подвижных элементов системы перемещения для исключения случайных смещений. В настоящее время разработаны облегченные конструкции автоматов порталного типа, работающих на больших скоростях захвата и установки компонентов. Конструкция машин такова, что уменьшается инерционность подвижных элементов, регулируется скорость перемещения в зависимости от положения на траектории движения головки, а соответственно и исключаются вибрационные удары, влияющие на точность установочных головок.

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 при этом часть уже

купленного оборудования не стала бы бесполезной). Решение этой проблемы может быть достигнуто путем использования модульных машин, снабженных дополнительными аксессуарами, встраиваемых в автоматические линии, и применением универсального ПО с технологией Plug-and-Play. Например, при дооснащении линии дополнительными установщиками важно, чтобы уже купленные питатели подходили к новому автомату, и ПО линии было совместимо с системой управления нового модуля. Можно начать оснащение производства с одного автоматического установщика и затем приобретать новые, устанавливая их параллельно/последовательно и увеличивая производительность. Гибкость ПО позволяет, раздвинув линию и установив новый модуль, сразу начать работу без какой-либо механической переналадки оборудования.

При установке компонентов в автоматическом режиме возможны различные разновидности брака. Наиболее часто встречающиеся виды брака с указанием причин и способов борьбы приведены в таблице 4.2.1.

Таблица 4.2.1 – Виды брака при установке компонентов.

Вид брака	Причина возникновения	Устранение
Разрушение компонента	Разрушение корпуса возможно при неточной регулировке высоты захвата и установки компонентов автоматическими и полуавтоматическими системами. При двустороннем монтаже брак может возникать из-за неаккуратного размещения 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	Дефект возникает из-за ошибки программирования авто установщиков компонентов либо из-за движения компонента на присоске во время перемещений установочной головки.	1. Исправление программы установщика 2. Снижение давления в откачной системе установщика.
Изгиб выводов компонентов	Причина дефекта заключается в неверной настройке высоты захвата / установки компонентов в автоустановщиках. Кроме того, возможно отсутствие центрирования присоски относительно корпуса компонента.	Регулировка оборудования.

4.3. Оплавление пасты и (или) полимеризация клея (пайка)

В принципе, полимеризация клея, играющего роль адгезива при установке деталей паяемых волной припоя, а также закрепляющего наиболее массивные компоненты при оплавлении припойной пасты инфракрасным (ИК) нагревом, в конвекционной печи или в парогазовой фазе (ПГФ) представляет собой процесс полимеризации данного клея под действием теплового или ультрафиолетового излучения. Параметры процесса полимеризации оговариваются в технических условиях на данный вид клея. Поэтому останавливаться на этом не имеет смысла. Для данной цели вполне подходит как стандартное оборудование, используемое при оплавлении припойных паст так и любая конвейерная или камерная печь с регулируемым температурным профилем.

Рассмотрим более подробно способы пайки, используемые в технологии поверхностного монтажа. По принципу исполнения их можно разделить на несколько групп:

- ♦ Контактная пайка. Теплопередача производится при непосредственном контакте нагретого до нужной температуры инструмента (паяльника) с припоем и деталью.
- ♦ Пайка горячим воздухом (конвекционная). Теплопередача к детали и оплавляемой припойной пасте производится через перенос тепла нагретой газовой средой.

- ♦ Инфракрасная пайка. Теплопередача к детали и оплавляемой припойной пасте производится микроволновым излучением в тепловом диапазоне.
- ♦ Пайка в парогазовой фазе. Теплопередача к детали и оплавляемой припойной пасте производится парами инертной рабочей жидкости.
- ♦ Пайка волной припоя. Производится путем погружения, предварительно установленной на плату с нанесенным флюсом, детали в динамическую волну припоя.
- ♦ Лазерная пайка. Нагрев припойной пасты производится лучом лазера.

Контактная пайка

Используется для паяльно-ремонтных работ, не требующих высокой производительности и работы с компонентами очень малых размеров. Паяльные станции, работающие по этому принципу, отличаются компактностью, простотой и дешевизной по сравнению с конвекционными или инфракрасными станциями. Если контактная паяльная станция обеспечивает высокую термостабильность, её наиболее эффективным применением является техника групповой пайки жалом «микроволна». Это существенно увеличивает производительность и экономичность пайки по сравнению с использованием обычного паяльника, с помощью которого возможна пайка только одной точки на плате.

С помощью антистатического манипулятора микросхему устанавливают на предварительно очищенные и залуженные контактные площадки. Для фиксации микросхемы можно припаять игольчатым жалом два диагонально противоположных ее вывода. Затем всю линейку выводов микросхемы покрывают жидким флюсом (к примеру, IF8001 в аппликаторе BonPen) или крем-флюсом (FMKANC-32 или Radiel), не требующим отмывки (рисунок 4.3.1). Крем-флюс дороже, но удобнее в том плане, что совершенно не стекает с выводов микросхемы до момента его активации в ходе пайки /4/.

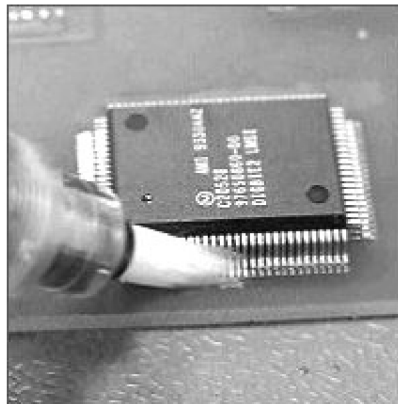


Рисунок 4.3.1 – Нанесение крем - флюса перед пайкой жалом «микроволна»

Паяльные жала «микроволна» различаются формой рабочей части и способом крепления на паяльнике. Нагрев жала производится в непосредственной близости от рабочей точки малоинерционным керамическим элементом, вводимым в полость жала, а контроль температуры определяется технологией (SENSOTRONIC или RESISTRONIC). Изюминкой любого жала «микроволна» является углубление в рабочей части, обеспечивающее необходимую силу поверхностного натяжения для находящей в ней капли припоя. В ходе пайки каждый вывод микросхемы заберет из этой капли ровно столько припоя, сколько потребуется для его полного смачивания с образованием идеальных галтелей.

Углубление на конце жала заполняют припоем с небольшим избытком. Можно использовать оловянно-свинцовый или серебрясодержащий прутковые припои различного диаметра. Нет необходимости в дорогостоящей мелкозернистой паяльной пасте.

Жало «микроволна» должно перемещаться вдоль линейки паяемых выводов с таким расчетом, чтобы на каждый вывод приходилось около микросекунды. Перемещение производится без нажима перпендикулярно выводам микросхемы, как это показано на рисунке 4.3.2.

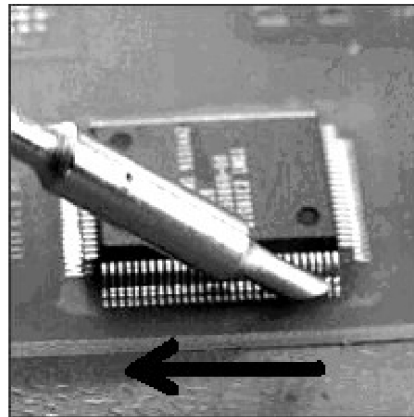


Рисунок 4.3.2 – Пайка микросхемы «микроволной»

Оптимальная температура пайки при использовании различных видов припоя и модификаций жала «микроволна» лежит в диапазоне от 250°C до 300°C. Чем меньше шаг выводов микросхемы, тем меньший диаметр жала удобен для работы. На рисунке 4.3.3 представлены модификации жала используемых контактными паяльными станциями ERSA.



Рисунок 4.3.3 – различные модификации жала контактных паяльных станций, предоставляемых фирмой ERSA.

Примечательны жала «микроволна» ножевидной конструкции с продольным пазом для припоя: они разработаны специально для пайки «микроволной» корпусов типа PLCC. Рабочую грань ножевидного жала с углублением, умеренно наполненным припоем, перемещают аналогично, без сильного прижима к боковой грани PLCC, продольно по линейке выводов. Паяльные жала конструкции «микроволна» с большим диаметром очень удобно использовать для равномерного облуживания контактных площадок на плате, например, после демонтажа микросхемы при подготовке контактных площадок под пайку новой микросхемы. Равномерность облуживания достигается за счет того, что в углубление жала «микроволна» втягиваются те излишки припоя, которые не удерживаются на контактной площадке силами поверхностного натяжения. Еще одно применение тонких жал типа «микроволна» - это удаление капельных перемычек между выводами микросхемы или тонкими проводниками на плате. К предварительно флюсованному месту перемычки прислоняют жало «микроволна» (с очищенным углублением) и, коротким движением от корпуса вдоль вывода, снимают каплю припоя, втягиваемую в углубление рабочей части жала силами поверхностного натяжения.

Достоинства метода контактной пайки:

- ♦ высокое качество пайки;
- ♦ простота использования;

- ♦ невысокая цена (цена паяльной станции Ersa Digital2000A вместе с жалом "микроволна" составляет около 300 евро) /4/;
- ♦ возможность пайки микросхем с шагом 0.5 мм;
- ♦ пайка ведется с использованием недорогих припоев;
- ♦ высокая стабильность результатов.

Недостатки метода контактной пайки:

- ♦ отсутствие возможности автоматизации процесса;
- ♦ небольшая серийность производства.

Пайка горячим воздухом (конвекционная)

Пайка с помощью горячего воздуха ведется термофеном (рисунок 4.3.4).



Рисунок 4.3.4 – Термофен для пайки горячим воздухом

Он похож на обычный паяльник, но вместо традиционного жала имеет полый накопчик (рисунок 4.3.5), через который к месту пайки подается горячий воздух.

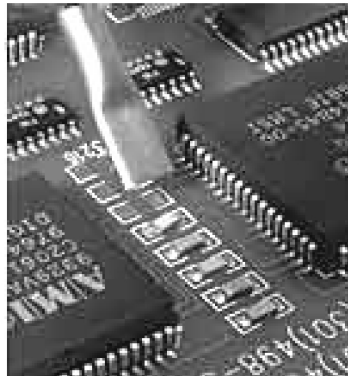


Рисунок 4.3.5 – Полое жало для пайки SMD –компонентов.

Для подачи воздуха (азота) к нагревательному элементу, термофен оборудован компрессором. Пайка осуществляется с применением паяльной пасты, которая представляет собой флюс с шариками припоя диаметром 40 - 60 мкм. При пайке горячим воздухом возникает несколько проблем. Главная проблема - это качественное дозирование пасты. Лучше всего это делать с помощью специального дозатора. Если пасты будет мало - пайка будет плохой, произойдет образование ненасыщенной галтели или вообще образуется не-пропай (когда припой растечется между выводом и контактной площадкой, не образуя электрического контакта). Если много, то возможно затекание припоя между ножками компонента, особенно микросхем с малым шагом выводов. Способы скорректировать количество уже нанесенной пасты - нет, поэтому очень важно осуществить этот этап с максимальным качеством. Наилучший вариант - покрытие пастой печатной платы промышленным способом.

Для качественной пайки термофеном плату нужно прогревать на специальном столике. Фирменный столик будет стоить от 440 долларов и выше. Паять термофеном можно тонким соплом (2 - 3 мм) - вести его вдоль ножек, как обычный паяльник. Но качество пайки так будет недостаточно высоким. Лучше всего под каждую микросхему иметь свою насадку (рисунок 4.3.6), чтобы прогревать все ножки.



4.3.6 – Варианты насадок для различных типов микросхем

Существуют так же и насадки для BGA корпусов (рисунок 4.3.7). Этой же насадкой можно и выпаивать микросхему.

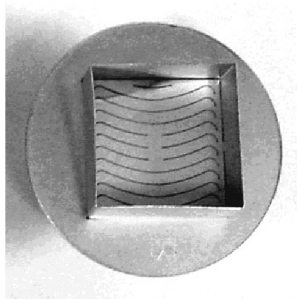


Рисунок 4.3.7 – Насадка для пайки микросхем в BGA корпусе (вид снизу)

Паяльная паста в несколько раз дороже припоя. Кроме того, готовая паста, из-за постепенного оседания шариков припоя, может храниться менее 6 месяцев. Поэтому, для экспериментального сборочного производства выгоднее приобретать контактные паяльные станции, описанные ранее.

Объединение термовоздушной системы, инфракрасного подогревателя с электронным контроллером и штатива с держателем платы представляет собой законченный вариант конфигурации оборудования для монтажа и демонтажа BGA корпусов (рисунок 4.3.8).

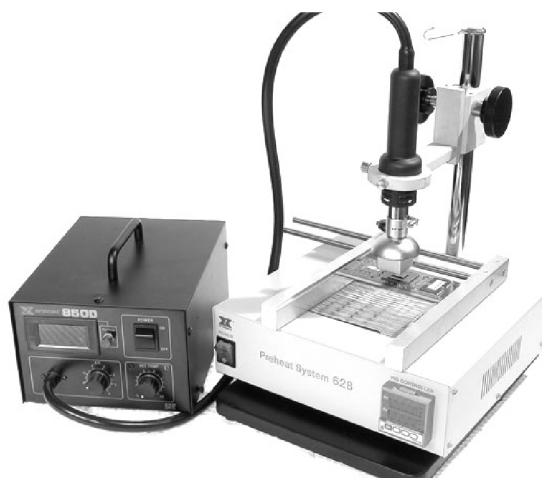


Рисунок 4.3.8 – Вариант объединенной системы для монтажа BGA микросхем /4/

Приведем пример функций, которые характерны для данной системы:

- ♦ Контроль реальной температуры на выходе нагревательного элемента с цифровой индикацией.

- ♦ Точная установка температуры и большой срок эксплуатации нагревательного элемента.
- ♦ Непрерывный контроль скорости воздушного потока.
- ♦ Стабилизация температуры во время работы.
- ♦ Защита нагревательного элемента в автоматическом режиме охлаждения.
- ♦ Широкий ассортимент насадок для монтажа и демонтажа микросхем с планарными выводами и BGA.

Достоинства метода пайки горячим воздухом:

- ♦ высокое качество пайки;
- ♦ возможность пайки микросхем с шагом 0.5 мм;
- ♦ возможность применения для демонтажа элементов;
- ♦ невысокая цена оборудования.

Недостатки метода пайки горячим воздухом:

- ♦ необходимость применения дорогостоящих паяльных паст;
- ♦ требует применения дозаторов, для нанесения пасты.

Инфракрасная пайка

Основным механизмом передачи тепла, используемым в установках пайки с ИК - нагревом, является излучение. Передача тепла излучением имеет большое преимущество перед теплопередачей за счет теплопроводности и конвекции в описанных ранее методах, так как это единственный из механизмов теплопередачи, обеспечивающий передачу тепловой энергии по всему объему монтируемого устройства. Остальные механизмы теплопередачи обеспечивают передачу тепловой энергии только поверхности монтируемого изделия. В отличие от пайки в парогазовой фазе, в процессе пайки с ИК-излучением скорость нагрева регулируется изменением мощности каждого излучателя и, в случае конвейерной автоматической системы, скорости движения транспортера с коммутационными платами. Поэтому термические напряжения в компонентах и платах могут быть снижены посредством постепенного нагрева микросборок. Основным недостатком пайки с ИК - нагревом является то, что количество энергии излучения, поглощаемой компонентами и платами, зависит от поглощающей способности материалов, из которых они изготовлены. Поэтому нагрев осуществляется неравномерно в пределах монтируемого устройства. Пайка кристаллоносителей без выводов или с J-образными выводами может оказаться невозможной в установках с ИК-нагревом, если компонент непрозрачен для ИК-излучения.

В некоторых установках для пайки с ИК - нагревом вместо ламп ИК-излучения применяются панельные излучающие системы. В этом случае излучение имеет большую длину волны, чем излучение традиционных источников. Излучение такой излучающей системы не нагревает непосредственно микросборку, а поглощается технологической средой, которая в свою очередь передает тепло микросборке за счет конвекции. Этот способ пайки устраняет ряд недостатков, присущих традиционной пайке с ИК - нагревом, таких, как неравномерный прогрев отдельных частей микросборки и невозможность пайки компонентов в корпусах, непрозрачных для ИК-излучения. Панельные излучатели имеют ограниченный срок службы и обеспечивают намного меньшую скорость нагрева, чем традиционные источники ИК-излучения.

Для малосерийного и опытного производства наиболее приемлемыми устройствами, использующими принцип инфракрасной пайки, являются так называемые инфракрасные паяльные станции.

Пайка инфракрасными станциями, также как и пайка, горячим воздухом, неразрывно связана с необходимостью применения паяльной пасты. Но зато с помощью ИК-станции можно вполне уверенно вести монтаж и демонтаж корпусов BGA, не говоря уже о демонтаже вообще любых корпусов (в отличие от воздушной станции - без насадок).

Принципиальное значение имеет равномерность подачи тепла по всей площади микросхемы, особенно BGA. Когда речь идет о пайке отдельно взятого компонента на плате,

при использовании горячего воздуха неизбежны турбулентные потоки (рисунок 4.3.9) вокруг выводов корпуса и вдоль стенок сопла инструмента, что вызывает неравномерный нагрев по площади BGA.

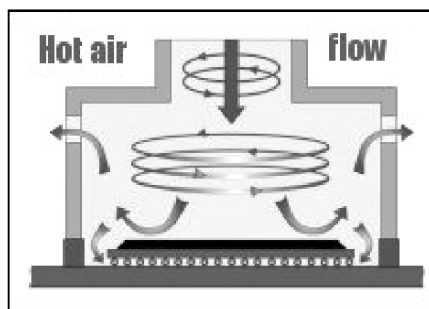


Рисунок 4.3.9 – Турбулентные потоки в насадке для пайки микросхем в корпусах BGA.

Расположенные под центром корпуса сферические выводы не прогреваются достаточно хорошо. Даже когда паяльные станции высшего класса оснащаются специально разработанными для BGA насадками, позволяющими нагретому воздуху проникать под корпус, их использование приводит к перегреву выводов у краев корпуса. Этот эффект неизбежен так как температура потока нагретого газа всегда выше ближе к соплу, являющемуся источником газа. В отличие от систем, работающих с горячим воздухом, специальные инфракрасные нагреватели позволяют достичь равномерного прогрева по всей поверхности BGA (рисунок 4.3.10).

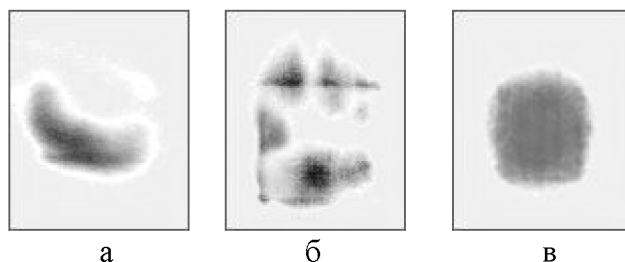


Рисунок 4.3.10 – Термограммы, полученные от сопел конвекционных паяльных станций (а, б) и от паяльной станции с ИК-излучением (в)

Известно, что при использовании видимого ИК-излучения имеет место неравномерность нагрева поверхностей из-за разницы в степени поглощения и отражения энергии объектами разного цвета, например, черных корпусов микросхем и блестящих выводов. Вследствие этого может возникнуть перегрев корпуса или платы до того, как выводы компонента будут надежно припаяны. Поэтому в настоящее время начинают активно применять так называемые “темные” ИК излучатели, специально разработанные для пайки печатных плат. Они излучают в диапазоне волн 2 - 8 мкм, оптимальном по соотношению поглощения/отражения тепла темными и светлыми объектами. Корпус компонента, печатная плата и выводы прогреваются более равномерно, что снижает риск их термошока при пайке или выпаивании.

В отличие от конвекционных ремонтных систем, которые нуждаются в многообразии профильных сопел для различных компонентов, использование ИК нагревателей позволяет значительно снизить затраты. Верхний ИК нагреватель оснащается системой, ограничивающей апертуру нагретой зоны и, следовательно, не требующей насадок для создания геометрически заданного термопятна. Компоненты с линейными размерами от 10 до 50 мм могут быть легко выпаяны или впаяны без перегрева близлежащих зон и компонентов на плате.

В ИК-станциях верхний нагреватель имеет по центру встроенный вакуумный манипулятор, который позволяет поднимать нагретый и выпаянный компонент с платы.

Примером такой станции может служить одна из самых современных разработок компании Ersa. На рисунке 4.3.11 – представлена инфракрасная паяльная станция Ersa IR550A plus /4/.

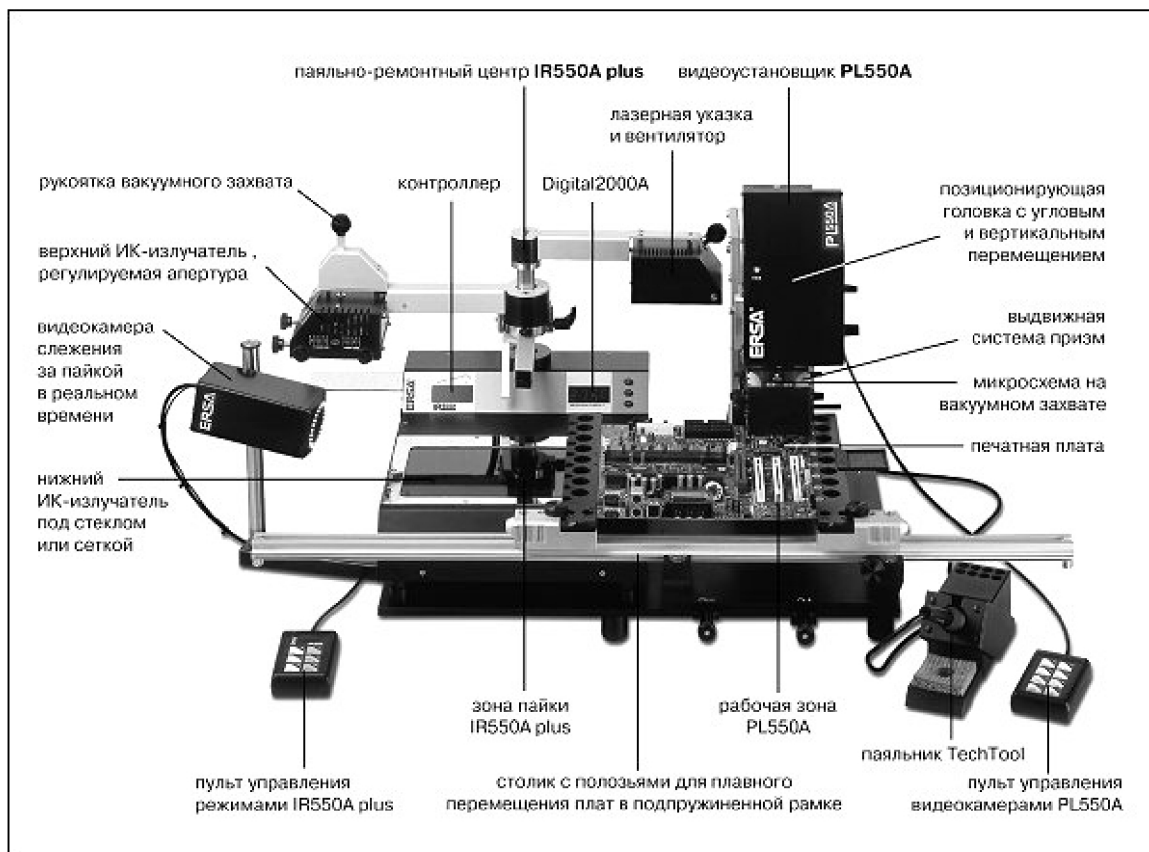


Рисунок 4.3.11 - Инфракрасная паяльная станция Ersa IR550A plus.

Достоинства метода пайки инфракрасными станциями:

- ♦ обеспечивает высокое качество пайки;
- ♦ возможность пайки микросхем с шагом 0.5 мм и BGA элементов;
- ♦ возможность применения для демонтажа элементов без повреждения;
- ♦ высокая равномерность нагрева в отличие от конвекционной пайки;
- ♦ стабильность технологии.

Недостатки метода пайки инфракрасными станциями:

- ♦ необходимость применения дорогих паяльных паст;
- ♦ требует применения дозаторов или шаблонов, для нанесения пасты;
- ♦ высокая стоимость оборудования (стоимость инфракрасной станции Ersa IR550A plus составляет 8795 EUR /4/).

Пайка в парогазовой фазе.

Процесс пайки в ПГФ, как и любой другой процесс пайки, оплавлением припойной пасты, начинается с ее нанесения одним из способов, описанных выше, на контактные площадки коммутационной платы /9/. Затем на поверхность платы устанавливаются компоненты. В ряде случаев припойную пасту просушивают после нанесения, с целью удаления из ее состава летучих ингредиентов или предотвращения смещения компонентов непосредственно перед пайкой. Затем производится нагрев платы для расплавления припойной пасты и образования паяного соединения.

Метод пайки в парогазовой фазе отличается тем, что нагрев производится в парах специальной жидкости, которые конденсируются на коммутационной плате, отдавая скрытую теплоту парообразования открытым участкам микросборки. При этом образуется галтель припоя между выводом компонента и контактной площадкой платы. Когда температура платы достигает температуры жидкости, процесс конденсации прекращается, тем самым заканчивается и нагрев пасты. Повышение температуры платы, от ее начальной

температуры (например, окружающей среды перед пайкой) до температуры расплавления припоя, осуществляется очень быстро и не поддается регулированию. Поэтому необходим предварительный подогрев платы с компонентами для уменьшения термических напряжений в компонентах и местах их контактов с платой. Температура расплавления припоя также не регулируется и равна температуре кипения используемой при пайке жидкости. Такими жидкостями служат инертные фторорганические соединения, получаемые путем замещения атомов водорода фтором, например жидкости серий: Fluoinert (фирма 3М, США); Multifluor (фирма Air Product, США); Galden (фирма Ausimot, США); Hostinert (фирма Hoechst, Германия); и др.

При выборе жидкости для конденсационной пайки необходимо провести достаточно тщательное исследование, касающееся ее температурной стабильности, склонности к образованию побочных токсичных продуктов, потерь при пайке, стоимости, причем рассмотреть эти факторы с учетом конкретного технологического процесса и технологического оборудования.

При выборе жидкости следует учитывать, что в последние годы, в связи с быстрым развитием ТМП, значительно улучшены как характеристики жидкостей, так и используемого для пайки в паровой фазе оборудования, в частности, снижены потери жидкости, приняты меры против их разложения, введен контроль наличия токсичных соединений.

Анализ физико-химических свойств фторорганических жидкостей показывает, что они незначительно отличаются друг от друга. Все параметры следует рассматривать в комплексе. Отдельные параметры можно использовать как исходную точку для изучения жидкости. Подобрать соответствующую жидкость, удовлетворяющую комплексу требований конденсационной пайки, возможно только экспериментальным путем.

Определяющим параметром при выборе жидкости, очевидно, является температура ее кипения, которая должна на несколько десятков градусов превышать температуру плавления припоя.

Молекулярная масса жидкости позволяет оценить способность ее паров к диффузии. Если потери жидкости имеют существенное значение, то возможен подбор жидкости по этому параметру. Пар с большей плотностью труднее покидает рабочую зону.

Такие параметры, как кинематическая вязкость и поверхностное натяжение характеризуют скорость испарения жидкости с платы. При малой скорости испарения, т.е. при большой вязкости и поверхностном натяжении, возрастают потери жидкости.

Три тепловых параметра жидкостей – теплота парообразования, удельная теплоемкость и теплопроводность характеризуют ее способность переносить тепловую энергию к изделию, подлежащему пайке. Различие в этих характеристиках для разных жидкостей невелико и их отклонение не оказывает существенного влияния на процесс пайки. Возможно, некоторое снижение времени пайки при использовании жидкости с высоким значением теплоты парообразования в установках при пайке массивных изделий.

Неоднозначность выбора жидкости можно проиллюстрировать таким примером. Известно, что жидкость типа FC-70 при перегреве разлагается с выделением токсичного соединения - перфторизо-бутилена. Было решено исследовать жидкость LS/125, которая не имеет этого недостатка. Однако обнаружилось, что эта жидкость обладает значительно большими потерями, поэтому решено было оставить FC-70, доработав систему вентиляции, что оказалось экономически более выгодным.

Существуют различные типы установок для пайки в парогазовой фазе:

- ♦ С применением одной либо двух рабочих жидкостей;
- ♦ Периодического и непрерывного действия.

В первых установках для пайки в ПГФ применялись две рабочих жидкости, при этом использовались обычно несколько установок пайки в составе производственной линии.

Для предотвращения утечки паров дорогой рабочей жидкости и попадания паров припоя в атмосферу поверх основной технологической среды создавалась дополнительная технологическая среда более дешевого фреона. Основным недостатком этих установок состоял в том, что на границе двух технологических сред происходило образование различ-

ных кислот. Поэтому требовалась дополнительная защита коммутационных плат, которая предотвращала химическую и электрохимическую коррозию проводников. Кроме того, рабочая часть контейнера установки пайки в ПГФ изготавливается из коррозионно-устойчивого материала, что отражается на стоимости такого оборудования.

Эти установки мало пригодны для сборки печатных плат, поэтому стали выпускаться установки, позволяющие реализовать систему с одной технологической средой.

Их, в свою очередь, делят на установки периодического и непрерывного действия. Установки периодического действия применяют при мелкосерийном производстве, в виду их малой производительности. Технологическая схема такой установки приведена на рисунке 4.3.12.

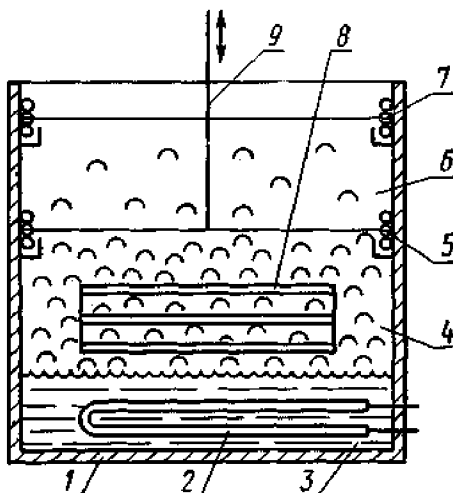


Рисунок 4.3.12 – Схема установки пайки в ПГФ периодического действия

Установка состоит из корпуса 1, в нижней части которого расположен нагреватель 2, залитый жидкостью теплоносителем 3, при кипении которой образуется насыщенный пар 4, который удерживается над поверхностью жидкости вследствие высокой, в 10 – 20 раз больше воздуха, плотности, а также за счет применения охлаждающего контура 5. Над первичным, рабочим паром 4 размещают вторичный пар 6, который способствует снижению потерь первичного газа при выгрузке изделий из установки, а также вследствие естественной конвекции. Вторичный пар удерживают в зоне с помощью второго охлаждающего контура 7. Загрузку и выгрузку изделий 8 в установку производят при помощи подъемного устройства 9.

Кассету с приготовленными к пайке платами помещают в рабочую зону с первичным паром, выдерживают до расплавления припоя (60 – 120 с), извлекают из установки и охлаждают.

В установках непрерывного действия предусмотрена транспортная система печатных плат. Печатные платы с нанесенной пастой и установленными компонентами помещаются на транспортер, который через шлюзы, представляющие собой контура охлаждения попадают в зону нагретого пара. Скорость движения транспортера определяет время нахождения печатной платы в парах рабочей жидкости. Производительность таких систем сравнима с производительностью установок пайки волной припоя и вполне удовлетворяет условиям массового производства. В настоящее время разработаны эффективные системы конденсации паров рабочих жидкостей, предотвращающих их утечку в атмосферу. В установках также предусматриваются системы рециркуляции жидкости и их очистки без остановки работы. Для предотвращения перегрева рабочей жидкости в зоне контакта с нагревателем и ее разложения вследствие этого, предусматривается использование промежуточного теплоносителя между нагревательным элементом и рабочей жидкостью. Технологическая схема такой установки приведена на рисунке 4.3.13.

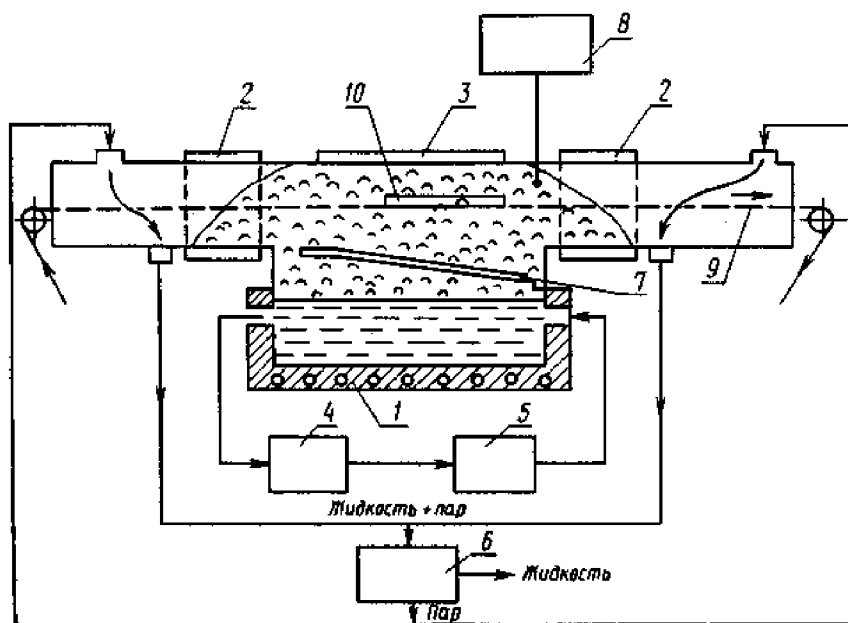


Рисунок 4.3.13 – Схема установки непрерывного действия

Установка состоит из нагревателя 1, контуров охлаждения на входе и выходе транспортной линии 2, окна для наблюдателя за процессом оплавления 3, фильтра для очистки рабочей жидкости 4, насоса 5, сепаратора 6, сборника флюса 7, системы индикаторов (температуры, уровня пара, счетчика изделий) 8, ленты конвейера 9. Под номером 10 показана печатная плата.

В качестве примера современного оборудования можно привести печь пайки в парогазовой фазе WAM 3000 (рисунок 4.3.14) /7/. Она относится к системам периодического действия и идеально подходит для опытного и мелкосерийного производства.



Рисунок 4.3.14 – Установка WAM 3000 (фирма Cooper Tools)

Ее габариты всего 490×615×950, масса 80 кг, максимальные размеры сборок 300×300×50, температуры до 240 °С, мощность 2 кВт.

Достоинства метода пайки в парогазовой фазе:

- ♦ обеспечивает достаточно высокое качество пайки;
- ♦ высокая равномерность нагрева, за счет использования теплоносителя;
- ♦ высокая производительность (особенно для установок непрерывного действия);
- ♦ стабильность технологии.

Недостатки метода пайки в парогазовой фазе:

- ♦ ограниченная возможность пайки сложных современных кристаллоносителей;
- ♦ необходимость использования дорогостоящей жидкости теплоносителя;
- ♦ достаточно сильный термоудар при погружении платы в пары рабочей жидкости;
- ♦ опасность образования ядовитых паров при перегреве рабочей жидкости вследствие разложения.

Пайка волной припоя

Пайка волной припоя в настоящее время достаточно хорошо освоена и за рубежом и у нас в стране /9/. Она применяется в основном для пайки компонентов в отверстиях плат (традиционная технология), хотя с ее помощью можно производить пайку поверхностно монтируемых компонентов с несложной конструкцией корпусов, устанавливаемых на одной из сторон коммутационной платы.

Процесс пайки прост (рисунок 4.3.15). Платы, установленные на транспортере, подвергаются предварительному нагреву, исключаяющему тепловой удар на этапе пайки. Затем плата проходит распылитель флюса и над волной припоя.

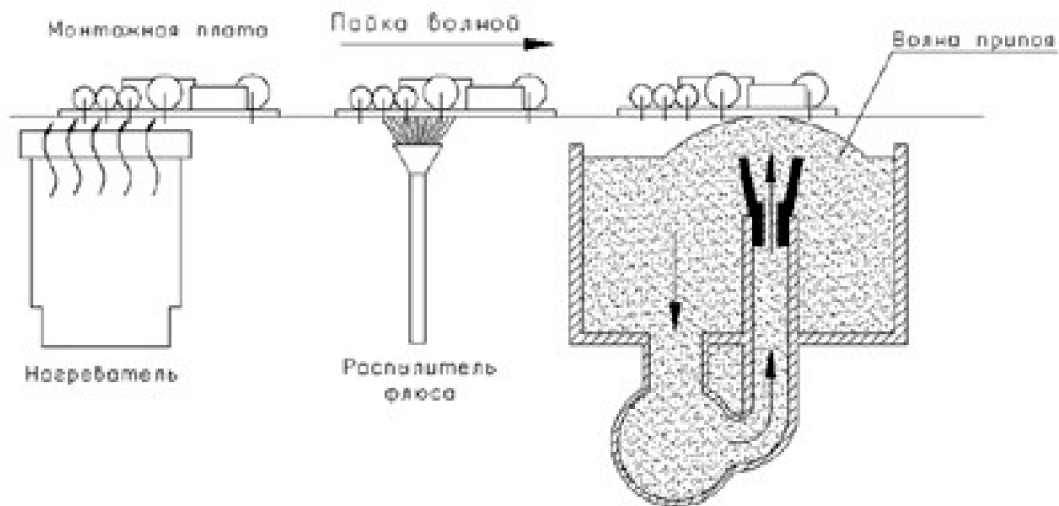


Рисунок 4.3.15 – Схема пайки волной припоя по традиционной технологии

Сама волна, ее форма и динамические характеристики являются наиболее важными параметрами оборудования для пайки. С помощью сопла можно менять форму волны; в прежних конструкциях установок для пайки применялись симметричные волны. В настоящее время каждый производитель использует свою собственную форму волны (в виде греческой буквы «омега», Z-образную, T-образную и др.). Направление и скорость движения потока припоя, достигающего платы, также могут варьироваться, но они должны быть одинаковы по всей ширине волны. Угол наклона транспортера для плат тоже регулируется. Некоторые установки для пайки оборудуются дешунтирующим воздушным ножом (рисунок 4.3.16), который обеспечивает уменьшение количества перемычек припоя.

Нож располагается сразу же за участком прохождения волны припоя и включается в работу, когда припой находится еще в расплавленном состоянии на коммутационной плате. Узкий поток нагретого воздуха, движущийся с высокой скоростью, уносит с собой излишки припоя, тем самым, разрушая перемычки и способствуя удалению остатков припоя.

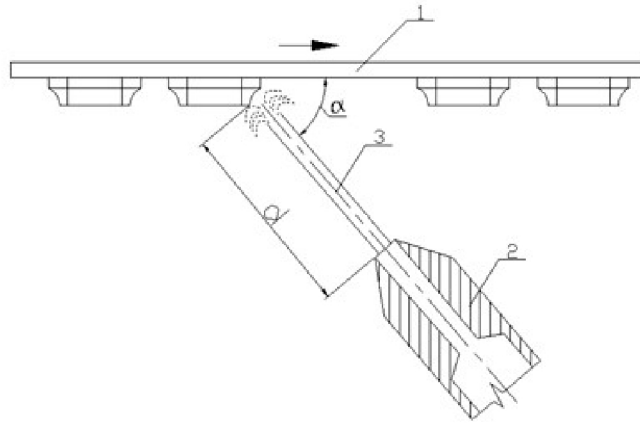


Рисунок 4.3.16 – Схема использования дешунтирующего воздушного ножа
1 – печатная плата; 2 – сопло; 3 – струя горячего воздуха; d – расстояние от сопла до платы; α – угол взаимодействия воздушной струи с платой

Когда впервые появились коммутационные платы, с обратной стороны которых компоненты устанавливались на поверхность, их пайка производилась волной припоя. При этом возникло множество проблем, связанных как конструкцией плат, так и с особенностями процесса пайки: непропаи и отсутствие галтелей припоя из-за эффекта затенения выводов компонента другими компонентами, преграждающими доступ волны припоя к соответствующим контактным площадкам, а также наличие полостей с захваченными газообразными продуктами разложения флюса, мешающих дозировке припоя.

Совершенствование конструкции платы оказалось недостаточным для достижения высокого уровня годных при традиционных способах изготовления изделий с простыми компонентами, монтируемыми на поверхность обратной стороны плат. Потребовалось изменить технологический процесс пайки волной, внедрив вторую волну припоя. Первая волна делается турбулентной и узкой, она исходит из сопла под большим давлением (рисунок 4.3.17).

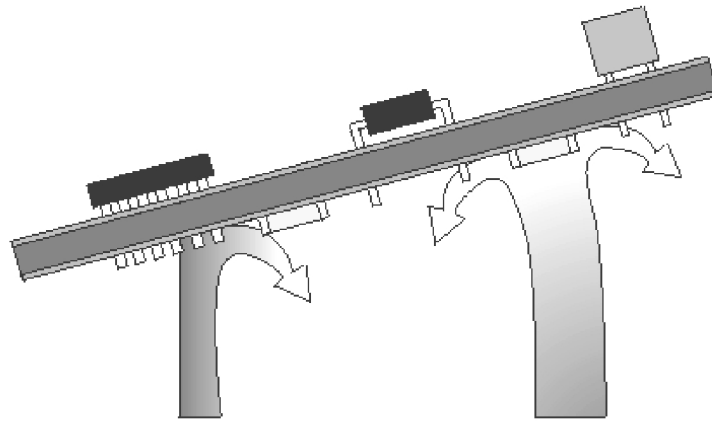


Рисунок 4.3.17 – Пайка двойной волной припоя

Турбулентность и высокое давление потока припоя исключает формирование полостей с газообразными продуктами разложения флюса. Однако турбулентная волна все же образует перемычки припоя, которые разрушаются второй, более полой ламинарной волной с малой скоростью истечения. Вторая волна обладает очищающей способностью и устраняет перемычки припоя, а также завершает формирование галтелей. Для обеспечения эффективности пайки все параметры каждой волны должны быть регулируемы. Поэтому установки для пайки двойной волной должны иметь отдельные насосы, сопла, а также блоки управления для каждой волны. Пайка двойной волной припоя применяется в настоящее время для одного типа коммутационных плат: с традиционными компонентами на лицевой стороне и монтируемыми на поверхность простыми компонентами (чипами и транзисторами) на обратной.

Некоторые SMD компоненты (даже пассивные) могут быть повреждены при погружении в припой во время пайки. Поэтому важно учитывать их термостойкость. Если пайка двойной волной применяется для монтажа плат с установленными на их поверхности компонентами сложной структуры, необходимы некоторые предосторожности:

- ♦ применять поверхностно монтируемые микросхемы, не чувствительные к тепловому воздействию;
- ♦ снизить скорость транспортера;
- ♦ проектировать коммутационную плату таким образом, чтобы исключить эффект затенения.

Хорошо разнесенные, не загораживающие друг друга компоненты способствуют попаданию припоя на каждый требуемый участок платы, но при этом снижается плотность монтажа. При высокой плотности монтажа с помощью данного метода практически невозможно пропаять поверхностно монтируемые компоненты с четырехсторонней разводкой выводов (например, кристаллоносители с выводами). Чтобы уменьшить эффект затенения, прямоугольные чипы следует размещать перпендикулярно направлению движения волны. Трудно паять двойной волной припоя транзистор в корпусе SOT-89, поскольку он имеет довольно массивный центральный вывод, что затрудняет его равномерное смачивание припоем (и растекание припоя) по всей поверхности.

Поскольку припой, находящийся в расплавленном состоянии, постоянно контактирует с воздухом и, следовательно, с кислородом, а поверхность контакта велика, то не лишним будет применение защиты химически неактивными газами. Они нашли широкое применение при пайке волной припоя. Особую актуальность этому придает переход к использованию бессвинцовых припоев. Азот является единственным неактивным газом, который обладает главным преимуществом по сравнению с инертными газами – дешевизной. Являясь инертным, азот имеет относительно низкую химическую активность. По этой причине он используется для удаления воздуха или кислорода из зоны пайки.

Таким образом, исключается окисление, как паяемых компонентов, так и припоя. При этом паяемые поверхности получаются очень чистыми, так как исключена возможность распада испаренных компонентов флюса и активаторов. При пайке волной припоя газообразный азот вводится в зону пайки специальным соплом и постоянно в ней циркулирует.

Впервые технология пайки в среде защитного газа была применена в конце 70-х годов XX века компанией Siemens. Кожух установки пайки представлял собой шлюзовую систему и полностью изолировал паяльную камеру от окружающей атмосферы. Но такая система обладала значительными недостатками: высокая стоимость и низкая производительность, так как требовалось значительное время на загрузку, откачку и разгрузку. Кроме того, так как камера постоянно откачивалась, и осуществлялся постоянный напуск защитного газа, расход последнего обуславливал огромные экономические затраты.

Вскоре появилась система Nitrogenius, которая обеспечивала полное удаление кислорода из зоны пайки без необходимости вакуумирования системы и минимальный расход защитного газа.

Система представляла собой паяльную камеру в форме туннеля с керамическими или стеклянными крышками. Таким образом, зона пайки освобождалась от кислорода с минимальными затратами. Напустив защитный газ через специальное сопло, вы можете использовать разницу в весе защитного газа и кислорода для удаления последнего из зоны пайки.

Рассмотрим рекомендации по выбору параметров и режимов при пайке волной припоя. Угол наклона конвейера в установках пайки волной припоя может регулироваться в пределах 5 - 9°, оптимальный угол наклона, обеспечивающий стекание избытка припоя и препятствующий образованию перемычек и сосулек припоя, составляет 7°.

Скорость конвейера выставляется с учетом ритма работы всей производственной линии, температуры предварительного нагрева и времени контакта печатной платы с волной припоя. В общем случае для обеспечения хорошего качества пайки рекомендуется выставлять скорость в пределах 90 - 150 см/мин.

Флюсование является важнейшей составной частью процесса пайки. Основной задачей жидких флюсов при пайке волной является удаление оксидной пленки с паяемых поверхностей. Это уменьшает поверхностное натяжение расплавленного припоя и предотвращает окислирование до начала пайки. Без флюса припой не будет связывать металл поверхностей соединения. Жидкий флюс может наноситься распылением, использоваться в пенообразователе в волновой технологии.

Жидкий флюс представляет собой смесь растворителей (обычно изопропиловый спирт или другой растворитель с высокой температурой кипения) в которых растворены активаторы (обычно мягкие кислоты). Флюс может содержать канифоль, которая в нагретом состоянии обладает кислотными свойствами. К тому же, флюс может содержать смачивающие вещества, а также антикоррозионные добавки. Твердые составляющие, входящие в состав флюса, состоят из канифоли, смачивающих веществ и активаторов, количество которых отражено в процентном содержании по весу от всего количества флюса. Низкое содержание твердых веществ позволяет получать более чистый край паяного соединения (если используется безотмывочный флюс). При использовании «водосмывных» флюсов, остатки, полученные после пайки, требуют смывки, поскольку такие флюсы могут содержать повышенное количество кислот и галоидов (соединения с хлором, бромом, фтором или йодом). Если в состав флюса входят галоиды, это означает, что он обладает большей активностью и, следовательно, с помощью такого флюса можно паять трудно паяемые соединения. Но такие вещества не используются повсеместно, так как являются очень коррозионно-активными.

Метод распыления флюса считается наиболее популярным. Метод распыления позволяет уменьшить расход флюса, обеспечить точное и равномерное нанесение флюса, уменьшить возможность образования капель.

Давление распыления флюса подбирается опытным путем. Если установить давление слишком низким капли флюса становятся больше и имеют нестабильный размер. В свою очередь, чрезмерно высокое давление может приводить к отражению флюса от печатной платы, это приводит вместо улучшения качества смачивания к большему расходу флюса, загрязнению печатных плат и оборудования.

Необходимо проверять количество флюса нанесенного на печатную плату. Флюс должен покрывать всю поверхность равномерным слоем. В случае наличия «сухих» полос или пятен, следует немного увеличить давление и повторить эксперимент. Если проблема не устраняется путем незначительного увеличения давления, корректировку параметров процесса следует осуществлять в комбинации с изменением других параметров: скорости конвейера и режимами подачи флюса.

В случае применения флюсов с высокой плотностью, таких как VOC- free (флюсы на водной основе) давление распыления следует увеличить на 10 - 20% по сравнению с флюсами на спиртовой основе.

На рисунке 4.3.18 изображена схема флюсования при помощи вращающегося сетчатого барабана. В барабан подают сжатый воздух, который, проходя через сетку, создает струю из мелких частиц жидкого флюса.

На количество осаждаемого флюса оказывают влияние четыре параметра:

- ◆ скорость движения конвейера;
- ◆ скорость вращения барабана;
- ◆ давление воздуха;
- ◆ вязкость флюса.

При изменении этих параметров толщину слоя флюса можно менять в пределах от 1 до 10 мкм. К устройству флюсования предъявляют следующие требования:

- ♦ однородность нанесенного слоя флюса, толщиной от 1 до 10 мкм в сухом состоянии;
- ♦ регулируемая скорость вращения барабана от 0 до 20 об/мин;
- ♦ угол падения струи около 30° относительно поверхности платы;
- ♦ давление воздуха переменное от 0 до 250 кПа (0-2.5 бар), без загрязнения парами масла.

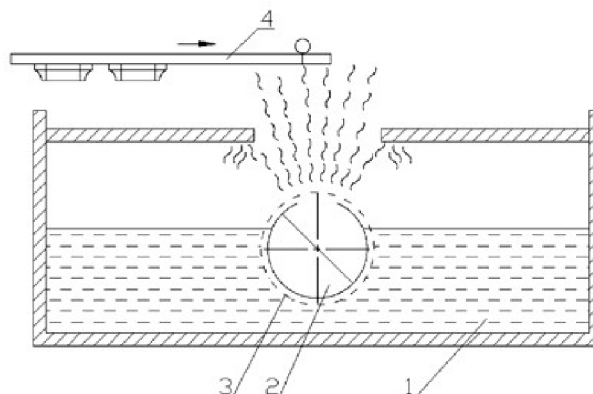


Рисунок 4.3.18 - Флюсование при помощи вращающегося сетчатого барабана
1 – жидкий флюс; 2 – сжатый воздух; 3 – сетчатый барабан; 4 – печатная плата

Для нанесения флюса методом пенного флюсования применяются трубчатые фильтры, которые образуют мелкопузырчатую пену, обеспечивающую улучшенное смачивание, особенно при сквозной металлизации. Кроме того, такие фильтры обладают повышенной надежностью, меньше забиваются и даже выход из строя одного из элементов не ведет к нарушению производственного процесса.

Конкретная величина давления при пенном флюсовании зависит от конструкции системы пайки. Оптимальные условия нанесения флюса обычно достигаются при высоте шапки пены не более 2 см, при этом следует исключить затекание флюса на верхнюю сторону печатной платы (рисунок 4.3.19).

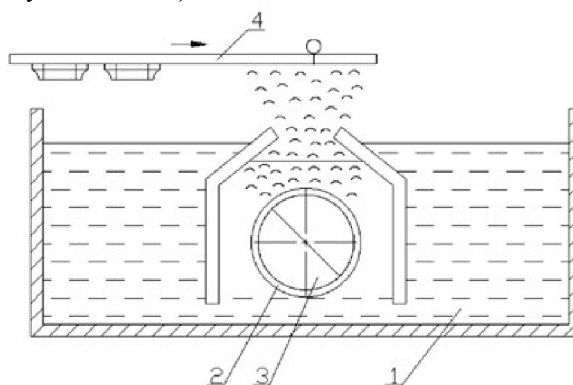


Рисунок 4.3.19 – Пенное флюсование
1 – жидкий флюс; 2 – сжатый воздух; 3 – аэратор; 4 – печатная плата

Пену направляют на поверхность платы при помощи специального сопла. Плату перемещают вдоль сопла, при этом при этом флюсуется нижняя ее сторона. Лопающиеся пузырьки пены разбрызгивают флюс, который проникает во все отверстия платы.

К пенному флюсующему устройству предъявляются следующие требования:

- ♦ установка должна создавать однородные диаметром 1...2 мм пузырьки, что можно достигнуть только при полностью свободных воздушных каналах аэратора;
- ♦ высота пены должна регулироваться в диапазоне от 0 до 15 мм;
- ♦ аэратор должен легко заменяться;
- ♦ в случае отказа устройства флюсования процесс пайки должен немедленно прекращаться.

Предварительный нагрев плат с установленными компонентами обеспечивает:

- ♦ подогрев подлежащих пайке электронных компонентов с целью уменьшения термоудара;
- ♦ удаление растворителя из флюса;
- ♦ активацию флюса.

Выбор температуры предварительного нагрева зависит от конструкции печатных плат, а также от температуры испарения растворителя. Для флюсов на спиртовой основе общепринятыми являются следующие режимы:

- ♦ Односторонняя печатная плата - 80 - 90°C
- ♦ Двухсторонняя - 90 - 120°C
- ♦ Многослойная (до 4-х слоев) - 105 - 120°C
- ♦ Многослойная (более 4-х слоев) - 110 - 130°C

Особое внимание следует уделить подогреву при работе с многослойными печатными платами, который должен обеспечить качество пайки сквозных металлизированных отверстий. Изменение температуры на стадии предварительного нагрева должно осуществляться со скоростью не более 2°C/сек. В случае недостаточного прогрева и неполного удаления растворителя флюса при пайке происходит выделение газов в волну припоя, это ухудшает смачивание и может приводить к непроямам выводов компонентов.

В современных условиях при пайке печатных плат с применением компонентов поверхностного монтажа применяются установки с двойной волной припоя. Температура припоя в зоне пайки может устанавливаться в пределах от 235 до 260°C. Более низкая температура пайки позволяет минимизировать термоудар по электронным компонентам. Более высокая температура до 260°C как правило устанавливается при пайке многослойных печатных плат. Для обеспечения хорошего качества паяных соединений необходимо обеспечить суммарное время пайки в пределах от 2,5 до 4 сек. Время контакта с припоем также зависит от температуры пайки. Например, при температуре 250°C достаточно 2,5 сек, а при 235°C время пайки необходимо увеличить до 3,5 сек. Охлаждение рекомендуется осуществлять со скоростью от 2 до 5° C/сек с целью предотвращения теплового удара по компонентам и печатным платам.

В настоящее время существует огромное количество оборудования для пайки волной припоя различного назначения и разных производителей. Установки различаются размерами паяемой зоны, то есть размерами волны припоя, возможностью создания избирательных участков для пайки волной, видами волн и их количеством, динамическими параметрами волны, сервисными и контрольными функциями и т.д.

В качестве примера наиболее простой системы пайки волной припоя так называемого начального уровня можно привести установку фирмы Ersa Германия (рисунок 4.3.20) /7/.

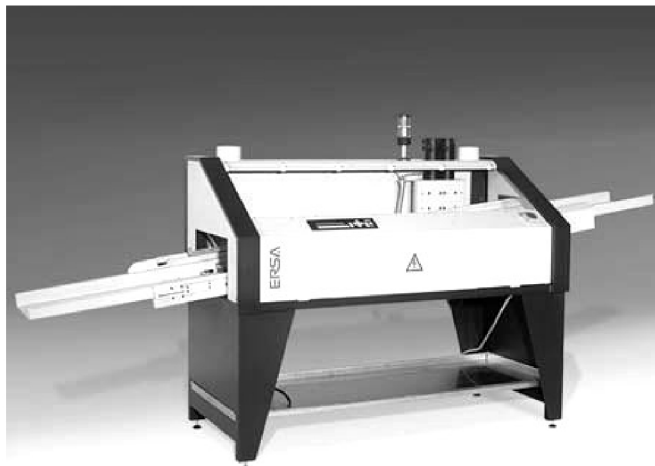


Рисунок 4.3.20 – Установка пайки волной припоя начального уровня ETS250

Приведем некоторые ее характеристики:

- ♦ максимальная ширина печатной платы 250 мм;
- ♦ высокое качество паяных соединений;
- ♦ пенный флюсователь и паяльная ванна выполнены из нержавеющей стали;
- ♦ микропроцессорная система управления.

Лазерная пайка

Лазерная пайка (пайка лучом лазера) не относится к групповым методам пайки, поскольку монтаж ведется по каждому отдельному выводу либо по ряду выводов. Однако бесконтактность приложения тепловой энергии позволяет повысить скорость монтажа до 10 соединений в секунду и приблизиться по производительности к пайке в паровой фазе и ИК-излучением

По сравнению с другими методами лазерная пайка обладает рядом следующих преимуществ:

- ♦ Во время пайки печатная плата и корпуса элементов практически не нагреваются, что позволяет монтировать элементы, чувствительные к тепловым воздействиям.
- ♦ В связи с низкой температурой пайки и ограниченной областью приложения тепла резко снижаются температурные механические напряжения между выводом и корпусом.
- ♦ Выбор материала основания не является критическим.
- ♦ Кратковременные действия тепла - 20...30 мс, резко снижаются толщина слоя интерметаллидов, припой имеет мелкозернистую структуру, что положительно сказывается на надежности ПС.
- ♦ Возможна пайка плат с высокой плотностью компоновки элементов, с размерами контактных площадок до 25 мкм, без образования перемычек на соседние соединения или их повреждения. При использовании хорошо просушенной паяльной пасты, соединения, выполненные с помощью лазерной пайки, не образуют шариков припоя или перемычек, в результате чего отпадает необходимость применять паяльные маски.
- ♦ При использовании лазерной пайки нет необходимости в предварительном подогреве многослойной печатной платы, что обычно необходимо делать при пайке в паровой фазе для предотвращения расслоения платы.
- ♦ Не требуется также создавать какую-либо специальную газовую среду. Процесс пайки ведется в нормальной атмосфере без применения инертных газов.

Лазерная пайка незаслуженно редко применяется в технологии радиоэлектронных средств. Основной областью применения пока остается ювелирная промышленность. Примером такого устройства может служить автоматизированная установка пайки лазерным лучом ULP-9, изображенная на рисунке 4.3.21.



Рисунок 4.3.21 – Установка пайки лазерным лучом ULP-9 /12/

К достоинствам использования такого оборудования следует отнести то, что с помощью лазерного луча можно осуществлять не только пайку, но и шовную и точечную сварку, маркировку и резку различных материалов по заданной программе.

Групповая машинная пайка

Все рассмотренные выше способы создания паяного соединения можно разделить на две группы:

- ♦ методы индивидуальной пайки;
- ♦ методы групповой машинной пайки.

Индивидуальная пайка используется в случае сборки аппаратуры опытных образцов, единичного и малосерийного производства. Во всех случаях, где требуется гибкость и быстрая перестройка сборочного процесса под новое изделие и где нецелесообразно использование дорогостоящего оборудования для массового производства. Конечно, и это оборудование может значительно различаться по сервисным функциям и цене, но в целом можно сказать, что его характеризует техническая простота и относительная доступность. А также отсутствие привязки к комплексной системе сборочных линий монтажа РЭС. К наиболее очевидным системам этой группы можно отнести контактную пайку, в том числе ее разновидность пайку микроволной припоя. Она не требует специализированного оборудования для нанесения паяльных паст, позволяет использовать простые прутковые припои и следовательно минимизирует затраты на организацию рабочего места сборщика. Вторые по распространенности и удобству использования в единичном производстве – это системы инфракрасной пайки и пайки горячим воздухом. Они также вполне доступны по цене и весьма распространены как элементы ремонта и монтажа как простых, так и сложных суперсовременных элементов РЭС. Благодаря универсальности в процессе формирования термопята, удобству и точности процесса монтажа инфракрасная пайка опережает конвекционные системы. Поэтому в настоящее время паяльные и ремонтные ИК-станции получают все более широкое применение, вытесняя конвекционную систему из методов индивидуальной пайки.

Отдельное место в индивидуальной пайке занимают системы лазерной пайки. Они хоть и по принципу создания паяного соединения относятся к этой группе, тем не менее, вряд ли могут быть использованы в опытном производстве, так как требуют полной автоматизации процесса и, следовательно, установки, реализующие этот принцип, находятся в другом ценовом диапазоне. Кроме того, производительность этих систем достаточно высока и они могут быть встроены в линии по производству серийно выпускаемых изделий. Однако в силу относительной новизны этих систем они пока не встречаются в комплексно поставляемых линиях сборки для устройств поверхностного монтажа.

Групповая пайка используется в основном там, где требуется обеспечить большую серийность выпускаемых РЭС. Отличие, как очевидно, заключается в групповом характере образования паяных соединений на всей плате одновременно. Традиционно к этим методам относятся пайка волной припоя и пайка в парогазовой фазе.

Пайка волной припоя в классическом исполнении применима к пайке ТНТ компонентов и ограниченно к пайке SMD компонентов (предположим в смешанно-разнесенном монтаже). Это сужает возможность использования данного типа пайки, хотя как бы не развивалась технология поверхностного монтажа, применение ТНТ компонентов было и остается необходимым. Учитывая, что далеко не всегда целесообразно для ТНТ монтажа использование ручных контактных способов пайки, а пайка волной припоя фактически остается единственным автоматизируемым групповым методом пайки таких компонентов, было предложено использование так называемого метода селективной пайки волной припоя. Технологическая схема селективной пайки показана на рисунке 4.3.22.

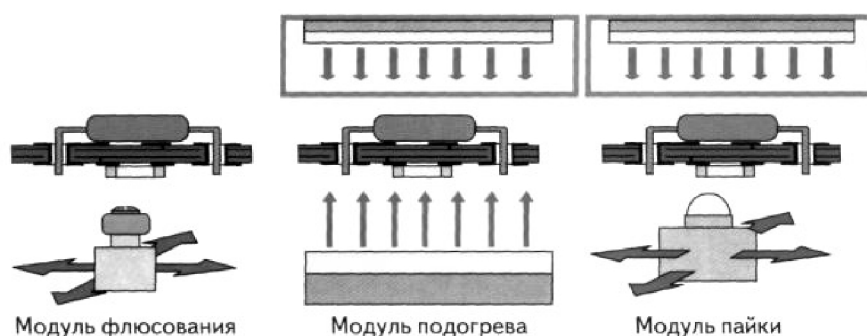


Рисунок 4.3.22 – Схема селективной пайки волной припоя /4/

Основным отличием установок селективной пайки от обычных систем пайки волной припоя является наличие миниатюрного волнообразователя припоя, относительно которого, по заданной программе перемещаются участки платы с заранее установленными ТНТ компонентами. Фото такого волнообразователя приведено на рисунке 4.3.23.

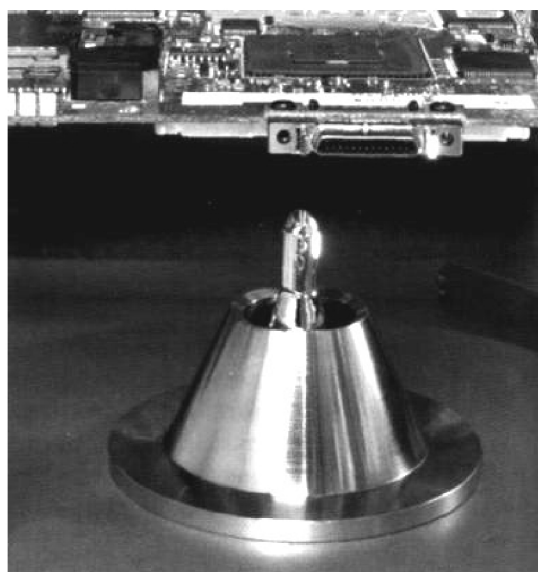


Рисунок 4.3.23 – Волнообразователь установок селективной пайки фирмы Ersa

Применение такой системы делает возможным избирательную пайку по заданной программе без перегрева всей платы и установленных ранее SMD компонентов. Фактически это вторая жизнь пайки волной припоя.

Пайка в парогазовой фазе реализует только монтаж SMD компонентов. Такая ограниченность вкупе с недостатками самого процесса, описанными выше, привели к постепенному вытеснению этого метода пайки из сборочного производства РЭС. В настоящее время фирмы редко предлагают такое оборудование. Однако возникшая тенденция отказа от свинца при монтаже РЭС возможно снова повысит интерес к этим системам, так как оплавление припойной пасты там происходит в парах инертного теплоносителя, что существенно снижает риск окислительных процессов. Им не требуется специализированных систем подачи азота в рабочую зону.

В настоящее время можно утверждать, что для монтажа систем, содержащих исключительно SMD компоненты, применяется оборудование, реализующее принцип конвекционной, инфракрасной или комбинированной инфракрасно-конвекционной пайки.

Вне зависимости от производительности печей, реализующих групповую пайку, все они снабжаются микропроцессорными системами регулируемыми термопрофилем. Так как основным требованием, предъявляемым к печам, является точная выдержка температурного профиля пайки изделия. На рисунке 4.3.24 представлен типовой термопрофиль для оплавления припойной пасты /10/.

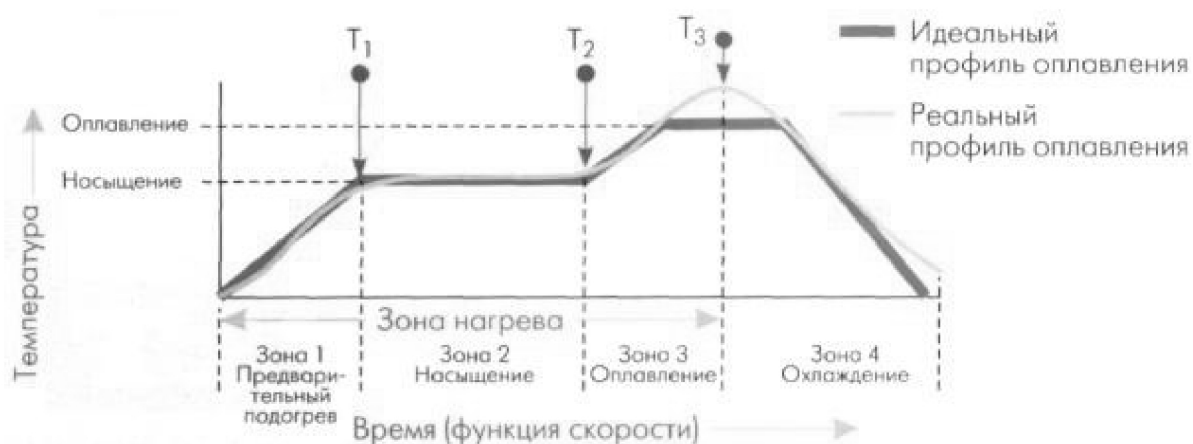


Рисунок 4.3.24 – типовой термопрофиль пайки

На первом этапе осуществляется предварительный нагрев платы, предотвращающий коробление изделия при температуре расплавления припоя. Практический опыт пайки показывает, что слишком высокая скорость нагрева изделия до температуры активации флюса может привести к такому дефекту, как припойный бисер, последствиями которого является разбрызгивание мелких шариков припоя по дну компонента и поверхности платы из-за повышенного выделения газов из припойной пасты. Поэтому максимальная скорость предварительного нагрева не должна быть более $2 - 4^{\circ}\text{C}/\text{с}$.

Главным моментом на втором этапе пайки является выдержка платы при температуре активации флюса в течение времени, необходимого для активации и полного испарения флюсовой составляющей припойной пасты. Кроме того, зона теплового насыщения позволяет избежать смещения компонентов относительно контактных площадок платы вследствие разности коэффициентов температурного расширения корпусов и текстолита. Время нагрева изделия на первых двух этапах пайки рассчитать точно обычными методами тепловой техники практически невозможно из-за большого количества вариантов сборок печатных плат (в одном случае поверхность текстолита может быть полностью оптически открыта, в другом поверхность платы может закрываться корпусами интегральных компонентов до значения коэффициента перекрытия $50 - 80\%$). Однако обобщение экспериментальных данных позволяет говорить о том, что время всего цикла предварительного нагрева колеблется от 1 до 2 минут независимо от скорости нагрева (естественно, при условии, что она не будет превышать $2 - 4^{\circ}\text{C}/\text{с}$).

По завершении цикла предварительного нагрева начинается цикл пайки изделия (зона – 3). При пайке скорость роста температуры до значения расплавления припоя должна быть по возможности высокой, для того чтобы избежать перегрева компонентов печатной платы. На практике рост температуры от 120 до $200 - 220^{\circ}\text{C}$ производится в течение $10 - 15$ с, после чего осуществляется выдержка температуры пайки в течение времени, необходимого на самоустановку компонентов ($10 - 15$ с).

После выполнения цикла пайки нагреватели печи выключаются (в случае камерных печей) либо плата перемещается на конвейере в зону охлаждения (для конвейерных печей).

Далее следует этап охлаждения платы, который, в зависимости от типа печи и требований по производительности, может осуществляться двумя вариантами:

- ♦ естественное охлаждение в печи до отвердевания припоя, затем на воздухе;
- ♦ в блоке принудительного охлаждения.

В условиях крупносерийного и массового производства время охлаждения не рассчитывается, так как печатная плата с паяемыми компонентами охлаждается принудительно в блоке охлаждения после транспортировки из блока пайки. Процесс пайки одной платы и остывания и выгрузки другой ведется параллельно, что значительно повышает производительность. В условиях мелкосерийного и единичного производства время охлаждения также не учитывается, так как можно утверждать, что время охлаждения печи до

температуры затвердевания припоя гораздо меньше времени всего цикла пайки и незначительно влияет на производительность печи. Обычно время естественного охлаждения припоя до температуры отвердевания меньше 20с. Сравнительно быстрое падение температуры в печах подобного класса обусловлено конструкционными особенностями: печи представляют собой стационарную камеру нагрева с большими тепловыми потерями через окно загрузки, которое, как правило, остается открытым в течение всего цикла пайки.

Чаще всего в массовом производстве используются печи с конвекционным нагревом. Однако большую равномерность нагрева обеспечивает система так называемого комбинированного нагрева.

Улучшение характеристик установок было получено переходом на излучатели, работающие в средневолновом ИК-диапазоне (3 - 10 мкм). Конструктивно такие излучатели представляют собой керамические панели больших размеров со значительным количеством воздушных камер, работающих при температуре 280 - 320°С. В таких устройствах до 60 % тепловой энергии доставляется к объекту за счет естественной конвекции, 40 % - при помощи средневолнового ИК-излучения. Такие комбинированные установки производят нагрев объекта в режиме, близком к равновесному, и в настоящее время широко используются при монтаже. Конструкция типичной установки ИК оплавления приведена на рисунке 4.3.25.



Рисунок 4.3.25. Схема конвейерной установки пайки ИК-излучением.

Установка состоит из корпуса 1, внутри которого расположено несколько зон нагрева, в каждой из которых поддерживается заданный тепловой режим. В первой и второй зонах производят постепенный предварительный нагрев изделия 2 с помощью плоских нагревателей 3. Пайку производят в третьей зоне быстрым нагревом объекта выше температуры плавления припоя с помощью кварцевых ИК ламп 4, затем объект охлаждают с помощью устройства 5. Печатные платы транспортируются через установку на ленточном (обычно сетка из нержавеющей стали) конвейере 6. Режимы работы нагревателя и скорость конвейера регулируются с помощью микропроцессорной системы 7, температурный профиль вдоль установки отображается в графической и цифровой форме на экране дисплея 8. Характеристики температурного профиля, т. е. значения температур в каждой зоне, можно изменять в широких пределах, также можно иметь библиотеку типовых режимов оплавления для печатных плат различных типоразмеров.

Камерные печи также снабжаются системой комбинированного нагрева и автоматикой управления термопрофилем, отличие заключается только в том, что отсутствует транспортер, все зоны совмещены геометрически, и развертка профиля нагрева осуществляется по времени. Типичным примером такой печи можно считать разработку отечественного производителя оборудования для поверхностного монтажа инфракрасно-конвекционную печь АВЕРОН АПИК 1.0 /10/, представленную на рисунке 4.3.26.



Рисунок 4.3.26 – Инфракрасно-конвекционная печь АВЕРОН АПИК 1.0

Достоинства метода групповой машинной пайки:

- ♦ обеспечивает высокое качество пайки;
- ♦ возможность пайки микросхем с шагом 0.5 мм и BGA элементов;
- ♦ равномерность нагрева;
- ♦ стабильность технологии;
- ♦ обеспечивает различные потребности в серийности производства;
- ♦ автоматизированные методы пайки сокращают трудозатраты в производстве.

Недостатки метода групповой машинной пайки:

- ♦ необходимость применения паяльных паст;
- ♦ требует применения дозаторов или шаблонов, для нанесения пасты;

4.4 Отмывка и удаление остатков флюсов

Необходимость промывки собранных печатных плат обусловлена требованиями, связанными с обеспечением заданной надежности аппаратуры. Оставшиеся после оплавления паяльной пасты органические соединения представляют собой ионные загрязнения, которые снижают величину поверхностного сопротивления платы, увеличивают токи утечки, способствуют коррозии элементов печатного монтажа. Эти эффекты особенно сильно проявляются в условиях повышенной температуры и влажности.

Для блоков, собранных по технологии поверхностного монтажа, характерна повышенная плотность компоновки, что ухудшает их тепловой режим. Перегрев таких узлов на 10 – 40 °С превышает перегрев блоков, выполненных по традиционной технологии. Совместное действие повышенной температуры и остаточных ионных загрязнений повышает вероятность отказа аппаратуры.

В приборах бытового назначения требования к качеству удаления остатков флюса и других органических загрязнений менее жесткие, чем в специальной аппаратуре, однако многие изготовители аппаратуры, в особенности ЭВМ, предпочитают производить полную отмывку, считая это экономически более целесообразным, чем ремонт отказавших функциональных узлов.

В отличие от аппаратуры, изготавливаемой по традиционной технологии, при промывке поверхностно монтируемых плат возникает ряд сложностей, обусловленных конструкцией SMD элементов, плотностью компоновки, переходом от припоев к паяльным пастам.

Для корпусов SMD элементов характерно значительное снижение величины зазора корпус – плата (до 0,05 мм), увеличение количества выводов, расположение выводов по периметру корпуса, уменьшение шага между выводами. При оплавлении паяльных паст жидкий флюс легко проникает в промежуток корпус – плата. При традиционной технологии излишки флюса растекаются по поверхности платы. Растекание ограничивают применением материалов с плохой смачиваемостью (припойных масок). При SMT малая величина зазора корпус – плата способствует усилению действия капиллярных сил, флюс затягивается под корпус, полностью заполняя промежуток, что значительно усложняет промывку, поскольку делает невозможным циркуляцию под корпусом моющей жидкости. Проникновению жидкости также препятствует своеобразная «решетка» из расположенных вдоль края корпуса выводов.

Повышенная плотность компоновки и значительный диапазон изменений размеров элементов, от чип-резисторов и конденсаторов до многовыводных ИМС, осложняют промывку вследствие экранирования корпусами крупных элементов струи моющей жидкости.

Используемые в технологии поверхностного монтажа паяльные пасты содержат до 12 различных органических соединений, имеющих неодинаковую растворимость в моющих жидкостях, причем положительные результаты можно получить только с помощью экспериментальных исследований.

При оплавлении пасты ИК нагревом или на плоских нагревателях при отклонении параметров технологического процесса от оптимальных значений возможен перегрев флюса и его карбонизация (обугливание), что резко ухудшает растворимость и затрудняет удаление промывкой.

Входящие в состав паяльной пасты органические соединения после ее оплавления имеют склонность к полимеризации, которая быстро развивается во времени, что ограничивает промежуток времени от оплавления до промывки. Задержка приводит к ухудшению растворимости этих соединений, усложняет их удаление обычными средствами.

Технологические приемы отмывки сборок

Существует несколько типов технологических процессов промывки, обеспечивающих полное удаление остатков флюса и других органических соединений.

- ♦ Промывка погружением в кипящую жидкость. При этом процессе сборку предварительно промывают струей жидкости, затем производят основную промывку погружением в кипящую жидкость, после чего осуществляют окончательную промывку струей. Процесс был разработан для плат, в которых возможно скопление флюса на отдельных небольших участках (ловушках), например, под корпусами типа PLCC, LCC, SOIC, BGA, а также для плат с узкими проводниками и малыми расстояниями между ними. Для надежного удаления флюса плату перемещают через установку с помощью конвейера с небольшим наклоном. В зоне предварительной промывки удаляют возможно большее количество флюса, используя струи горячей жидкости под давлением до 250 кПа (2,1 кгс/см²). Затем на 30 – 60 с плату погружают в кипящую жидкость, после чего производят окончательную промывку струей под давлением от 172 до 206 кПа (1,75 – 2,1 кгс/см²), причем в отдельных случаях используют сверхвысокое давление, достигающее значений 0,7 – 1,4 МПа (7 – 14 кгс/см²).
- ♦ Промывка погружением в кипящую жидкость и струей жидкости сверху платы. Этот способ применяют для промывки плат с малой величиной зазора корпус – плата. При прохождении платы через зону кипящего растворителя из сопел, расположенных над поверхностью жидкости в начале и конце зоны, на поверхность платы направляют струи жидкости. Метод обеспечивает лучшее, по сравнению с предыдущим, перемешивание жидкости, что способствует более тщательному вымыванию флюса из глухих мест платы. Экспериментально установлено, что увеличение давления в струе жидкости приводит к снижению времени промывки.

- ♦ Промывка погружением в кипящую жидкость с применением ультразвука. Этот способ промывки полностью совпадает с первым, за исключением введения в иммерсионную зону ультразвуковой (УЗ) очистки. Это один из наиболее эффективных методов промывки при условии, что УЗ воздействие не повреждает элементы. При данном методе сокращается время промывки, улучшается удаление флюса из замкнутых полостей за счет УЗ кавитации, а также удаляются твердые частицы, в частности, карбонизированный флюс. Интенсивность процесса кавитации регулируется изменением мощности УЗ генератора.
- ♦ Промывка погружением в жидкость с применением ультразвука и струей сверху платы. В данном способе плату, проходящую через подогретую жидкость, в которой расположен УЗ генератор, дополнительно подвергают действию струй жидкости. Способ близок по эффективности к предыдущему, а во многих случаях практически не отличается от него. Применяют в тех случаях, когда желательно иметь УЗ промывку, но частично защитить элементы от действия УЗ.
- ♦ Промывка погружением в кипящую жидкость и струями сверху и снизу платы. Этот метод позволяет исключить ультразвук при промывке плат с труднодоступными участками на нижней стороне. Он повторяет второй метод, но с добавлением струи отфильтрованной жидкости, расположенной под платой. Наблюдается высокая турбулентность жидкости над и под платой.
- ♦ Промывка струями жидкости на горизонтальном конвейере. Наиболее широко распространенный метод промывки функциональных узлов после пайки. В случае поверхностного монтажа применяют струи повышенного до 0,7 – 1,4 МПа (7 ... 14 кгс/см²), давления, что позволяет вымывать остатки флюса из узких промежутков между корпусами элементов и основанием печатной платы. В случае обычных сборок величина давления не превышает 20 кПа (0,2 кгс/см²). Применяют сопла специальной конструкции, создающие веерные и плоские струи жидкости. Сопла располагают на расстоянии 50 – 150 мм от поверхности платы снизу и сверху.
- ♦ Промывка струями жидкости высокого давления и большой мощности. Этот метод считают весьма перспективным для промывки поверхностно монтируемых узлов. При использовании струи с давлением до 1,4 МПа. (14 кгс/см²) при расстоянии от сопла до поверхности платы 50 мм возможно удалять остатки флюса из зазоров 0,125 мм и менее. Оптимизация параметров сопла позволяет получить наилучшую, с точки зрения качества и скорости промывки, форму струи. Плоскую струю (жидкий «нож») направляют непосредственно в щель под корпуса элементов. Сопла реактивного типа создают веерообразную струю, которая обладает высокой скоростью взаимодействия с платой.
- ♦ Замкнутый цикл промывки сборок. Этот метод применяют для промывки наиболее сложных функциональных узлов. Он включает следующие операции, реализуемые в соответствующих зонах технологической установки:
 - пропитка в парах жидкости (на входе установки);
 - предварительная промывка струями горячей рециркулируемой жидкости;
 - основная промывка погружением в кипящую жидкость и струями жидкости сверху и снизу платы;
 - дополнительная промывка струями горячей дистиллированной жидкости;
 - окончательная промывка струями высокочистой жидкости;
 - просушка платы (на выходе установки).

Давление струй жидкости поддерживают в пределах 172 – 206 кПа (1,75 – 2,1 кгс/см²). Для плат с высоким уровнем загрязнения применяют промывку струями с давлением до 0,34 – 1,4 МПа (3,5 – 14 кгс/см²), а также ультразвуковую промывку.

Жидкости для промывки

Выбор типа жидкости обусловлен составом входящих в пасту флюса и органических добавок. Находят применение два типа жидкостей – органические и водные растворы моющих средств. Жидкости для промывки поверхностно монтируемых сборок должны удовлетворять следующим требованиям:

- ♦ иметь возможно большую величину поверхностного натяжения, для облегчения проникновения в узкие промежутки и возможно меньшее его значение для хорошей циркуляции в ограниченном объеме (требуется нахождение оптимума);
- ♦ обладать высокой химической энергией по отношению к загрязняющим веществам.

С точки зрения перечисленных требований обычно бывает трудно отдать предпочтение определенному виду жидкости, решающими являются не столько технические, сколько экономические соображения.

Большинство изготовителей аппаратуры используют для промывки стандартные органические жидкости, либо их азеотропные смеси, такие как трихлорэтан, хлористый метилен и смеси фреона, спирты.

В настоящее время очень широко применяются паяльные пасты, в состав которых входят водорастворимые флюсы. Для промывки таких плат применяют водные растворы моющих средств. Однако некоторые производители аппаратуры пренебрегают отмывкой в том случае, если используют пасты, в состав которых входят флюсы «не требующие промывки». Это возможно, если к аппаратуре не предъявляются жесткие требования по надежности и условия эксплуатации достаточно комфортные. Во всех других случаях экономия на операциях отмывки может привести существенному увеличению отказов аппаратуры вне зависимости от типа применяемого флюса.

К флюсам, не требующих отмывки после пайки, можно отнести канифольные флюсы и флюсы с низким содержанием твердых веществ. Остатки канифольных флюсов и флюсов с низким содержанием твердых веществ состоят из:

- ♦ канифоли или синтетических смол и их остаточных продуктов;
- ♦ активаторов и продуктов их реакции с поверхностями, на которые они наносятся.

В качестве активаторов обычно используются органические кислоты и галогенные соединения. Последние образуют различные ионы, способствующие смачиванию поверхностей. Остатки таких флюсов не удаляются водой или спиртом. Широко применяемая спирто-бензиновая смесь тоже обладает крайне низкой эффективностью, так как ею плохо удаляются остатки флюсов с низким содержанием твердых веществ, не удаляются ионные водорастворимые компоненты (остатки активаторов, минеральные соли, остатки травильных растворов и электролитов). Эффективную отмывку сборок после пайки от всех типов загрязнений могут обеспечить только промывочные жидкости, специально разработанные для этих целей.

В настоящее время на рынке наибольшее распространение получили две марки отмывочных жидкостей «Прозон» (Prozone) производства фирмы Multicore и «Зестрон» (ZESTRON) производства одноименной фирмы ZESTRON.

Универсальные промывочные жидкости немецкой фирмы ZESTRON обеспечивают быструю и качественную отмывку всех типов загрязнений, возникающих в процессе производства и сборки печатных плат.

Технология Micro Phase Cleaning® (MPC®) разработана и запатентована фирмой Zestron. Промывочные жидкости, основанные на MPC® технологии, сочетают преимущества моющих средств на водной и спиртовой основе, исключая их недостатки, в тоже время имеют существенно более высокий срок жизни в ванне.

Активные компоненты, присутствующие в растворе промывочной жидкости имеют форму микроскопических капелек – «микрофаз» (рисунок 4.4.1). «Микрофазы» эффективно удаляют смазки, масла, жиры, остатки флюсов и даже остатки непотерянных эпоксидных клеев с поверхности печатных узлов (1). Удаленные частицы загрязнений освобождаются «микрофазами» и переходят в водный раствор (2), таким образом, происходит самоочищение (регенерация) «микрофаз». Частицы загрязнений не растворяются

полностью в промывочной жидкости, поэтому они могут быть легко удалены из раствора путем фильтрации или снятием с поверхности.

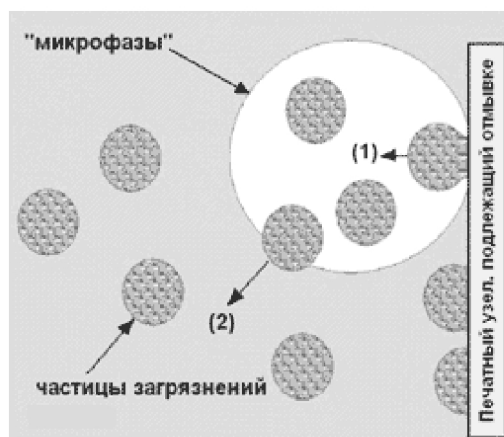


Рисунок 4.4.1 – Принцип действия технологии Micro Phase Cleaning®

В отличие от поверхностно-активных веществ (ПАВ) у промывочных жидкостей основанного на MPC® технологии не происходит истощения активных компонентов за счет процесса само регенерации (рисунок 4.4.2).

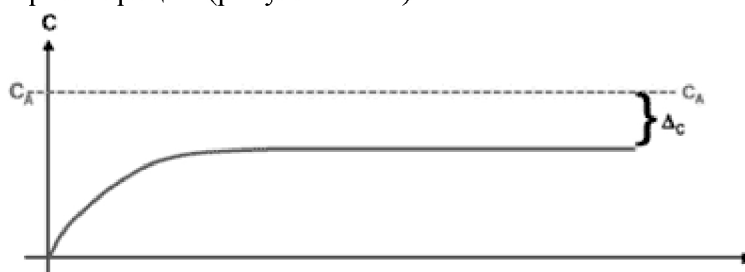


Рисунок 4.4.2 - Зависимость насыщения раствора промывочной жидкости загрязнениями (C) от времени (T), где C_A – предельно допустимое насыщение раствора удаленными загрязнениями, ΔC - окно варьирования процесса.

Свойства материалов на основе MPC® технологии по удалению всех типов загрязнений наилучшим образом проявляется при температуре отмывки в пределах от 40 до 60°C. Правильно организованный процесс отмывки, и эффективная фильтрация позволяют существенно увеличить срок жизни моющего раствора в ванне. И, следовательно, существенно сократить расходы на технологические материалы и количество утилизируемых отходов.

В процессе изготовления и хранения печатные платы могут подвергаться различным загрязнениям, в том числе: солями гальванических и травильных растворов, отпечатками пальцев, косметикой, жировыми загрязнениями. Очистка печатных плат перед началом сборки позволяет:

- ♦ удалить загрязнения, образовавшиеся при изготовлении и хранении печатных плат;
- ♦ улучшить качество отпечатков паяльной пасты в процессе нанесения;
- ♦ исключить расползание, изменение контура и формы отпечатков паяльной пасты после нанесения;
- ♦ обеспечить хорошую смачиваемость контактных площадок в процессе пайки;
- ♦ снизить вероятность образования дефектов пайки, в том числе: шариков припоя, перемычек, непропаев и т. д.

При нанесении паяльной пасты или клея методом трафаретной печати происходит постепенное загрязнение нижней стороны трафарета паяльной пастой или клеем. Загрязнение нижней стороны трафарета будет оказывать существенное влияние на качество трафаретной печати. При проходе ракеля трафарет плотно прижимается к поверхности печатной платы, при этом загрязнения с поверхности трафарета могут попадать на печатную плату. Остатки клея, попадающие на контактные площадки, влияют на ухудшение смачи-

ваемости припоем контактных поверхно-стей. Остатки паяльной пасты приводят к образованию перемычек и шариков припоя в процессе пайки, а так же других дефектов. Использование грязных трафаретов ухудшает форму и стабильность отпечатков паяльной пасты и доз клея. Для обеспечения высокого качества трафаретной печати рекомендуется производить очистку трафаретов с нижней стороны после нанесения паяльной пасты или клея на каждые 10 – 15 плат.

В случае ошибочного или неправильного нанесения паяльной пасты или клея необходимо произвести очистку печатных плат перед повторным нанесением. Применение простых растворителей, например, изопропилового спирта не позволяет достичь желаемого результата. Кажется, отмывка произведена, но при повторном нанесении отпечатки паяльной пасты или дозы клея расплзаются и теряют свою форму. А если используется двусторонняя печатная плата и одна сторона уже собрана, то эта проблема без специализированных отмывочных жидкостей вообще не решается. Для решения этой проблемы необходимо применение комбинированных отмывочных жидкостей, которые удалят пасту и клей со стороны, где допущена ошибка, и качественно отмоют уже собранную сторону.

Достоинства промывочных жидкостей фирмы ZESTRON:

- ♦ универсальность – возможность применения одного типа промывочной жидкости на разных операциях включающих предварительную очистку печатных плат перед сборкой, очистку трафаретов и печатных плат, в том числе плат с не удаленными остатками флюса;
- ♦ высокая эффективность – применение материалов ZESTRON предотвращает расплзание отпечатков паяльной пасты и доз клея по сравнению с изопропиловым спиртом;
- ♦ безопасность – материалы с высокой точкой вспышки или негорючие, умеренный запах, низкая токсичность;
- ♦ совместимость с материалами трафаретов.

Оборудование для отмывки сборок

В настоящее время на рынок сборочно-монтажного оборудования поступает большое число различных систем отмывки печатных плат. Некоторые из них предназначены только для одного вида воздействия на загрязнения, например, только на отмывку водой. Другие, наоборот, предназначены для использования различных типов отмывочных жидкостей и различного воздействия на сборку. Причем воздействия могут оказываться как последовательно, так и в комбинации. Есть миниатюрные полуавтоматические устройства и встраиваемые в автоматические линии сборки. А количество возможных сервисных функций ограничивается только мощностью процессорной системы управления и ценовыми ограничениями. Рассмотрим некоторые примеры.

Установки струйной отмывки серии SMT(рисунок 4.4.3) предназначены для отмывки печатных узлов различного назначения после пайки от остатков флюсов и других загрязнений. Эти установки обеспечивают полный технологический процесс удаления остатков флюсов, включающий отмывку промывочными жидкостями, ополаскивание и сушку. По сравнению с ультразвуковой струйная отмывка сборок имеет преимущество. Не для всех электронных компонентов пригодна отмывка ультразвуком.

Установки отмывки серии SMT выпускаются в нескольких исполнениях: SMT – 600, SMT – 800 и SMT – 1000. Каждая модель установки может быть изготовлена в трех вариантах:

- ♦ с малым количеством сбрасываемых веществ – данное исполнение представляет собой систему, в которой сброс воды после ополаскивания печатных узлов производится в канализацию;
- ♦ с нулевым количеством сбрасываемых веществ – при таком варианте сбрасываемая вода после ополаскивания попадает в специальный испаритель AQ-7, где происходит выпаривание воды. Полученный сухой остаток в дальнейшем утилизируется;

- ♦ замкнутая система – в этой системе сброс жидкости в канализацию не производится. Отмывка производится только деионизованной водой, и отмывке подлежат лишь водосмываемые флюсы.



Рисунок 4.4.3 – Внешний вид установок струйной отмывки серии SMT

Технологический процесс отмывки на установках серии SMT производится следующим образом.

Подготовленные к отмывке сборки помещаются вертикально, под небольшим углом, в специальные корзины, которые загружаются в установку отмывки. После запуска процесса система форсунок, расположенных сверху и снизу камеры, под большим давлением осуществляет струйную отмывку печатных узлов (рисунок 4.4.4).

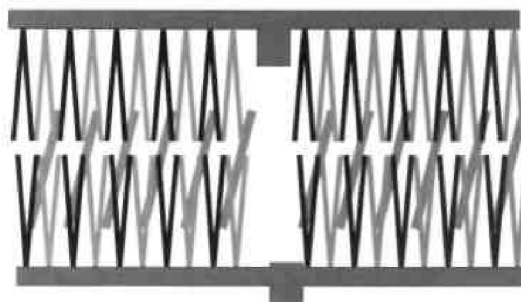


Рисунок 4.4.4 – система воздействия струй жидкости на наклонно установленные печатные платы

Промывочная жидкость, подаваемая к системе форсунок, проходит через механический фильтр. При этом корзина с ПУ совершает возвратно-поступательные движения по горизонтали. Это нужно для того, чтобы струи промывочной жидкости полностью покрывали поверхность сборки.

После завершения процесса система выдерживает необходимое время для сбора промывочной жидкости с печатных узлов и стенок камеры в емкость. Делается это для снижения потерь промывочной жидкости. Следующим этапом технологического процесса отмывки является ополаскивание. Оно выполняется той же системой форсунок, применявшейся на этапе отмывки. Для снижения расхода промывочной жидкости в установках SMT предусмотрены две отдельные насосные системы – для отмывки и ополаскивания. После нескольких циклов ополаскивания и получения необходимого качества отмывки, контролирующегося по проводимости сбрасываемой воды, запускается процесс сушки.

Во время сушки можно поддерживать определенную температуру воздуха. По окончании процедуры оператор открывает крышку установки, выдвигает корзину и разгружает ее. В среднем цикл отмывки для одной загрузки ПУ составляет 30 минут. В одну корзину устанавливается 28 плат размером 250x300 мм. Для увеличения производительности можно оснастить установку дополнительной корзиной и системой форсунок.

В установках отмывки серии SMT управление всеми параметрами технологического процесса осуществляется при помощи встроенного персонального компьютера. Режимы промывки для различных изделий могут быть сохранены и использованы в дальнейшем.

Универсальная модульная система отмывки MINICLEAN (рисунок 4.4.5) предназначена для групповой отмывки электронных изделий и изделий точной механики.



Рисунок 4.4.5 - Модульная система отмывки MINICLEAN

Модуль MINICLEAN имеет две ванны, которые могут быть выбраны по требованию заказчика из следующих вариантов:

Для очистки печатных узлов:

- ♦ A1 – ультразвуковая отмывка для полуводной технологии с применением отмывочных жидкостей ZESTRON с подогревом и фильтрацией жидкости.
- ♦ A2 – отмывка в проточной воде.
- ♦ A3 – отмывка в деионизованной воде.
- ♦ A4 – сушка горячим воздухом.

Для очистки трафаретов:

- ♦ B1 – струйная отмывка на воздухе.
- ♦ B2 – отмывка в проточной воде.
- ♦ B3 – отмывка в деионизованной воде.
- ♦ B4 – сушка горячим воздухом.

Кроме ультразвука, в качестве агитирующих воздействий в ванне отмывки могут использоваться: барботаж, струи внутри объема жидкости, подогрев промывочной жидкости, струи в воздухе для отмывки трафаретов.

Размеры рабочих ванн выбираются при заказе системы и могут быть: для очистки печатных узлов от 22 до 44 литров, для очистки трафаретов 36 л.

В процессе промывки печатные узлы размещаются в специальной корзине. Перенос корзин между ваннами осуществляется вручную.

Все узлы системы выполнены из материалов, стойких к коррозионным воздействиям промывочных жидкостей. Система управления выполнена на основе встроенного микропроцессора, что позволяет осуществлять индивидуальное управление основными параметрами процесса и гибкую обработку данных.

К достоинствам систем MINICLEAN можно отнести:

- ♦ высококачественную многостадийную отмывку;

- ♦ большой размер обрабатываемых плат до 300 x 400мм;
- ♦ большой выбор агитирующих воздействий;
- ♦ универсальность (возможность отмывки сборок и трафаретов);
- ♦ быстрый и удобный доступ к элементам системы при проведении технического обслуживания;
- ♦ микропроцессорную систему управления.

Такая многопрофильная система отмывки может быть с успехом использована при формировании гибкого участка поверхностного монтажа в малосерийном контрактном производстве.

Контроль качества отмывки

В настоящее время применяют различные методы контроля отмывки печатных плат и функциональных узлов. Среди них наиболее распространенными являются: визуальный метод, метод ИК спектрометрии, ионографический и поверхностного сопротивления /9/.

Визуальный метод контроля.

Этот метод позволяет определить наличие органических соединений на поверхности печатной платы или собранного функционального узла без идентификации их количества и состава. При данном методе на поверхность установленной наклонно печатной платы воздействуют несколькими (5 – 10) каплями специально подобранной высокочистой жидкости, которая стекает вдоль платы, растворяя имеющиеся на плате органические соединения (рисунок 4.4.6). Затем жидкость испаряется, оставляя осадок, который наблюдают визуально, рассматривая поверхность в отраженном свете. В качестве растворителя используют ацетонитрил. Это высокочистое соединение, которое хорошо растворяет практически все используемые в технологическом процессе органические вещества, легко испаряется (температура кипения 78°C), удовлетворяет требованиям техники безопасности. Дозированное нанесение жидкости производят при помощи пипетки. Испарение жидкости осуществляют слабой струей воздуха или азота, так как интенсивное испарение сопровождается охлаждением контролируемого образца и конденсацией на его поверхности влаги, при удалении которой подогревом происходит частичный перенос осадка, что искажает результаты измерений. Жидкость растворяет также используемые в конструкции органические материалы, однако уровень загрязнений на плате значительно превышает это значение.

Предельная чувствительность метода 10 мкг/см². Метод стандартизирован Институтом печатных плат США (IPC-TM-2.3.38) и включен в ряд военных стандартов США (MIL-P-55110D, MIL-P-50884C, MIL-P-28809).

Метод ИК спектрометрии.

Метод позволяет определить наличие и химический состав органических загрязнений на поверхности печатной платы. Как и в предыдущем методе, производят смывание с помощью растворителя определенного количества органических загрязнений на плоскую пластину, изготовленную из кристалла бромисто-иодистого таллия (KRS-5). Жидкость затем испаряют, а пластину помещают в ИК спектрофотометр. В этом приборе луч с помощью зеркал фокусируют на край пластины, грани которой отполированы, в результате чего происходит полное внутреннее отражение света. Коэффициент преломления материала позволяет лучу проникать в находящийся на поверхности пластины тонкий слой осадка. Интенсивность спектра от осадка обычно превышает интенсивность простого отражения более чем в 5 раз и возрастает с увеличением числа отражений, зависящего от площади поверхности пластины, занимаемой осадком.

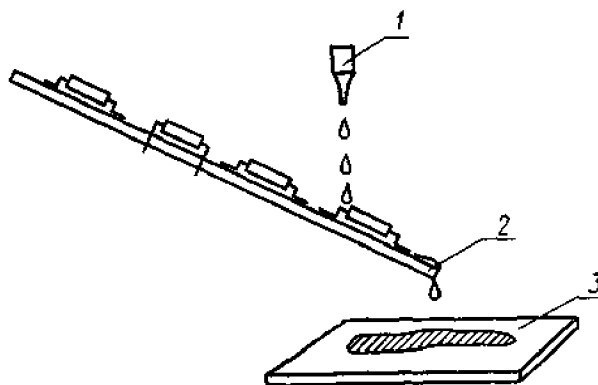


Рисунок 4.4.6 – Визуальный контроль на наличие органических загрязнений:
1 – пипетка; 2 – печатная плата; 3 – предметное стекло микроскопа

При применении данного метода важно иметь эталонные ИК спектры для каждого типа используемых в технологическом процессе органических материалов, создать библиотеку таких спектров. Это позволит надежно контролировать процесс, оперативно выявлять место появления загрязнений. Для идентификации спектров можно также использовать справочную литературу. Чувствительность метода составляет 10 мкг/см^2 . Метод стандартизован Институтом печатных плат США (IPC-TM-2.3.39) и включен в ряд военных стандартов.

Ионографический метод контроля.

В основе метода лежит измерение величины проводимости раствора после помещения в него контролируемой печатной платы. Проводимость раствора повышается вследствие растворения в нем находящихся на поверхности платы органических соединений. В качестве жидкости используют 50 – процентный раствор изопропиленового спирта в деионизованной воде. Метод не позволяет определить химический состав органических соединений, поэтому количественно измерения загрязнений производят в эквивалентных единицах NaCl.

Чувствительность метода достигает значений $0,01 \text{ мкг/см}^2$, что на несколько порядков превышает минимальный допустимый уровень загрязнений печатных плат.

Типичная установка ионографического контроля состоит из измерительной емкости, деионизирующей колонки, электронной аппаратуры и микро ЭВМ. Разработано несколько установок ионографического контроля, позволяющих измерять загрязнение как на больших, до 5000 см^2 , так и на малых, до $9,5 \text{ см}^2$, поверхностях

Метод поверхностного сопротивления.

Метод основан на измерении поверхностного сопротивления печатной платы или функционального узла с использованием специальных тестовых структур. При наличии органических соединений на плате величина ее поверхностного сопротивления под воздействием повышенной температуры и влажности резко снижается.

Разработано несколько типов тестовых структур, которые обычно представляют собой систему из двух параллельных проводников. Наиболее часто используют структуру в виде эквидистантных решеток. Примеры тестовых структур для различных типов сборок приведены на рисунке 4.4.7.

Тестовые структуры обычно размещают под корпусами элементов, то есть в области, где наиболее вероятно загрязнение остатками флюса. Если по каким-либо причинам разместить топологические структуры под корпусами элементов невозможно, то на плате выделяют специальный участок, на котором изготавливают такую структуру и размещают над ней имитатор элемента. В этом случае метод становится статистическим.

Рекомендуемый режим проведения измерений – напряжение 10 В, температура 80°C , относительная влажность 90 %, время испытаний 4 - 8 ч, замеры величины поверхностного сопротивления – каждые 30 мин.

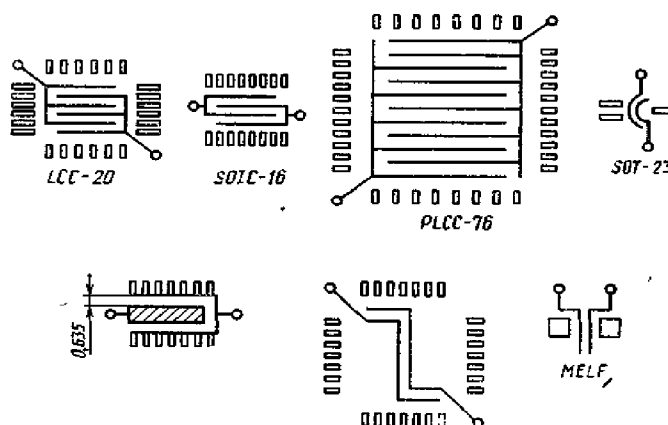


Рисунок 4.4.7 – Тестовые структуры для контроля наличия ионных загрязнений методом поверхностного сопротивления

Такие измерения могут быть проведены в простой, плотно закрывающейся емкости, например из полипропилена, на дно которой налита вода и подогрета до 80 °С. Имеется также автоматическое оборудование для проведения измерений.

Сравнение методов контроля плат на органические загрязнения.

Во всех методах, за исключением поверхностного сопротивления, применяют растворение органических веществ в специальных жидкостях. Известно, что для ТМП элементов характерна малая величина зазора корпус – плата (0,25 мм для SOIC и PLCC; 0,05 мм для LCC). Для проникновения жидкости в такие зазоры требуются специальные меры – повышенное давление струи, подогрев и так далее, что не применяют при проведении измерения органических загрязнений. Эксперименты свидетельствуют, что при ионографическом методе контроля можно выявить только 30% находящегося под корпусами элементов остатков флюса. Практически данные методы регистрируют только те загрязнения, которые находятся на открытых участках поверхности печатных плат и вблизи краев элементов. Поэтому данные методы рационально применять для контроля несобранных печатных плат, а также отдельных элементов. При контроле функциональных узлов методы не обладают достаточной информативностью, что ограничивает их применение. В этом случае рационально применять метод, основанный на измерении поверхностного сопротивления платы, причем для повышения достоверности контроля измерения производить при повышенной температуре и влажности.

Для предприятий работающих с мелкими сериями и не имеющих возможности применения относительно сложных методов контроля, таких как контроль поверхностного сопротивления, можно порекомендовать применение имеющихся на рынке тестовых наборов ZESTRON Flux Test (рисунок 4.4.8).



Рисунок 4.4.8 – Фото набора ZESTRON Flux Test

Для проведения теста наносится несколько капель реактива, входящего в состав тестового набора, на участок печатного узла, который вы хотите проконтролировать. Через 3 минуты (для контроля времени в наборе предусмотрены песочные часы на 3 минуты) смойте реактив дистиллированной водой из бутылочки, входящей в комплект. Высушите поверхность струей сжатого воздуха. Далее осуществляется визуальный контроль исследуемого изделия под микроскопом с увеличением в 4 ... 10 раз. Реактив взаимодействует с органическими активаторами в остатках флюса и не связывается с материалами печатного узла. Поэтому если отмывка проведена эффективно, то на исследуемом участке ничего не обнаружится. Если процесс отмывки неэффективен, то будут видны в остатках флюса фиолетовые или синие включения разной степени интенсивности. По их распределению и интенсивности окраски можно сделать вывод, насколько это может быть критично для функционирования изделия. Типичные примеры результатов применения теста.

Пример № 1

Интенсивный насыщенный фиолетовый цвет остатков флюса на галтели чип-конденсатора характерен для большого количества активаторов. В процессе эксплуатации изделия могут возникнуть отказы, вызванные коррозионными процессами. Для предотвращения необходимо оптимизировать процесс отмывки.

Пример № 2

Между двумя контактными площадками чип - резистора обнаружены мостики, образованные активаторами в остатках флюса. В жестких климатических условиях эксплуатации это может быть причиной появления короткого замыкания между двумя контактными площадками чип - резистора или возникновения токов утечки. Данный пример иллюстрирует, что зачастую труднее всего удалить остатки флюса из-под чип - компонентов. Для предотвращения рекомендуется применить более эффективные типы механической активации, например ультразвук и эффективные промывочные жидкости.

Пример № 3

На основании галтели паяного соединения микросхемы видны остатки активаторов. При этом вероятно возникновение токов утечки между соседними контактными площадками. Кроме коррозии, это может привести к нарушению работы микросхемы в стандартных режимах и выходу ее из строя.

Пример № 4

На корпусе чип - конденсатора наблюдается большое количество фиолетовых точек - это органические активаторы флюса, проявившиеся после применения реактива. На галтелях конденсатора остатки активаторов не наблюдаются. Скорее всего, в процессе отмывки активаторы были удалены с галтелей паяных соединений. Однако из-за неэффективного ополаскивания удаленные активаторы занесены ополаскивающей средой на поверхность чип - конденсатора. Так как активаторы расположены локально и не образуют мостиков или перемычек, то они, скорее всего, не приведут к возникновению дефектов и не будут опасными для функционирования печатного узла. Для предотвращения процесс ополаскивания должен быть скорректирован с целью повышения его эффективности в удалении остатков отмывочной жидкости с растворенными в ней загрязнениями. При визуальном контроле без применения ZESTRON Flux Test такие загрязнения не обнаруживаются, а значит, после отмывки на компоненте останутся потенциально опасные активаторы.

Пример № 5

Тест выявил, что между компонентами микросхемы находятся не удаленные остатки флюса с органическими активаторами. Остатки приобрели интенсивную синюю окраску, что соответствует их большому количеству. Не выявленный дефект может привести в дальнейшем к отказам изделия. В данном случае причиной является неправильно подобранный режим отмывки.

Пример № 6

Изделие подвергнуто климатическим испытаниям без предварительной отмывки. Применение теста выявило наличие активаторов, высвободившихся в результате климатических воздействий из остатков канифольного флюса. После пайки остатки флюса представляют собой капсулу, на поверхности которой находится канифольное покрытие, являющееся защитным. Внутри заключены остатки активаторов. Если изделие подвергается жестким климатическим воздействиям, то покрытие капсулы разрушается и активаторы высвобождаются. Для предотвращения необходимо вводить технологический процесс отмывки печатных узлов.

Таким образом, ZESTRON Flux Test позволяет:

- ♦ обнаружить органические активаторы;
- ♦ быстро проконтролировать процесс отмывки;
- ♦ повысить эффективность визуального контроля;
- ♦ отработать режимы процесса отмывки;
- ♦ оценить результаты климатических испытаний;
- ♦ сделать выводы о причинах отказа изделий.

4.5 Контроль качества пайки

В условиях рыночной экономики каждое предприятие должно заботиться о конкурентоспособности выпускаемых изделий. Одна из составляющих конкурентоспособности выпускаемой продукции - ее качество. Согласно требованиям системы менеджмента качества ISO 9001-2000, производство электронных изделий, как и всякий другой процесс, требует наличия обратной связи для его мониторинга и измерения. Инструментом, позволяющим оценить параметры техпроцесса, является автоматизированное тестовое оборудование (АТЕ).

Производство печатных плат, нанесение паяльной пасты, установка компонентов и оплавление припоя – каждый из этапов производства должен быть контролируемым. Система управления качеством предприятия должна быть построена таким образом, чтобы исключить передачу некачественного продукта от одного этапа производства к другому. Это особенно важно для начальных этапов технологического процесса – производства печатных плат или их приобретения у контрактных производителей.

Не замеченные вовремя технологические ошибки или использование некачественных материалов для печатных плат может привести к отбраковке партии уже готовых изделий, при этом часто изделия оказываются неремонтопригодными.

Производители печатных плат, выполняющие заказы сторонних предприятий, также должны обеспечить 100-процентный контроль своей продукции, иначе рано или поздно потеряют заказчиков.

В производстве печатных плат применяются разные виды контроля: визуальный оптический и рентгеновский контроль, электрический контроль и функциональный контроль. Производители печатных плат для СВЧ - устройств применяют, кроме того, рефлектометрические методы тестирования. Каждому из них присущи достоинства и недостатки, и каждый способен лучше выявлять определенные виды дефектов. Лишь комплексное использование указанных методов контроля позволяет эффективно тестировать печатные платы.

Визуальный контроль

Все оборудование для визуального контроля можно разделить на две группы (рисунок 4.5.1):

- ♦ Линзы с подсветкой используются, как правило, для определения целостности дорожек и обнаружения очевидных дефектов сборки. Простота и дешевизна оборудования позволяют применять его на небольших предприятиях или для контроля несложных плат.

- ♦ Стереосистемы и микроскопы – это более сложная группа оборудования, с помощью которого можно определять не только целостность дорожек и качество металлизации переходных отверстий, но и упростить обнаружение дефектов сборочного процесса.

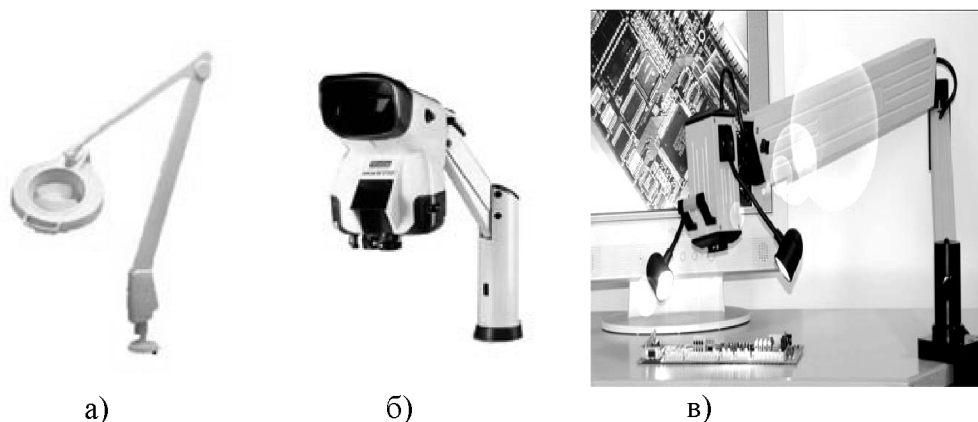


Рисунок 4.5.1 – Оборудование для визуального контроля: а) линза с подсветкой 8МС-200; б) стереосистема Mantis; в) Оптическая система визуального контроля FlyInspector 300

Все эти системы относятся к классу так называемых ручных средств контроля. Они относительно дешевы и просты, но при этом обеспечивают низкую достоверность результатов контроля в силу влияния человеческого фактора. Оператор быстро устает.

Для повышения достоверности результатов контроля и производительности следует применять автоматические системы контроля, в том случае если это экономически оправдано. Одним из последних достижений комплексного автоматизированного визуального контроля качества сборочного процесса на всех этапах сборочного процесса считается автоматическая оптическая инспекция (ОАИ). Она представляет собой гибкую с постоянно изменяющимся составом линию средств визуального контроля (рисунок 4.5.2).



Рисунок 4.5.2 – ОАИ в производственной линии сборки печатных плат.

Цифрами на рисунке отмечены элементы технологического процесса и соответствующие системы контроля, применяемые в полностью автоматизированном сборочном процессе сборки печатных плат с использованием поверхностного монтажа.

1. нанесение паяльной пасты;
2. 3D контроль нанесения паяльной пасты (ОАИ);
3. установка компонентов;
4. 2D или 3D контроль установки компонентов (ОАИ);
5. оплавление припоя;
6. 3D контроль паяных соединений (ОАИ);

7. рентгеноскопический контроль;
8. анализ процесса производства; внутрисхемное тестирование; комбинированное тестирование;
9. функциональное тестирование.

Очевидно, что контроль качества продукции обеспечивается полностью только всем комплексом тестовых систем. Ни одна отдельно взятая система не является защитой от возможного брака при сборке. Следовательно, имеется необходимость выбора подходящего оборудования для включения его в общую стратегию контроля.

В настоящее время в связи с возрастанием плотности монтажа и сложности коммутации больших специализированных микросхем наблюдается тенденция сокращения количества конструкций имеющих тестовый доступ. Это выдвигает на первое место бесконтактные методы контроля. Наиболее перспективными считаются рентгеноскопический контроль и автоматическая оптическая инспекция. Для обоснования такой точки зрения достаточно рассмотреть виды дефектов и возможности их обнаружения данными методами. На рисунке 4.5.3 представлена диаграмма, иллюстрирующая примерное процентное распределение дефектов печатных плат регистрируемых после сборочного процесса.



Рисунок 4.5.3 – Виды дефектов (90 % производственные и 10% электрические, не зависящие от производства)

Как утверждают производители систем автоматической оптической инспекции, эти системы позволяют обнаружить от 45 до 90% всех дефектов (рисунок 4.5.4).

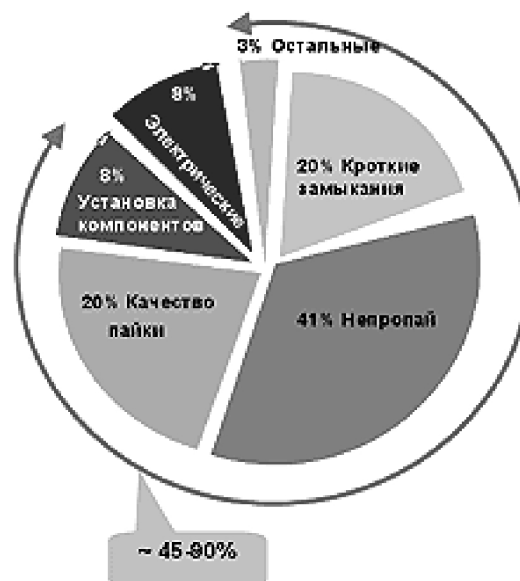


Рисунок 4.5.4 – Виды дефектов определяемые ОАИ

Применение АОИ получило широкое распространение с недавнего времени. Однако внедрение систем АОИ началось с конца 80-х годов прошлого века. При их появлении производители поверили, что началась новая эра тестирования. Но когда прошла эйфория, стали ясны границы применения таких систем, и сформировались требования к современным тестерам АОИ. Основными критериями выбора являются система подсветки, обработки изображения, перемещения и система анализа, которые непосредственно определяют возможности АОИ. По функциональным возможностям можно выделить две группы тестеров автоматической оптической инспекции сканерные и камерные.

Сканерные системы отличаются простотой и низкой ценой, чем и подкупают на первый взгляд. Однако они имеют ряд недостатков: фиксированный фокус, параллакс, отсутствие возможности контролировать паяное соединение. Сканерные системы занимают низкоуровневый сегмент рынка.

Другой тип АОИ систем - камерные системы. Такие тестеры имеют одну камеру, их относят к 2D-системам, или несколько - к 3D системам. Камерные системы имеют высокую разрешающую способность, отсутствие или компенсацию параллакса, возможность инспектирования качества пайки, чтения маркировки компонентов, в том числе и лазерной. 3D-системы за счет нескольких камер, установленных в разных положениях, позволяют рассматривать изображение в трехмерном пространстве (векторный метод), что уменьшает вероятность неточностей при анализе. Однако такие системы обычно имеют черно-белые камеры, что накладывает некоторые ограничения на работу с цветным изображением. Они отличаются высокой ценой и очень сложны, зачастую оказываются нерентабельными для производства с широкой номенклатурой и малой серией, где требуется быстрое создание тестовой программы. 2D-системы, дополненные специальной подсветкой, возможностью распознавания символьной маркировки и интеллектуальной обработкой данных, обеспечивают достоверность инспекции, в том числе и паяных соединений.

Отличным дополнением к универсальным АОИ системам является наличие на рынке специализированных систем. В процессе они занимают однозначное место и делают акцент на определенном виде анализа. Примером такой системы может служить ОАИ система контроля нанесения паяльной пасты типа АОИ KY-3030 от Koh Young Technology (рисунок 4.5.5), встраиваемая в автоматическую линию сборки печатных узлов.



Рисунок 4.5.5 – Фото АОИ KY-3030

Такое оборудование позволяет делать выводы только о качестве нанесения пасты. Гораздо более универсальными являются тестеры, предназначенные для тестирования паяного контакта после оплавления припойной пасты. Их использование вместе с последующим внутрисхемным контролем снизило общий уровень дефектов до 1%.

Примером таких систем можно считать системы АОИ производства MARANTZ Business electronics. Эта фирма начала разработку систем АОИ в 1994 году и с этого время выпустила на рынок четыре поколения тестеров. Последним поколением являются тестеры MARANTZ 22XCL (рисунок 4.5.6).



Рисунок 4.5.6 - MARANTZ 22XCL системы: настольная (слева) и встраиваемая в линию (справа)

MARANTZ 22XCL использует технологию комплексного формирования образа. При графической обработке каждого компонента, находящегося на плате - выполняется синтезирование изображения с использованием фильтра, работающего с учетом специального алгоритма обработки. Затем осуществляется сравнение полученного образа компонента с его аналогом из поставляемой с системой библиотеки. Применение методики комплексного формирования изображения снижает потребность в «считывании» большого количества изображений одного и того же компонента с целью компенсации влияния незначительных отличий на качество и стабильность процесса тестирования. Настройка параметров фильтра может осуществляться индивидуально для каждого компонента. Именно применение комплексного формирования изображения дает наилучшие результаты при инспекции качества пайки выводов ИМС, качества галтелей и корректности нанесения паяльной пасты на контактные площадки. Синтезирование маркировочных надписей позволяет определять правильность установки компонентов. Идеальный вариант применения таких тестеров – это встраивание их в линию после каждой операции процесса. При этом количество выполняемых функций сокращается, а настройки фильтров могут быть более жесткими. Такой подход обеспечивает практически полное выявление брака, но очень дорогостоящ.

Автоматический рентгеновский контроль

Поскольку 70-80% всех дефектов являются структурными (производственными), а методы внутрисхемного контроля не обеспечивают должного тестового покрытия (выявляемости дефектов) тестируемого изделия из-за недостаточного доступа к его компонентам, пользователи все более заинтересованы в использовании дополнительно к внутрисхемному контролю автоматического тестового оборудования, способного распознавать структурные дефекты на сложных платах. Отметим, что к производственным дефектам относятся обрывы и короткие замыкания, отсутствие или смещение компонента, приподнятые выводы компонентов, некачественная пайка (недопустимое количество пустот в паяном соединении), избыток или недостаток припоя и т.д. При этом ориентация компонентов, а также критерии пайки для выводных, SMT и дискретных компонентов и сборок четко регламентируются международными стандартами IPC A-610C и IPC-7095.

Никакая в отдельности взятая методика тестирования не решает всех проблем. У каждой есть свои плюсы и минусы. Хотя методы автоматической инспекции позволяют обнаружить дефекты на более ранних стадиях, быстро отладить и отремонтировать изделие, они не дают такой уверенности в функционировании продукции, как, например, внутрисхемные или функциональные методы. Оптимальную тестовую стратегию чаще всего обеспечивает комбинированный подход (распределенное тестирование), обеспечивающий баланс между такими требованиями как тестовое покрытие, выявляемость дефектов, доступ, время внедрения тестирования, время безотказной работы, общая экономия средств и производительность.

Просвечивающий автоматический рентгеноскопический контроль (AXI)

Рентгеноскопический контроль или 2D AXI состоит из источника рентгеновских лучей и приемника, между которыми под углом 90° к рентгеновскому излучению помещается испытываемое изделие.

Паяные соединения на обеих сторонах тестируемого изделия отображаются одновременно, и обычно они достаточно хорошо отличимы друг от друга. Проблемы возникают в тех случаях, когда паяные соединения одной стороны тестируемого изделия перекрывают соединения на другой стороне, делая их нетестируемыми или частично тестируемыми. Это называется потерей тестового доступа. В таком случае некоторые компоненты на испытываемом изделии могут быть недоступными для тестирования.

Применение цифрового томосинтеза (просвечивания под углом) или методов ламинографии (вращения приемника), то есть трехмерного автоматического рентгеноскопического контроля (3D AXI) позволяет получать независимое друг от друга одновременное отображение двух сторон платы. При этом исчезают проблемы наложения паяных соединений, хотя наличие теневых эффектов не позволяет ламинографическим системам достигнуть тестового покрытия 100%. Цифровой томосинтез в принципе дает больший доступ, чем ламинография, вследствие способности полностью снимать эффекты затемнения от устройств на противоположной стороне платы.

Каждая стадия тестирования в производственном сборочном процессе служит двум большим задачам:

- ♦ распознать и не пропустить дальше дефекты, допущенные на предыдущих стадиях;
- ♦ обеспечить обратную связь и обработать данные тестирования для генерации корректирующих и предупреждающих воздействий.

Достоинства метода тестирования определяются способностью обеспечить оптимальный баланс между производительностью, тестовым покрытием, общей экономией расходов, расходами на сервисную поддержку, временем освоения нового изделия, продолжительностью безотказной работы и множеством прочих факторов, специфических для каждого отдельного производителя.

Использование дополнительных тестовых стратегий может смягчить потери доступа на одной тестовой стадии с минимальным воздействием на качество продукции и эффективность производства, а специализированное программное обеспечение, предназначенное для проектирования процесса тестирования - DfT (design-for test) может ещё более упростить и автоматизировать распределение тестов.

Что же касается обратной связи данных измерений процесса сборки, то большая часть усилий специалистов концентрируется на анализе распределений дефектов по платам, по времени, по стадиям техпроцесса, по компонентам и так далее. Такой тип анализа основан на статистическом принципе, который утверждает, что получение соответствующих тестовых данных вполне достаточно для того, чтобы выявить любые причины отклонений, присущих производственному процессу.

Любой автоматический контроль основан на базовых принципах обработки изображения. В данном случае имеются различия в способах трансляции тестовых программ, выявляемости дефектов, производительности систем, затрат на их обслуживание и сроках окупаемости.

Если производить сравнение 2D и 3D AXI, то можно утверждать, что:

- ♦ Оба метода обеспечивают примерно одинаковый уровень выявляемости дефектов для большинства дефектов пайки, включая дефекты BGA, хотя 2D AXI благодаря лучшему контрасту изображения позволяет идентифицировать мелкие и трудно-распознаваемые дефекты пайки (такие как непропай), а способность распознавать более мелкие объекты и границы паяных соединений позволяет распознавать дефекты пайки BGA.
- ♦ Поскольку качество изображения выше при 2D AXI, этот метод дает более широкий оперативный простор производителям, которые могут инспектировать платы при меньшем увеличении, получать больший охват площади платы рентгеновским изображением, повышая общую производительность тестирования.
- ♦ 3D-ламинография использует технологию "лазерной топографии поверхности" для определения топологии поверхности платы с целью точного задания положения ламинографического среза. Данная технология не только менее производительна, чем 2D AXI, но и отрицательно влияет на способность качественного ламинографического контроля при малых увеличениях. Коробление и дрожание плат также создает проблемы при 3D-ламинографии, поскольку значительное количество паяных соединений в связи с тенденцией к их миниатюризации может оказаться вне фокуса, и не поддаваться контролю или доступу вообще.
- ♦ Также являясь 3D-технологией, цифровой томосинтез лишен вышеприведенных недостатков, так как использует метод цифрового синтезирования образа исследуемого объекта. Цифровой томосинтез можно назвать гибридной технологией, объединяющей достоинства 2D и 3D-технологий.

Внешний вид установок 2D и 3D рентгеноскопического исследования представлен на рисунке 4.5.7.



Рисунок 4.5.7 – Автоматическая рентгеноскопическая 2D система X8008-12 фирмы VISCOM (слева) и комбинированная рентгеноскопическая 2D/3D система XSTATION HS фирмы TERADYNE (справа)

Каждый потенциальный пользователь AXI должен внимательно оценить окупаемость, простоту использования, тестовое покрытие и другие характеристики выбранной тестовой стратегии. Исходя из упрощенного подхода системы 2D AXI примерно на 100-150 тысяч долларов дешевле, чем 3D. Возврат капиталовложений для любой тестовой стратегии зависит от множества факторов, времени безотказной работы, механических характеристик тестовой системы, времени разработки, отладки и оптимизации тестового программного обеспечения, повторяемости результатов, тестового покрытия. Поэтому опираться при выборе оборудования только на его стоимость нельзя.

Совмещение визуального и рентгеновского контроля в одной системе

На современном этапе развития электроники становится очень трудно сделать выбор между двумя методами инспекции печатных плат: автоматическим оптическим и автоматическим рентгеновским контролем. Принятие решения о приобретении инспекционного оборудования осложняется тем, что очень часто потребителям необходимы обе системы инспекции, а затраты на их приобретение и на обучение персонала могут быть очень высокими. Но есть решение, позволяющее потребителям не выбирать между оптическим и рентгеновским контролем. Таким решением можно считать использование комбинированных систем.

Преимущества подобных систем, не только в выигрыше в затратах на приобретение одной системы вместо двух, но экономия затрат на содержание комбинированной системы. Под затратами на содержание понимаются пуско-наладочные, ремонтные и регламентные работы, эксплуатационные расходы, затраты на расходные материалы и обучение персонала. При этом обслуживать комбинированную систему проще и быстрее.

При этом можно утверждать, что эффективность комбинированных систем полностью сопоставима с эффективностью использования двух отдельных систем оптического и рентгеновского контроля.

Недостаток комбинированных систем - это массивность конструкции и относительно большие габаритные размеры. Эти факторы могут быть существенными для некоторых потребителей, чьи производственные помещения имеют очень ограниченную площадь.

Автоматические оптические системы контроля печатных плат (AOI - Automatic Optical Inspection) обычно используются для инспекции качества нанесения паяльной пасты, установленных компонентов и паяных соединений. Для контроля качества пайки BGA, mBGA, CSP, Flip Chip компонентов, чьи контакты не видны, используют автоматические системы рентгеновского контроля (AXI - Automatic X-ray Inspection). Комбинированные системы позволяют распознавать как все визуальные, так и все невидимые дефекты, скрытые под корпусами компонентов.

Одной из самых популярных на рынке комбинированных систем оптического и рентгеновского контроля является KX2H (рисунок 4.5.8) компании Yamaha Motor Group. Данная система отличается высокой скоростью работы и возможностью осуществлять инспекцию очень больших печатных плат, размером до 610 x 510 мм.



Рисунок 4.5.8 – Установка оптического и рентгеновского контроля KX2H (i-PULSE, Yamaha Motor Group, Япония).

При выборе комбинированной инспекционной системы важным вопросом также является быстрая и простая смена продукции. Особенно это актуально для производства с малыми или средними объемами и с широкой номенклатурой продукции. Инспекционная программа должна быть быстро и без труда оптимизирована под новые требования клиента. Система КХ2Н обладает четким и простым пользовательским интерфейсом. При помощи специального программного обеспечения, можно программировать и оптимизировать производственный процесс в режиме "off-line" на отдельном компьютере. После этого необходимо лишь загрузить данные в систему. Это особенно актуально при смене продукции на производстве, где очень важно минимизировать непроизводственное время.

Электрический контроль

Электрический контроль печатных плат (ПП) и печатных узлов (ПУ) – важный производственный этап /13 - 15/. Его назначение – проверка целостности-разобобщения ПП, что предполагает проверку на обрыв цепи, короткое замыкание, правильность топологии. Измерения истинных значений омических сопротивлений цепей требуют использования четырехзондовой системы, что приводит к потере производительности тестеров. Применение импульсных токовых нагрузок для выявления слабых элементов в соединениях также связано с потерей производительности, поскольку режим такого контроля включает несколько последовательных этапов:

- ♦ вступление зондов в контакт;
- ♦ измерение сопротивления цепи с запоминанием его значения;
- ♦ нагружение цепи большим импульсом тока;
- ♦ измерение сопротивления и сравнение его с предыдущим значением;
- ♦ выход зондов из контакта.

Кроме того, для проверки токами давление зондов на контактные площадки ПП должно быть больше, чем для обычного тестирования. Это может повлечь повреждение контактных поверхностей.

Для контроля на разобобщение, как правило, используется пороговое значение сопротивления изоляции в 100 МОм. Контроль замедляет процесс тестирования и грозит пропуском дефектов изоляции. Выявление слабых мест изоляции большими напряжениями ограничено низкой электрической прочностью воздуха. Для тестирования изоляции за ограниченное время (порядка 1 с) требуется напряжение не менее 500 В, но при этом начинается электрическое коронирование с острых кромок зондов или проводников ПП и поэтому возможны ложные результаты тестирования изоляции.

Самый технически сложный компонент электрического контроля – это система контакта с тестируемой платой. Существует несколько методов электрического контактирования:

- ♦ ручной;
- ♦ с помощью адаптера (контактора);
- ♦ подвижных зондов, «летающих матриц».

При ручном методе оператор щупами последовательно проводит тест всех цепей, однако по статистике процент пропускаемых дефектов достигает 25%. Во время тестирования с помощью адаптера все размещенные на нем зонды находятся в контакте с контрольными точками, и скорость контроля определяется быстродействием переключаемых ключей. Обеспечивая высокую производительность, этот метод требует, однако, значительных затрат при переналадке. Для оборудования с подвижными зондами характерна простота переналадки, но производительность его невысока. Компромисс между универсальностью и производительностью обеспечивает метод «летающих матриц».

Внутрисхемный контроль.

Этот контроль представляет собой разновидность электрического и означает проверку отдельных компонентов на плате, причем при тестировании компонента исключается влияние параллельных цепей.

Внутрисхемный контроль подразделяется на аналоговый и цифровой. При аналоговом контроле обычно проверяются: наличие коротких замыканий и обрывов, номиналы дискретных компонентов, наличие и правильность установки микросхем. При цифровом внутрисхемном контроле проверяются цифровые микросхемы на соответствие таблице истинности.

Выбор оборудования и метода контактирования для внутрисхемного контроля зависит от требований и возможностей производителя печатных плат и узлов. Например, метод клипс и пробников (ручное тестирование) универсален, недорог, но требует больших временных затрат и сравнительно высокой квалификации персонала, поэтому его обычно применяют при единичном производстве и ремонте. Метод адаптера предполагает изготовление тестового контактора для каждого изделия. Возможно применение метода подвижных зондов, позволяющего снизить затраты на переналадку, однако для контроля собранных модулей предъявляются особые требования к оборудованию, а производительность такого метода, как уже говорилось, мала. Для контроля печатных узлов с высокими компонентами применяется метод «скорпион». Длинные щупы, имеющие три степени свободы, позволяют использовать в качестве тестовых точек контактные площадки, ножки компонентов, соединители и т.д. Возможно применение как адаптерных систем со щупами «скорпион», так и систем с перемещающимися щупами.

Функциональный контроль. Данный контроль также представляет собой разновидность электрического контроля и проверяет работоспособность изделия в сборе, при этом выполняются следующие задачи:

- ♦ подача питающего напряжения с возможностью изменения его в автоматическом режиме от минимально до максимально допустимого для данного изделия;
- ♦ подача цифровых и аналоговых входных сигналов в широком диапазоне частот и напряжений;
- ♦ измерение параметров выходных сигналов;
- ♦ эмуляция нагрузок;
- ♦ обмен данными между тестером и тестируемым устройством;
- ♦ обработка результатов измерений и вывод их на монитор, и принтер в удобном для пользователя виде;
- ♦ накопление и обработка статистической информации.
- ♦ При функциональном контроле контакт с изделием осуществляется, как правило, через краевой соединитель.

Основные технологии электрического контроля

Адаптер. Проверка плат с помощью адаптера заключается в их установке на тестовые адаптеры (рисунок 4.5.9) с последующими проверкой связности (т.е. обнаружения коротких замыканий/обрывов низким напряжением, около 10 В) и контролем изоляции на утечку и пробой высоким напряжением (до 500 В).

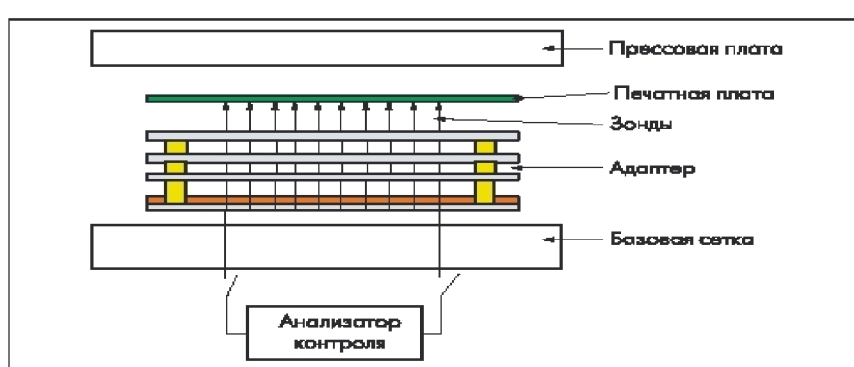


Рис.35 Структура тестера с адаптером

Рисунок 4.5.9 – Схема использования зондового тестового адаптера

Наличие тестовых зондов в переходных отверстиях, физически расположенных на одной дорожке ПП, позволяет достаточно точно локализовать обрывы. Проверка даже самой сложной платы данным методом занимает всего несколько секунд.

Узкое место с точки зрения универсальности в подобных установках – сама адаптерная часть. Самой дешевой (но и наименее универсальной) является такая конструкция адаптера, в которой провода идут непосредственно от патронов зондов к измерительной части. В этом случае переход от проверки одной платы к другой – длительный и трудоемкий процесс. Более дорогим и универсальным является решение, когда база адаптерной части имеет соединитель, через который к измерительному модулю подключается сменный элемент. Такая конструкция пользуется наибольшим спросом у российских производителей в связи с широкой номенклатурой и малой серийностью изделий. Проблема переналадки решается применением стандартизированных адаптеров, в которых зонды расположены с определенным шагом (обычно 2,5 мм, реже 1,25 мм). Для конкретного изделия изготавливаются шаблоны с просверленными отверстиями, через которые проходят зонды к точкам тестирования. Однако применение таких адаптеров затрудняют два фактора: даже при небольшом давлении на один зонд (500 – 800н) общее давление на адаптер может достигать нескольких тонн. Поэтому очень сложно изготовить адаптеры с шагом 1,25 мм.

Второй фактор связан с распространением плат с планарными контактными площадками высокой плотности – в этом случае шаг зачастую не равен стандартному, и применение таких адаптеров затруднительно. Для подобных плат обычно применяются дополнительные переходные адаптеры (с одного шага на другой), изготавливаемые индивидуально под каждое изделие.

Подвижные зонды. Для производства высокоплотных электронных модулей широкой номенклатуры оптимально тестовое оборудование с подвижными зондами. Установки этого типа имеют несколько зондовых головок с приводами по осям X, Y, Z, которые поочередно, по заранее разработанной программе, контактируют с платой (рисунок 4.5.10).

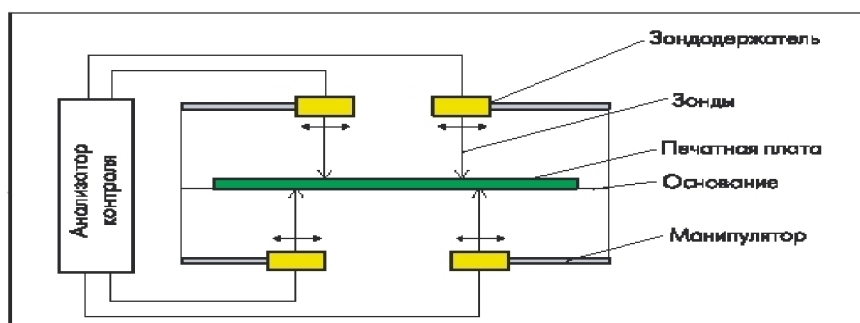


Рис.36. Структура тестера с подвижными зондами

Рисунок 4.5.10 – Схема использования подвижных зондов

При контактировании происходит подача и измерение сигнала. Для контроля этим методом не требуются дополнительные адаптеры, а для перехода от одной платы к другой достаточно лишь изменить программу тестирования. Отсутствие необходимости изготовления тестовых адаптеров, разработка программы перемещения зондов путем трансляции из САПР сокращают время подготовки к тесту и перехода от одной платы к другой. Вместе с тем высокой производительности тестирования данный метод не обеспечивает.

"Летающие матрицы". Метод относительно новый. При его разработке предполагалось решить основные проблемы существующих систем тестирования: упростить переналадку системы с адаптером и повысить производительность системы с подвижными зондами. При этом методе на каждой каретке размещается матрица щупов, каждый щуп которой может независимо перемещаться по оси Z. Матрица состоит из зондов, расположенных с определенным шагом (обычно 25 мм). Как правило, тестовые установки имеют

четыре матрицы, по две на каждую сторону, между которыми располагается тестируемая плата (рисунок 4.5.11).

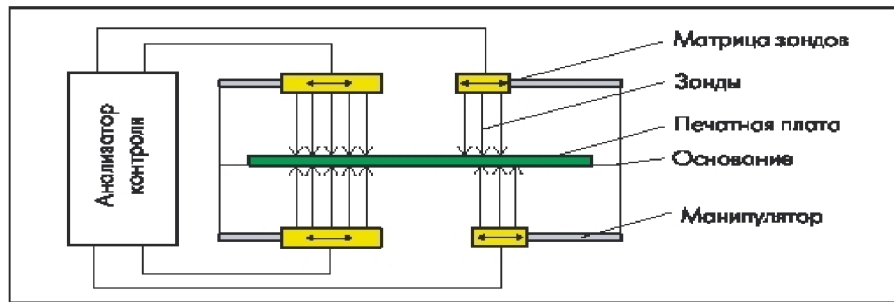


Рис.37. Структура тестера с летающими матрицами

Рисунок 4.5.11 – Схема использования летающих матриц

Благодаря этому возможно проведение 100%-ного контроля для любого варианта размещения тестируемых контактных площадок. Матрицы перемещаются на короткие расстояния по осям X и Y с высокой скоростью, при этом наиболее близко расположенный к точке тестирования зонд активизируется и производит подачу сигнала или измерение. Среднее расстояние перемещения очень мало (обычно около 1 мм), что дает огромное преимущество в скорости тестирования.

Для реализации метода достаточно двух "больших" матриц и двух "маленьких". Например, в установке New System S24-25 каждая большая матрица имеет 285 зондов (19 столбцов, 15 рядов), а каждая маленькая 75 зондов (5 столбцов, 15 рядов).

Число зондов можно увеличить за счет уменьшения расстояния между ними, и, следовательно, создать более быстродействующие тестирующие системы. Это важное отличие от установок с подвижными щупами, где увеличение числа зондов затруднено, так как для каждого щупа необходимо прибавить приводы по двум осям. Другими словами, добавление новых зондов в матрицу не усложняет механизм. Для привода зондов по оси Z, как правило, используется соленоид из-за его невысокой стоимости. Важно, чтобы зонды имели возможность контроля давления – настроив оптимальное давление подачи зонда, можно протестировать печатные платы с финишным покрытием, не оставив следов от зондов на его поверхности.

Один из основных показателей тестирующих систем – минимальный шаг, с которым система способна тестировать. Для его обеспечения крайний ряд зондов располагается на небольшом расстоянии от границы матрицы, что позволяет тестировать цепи с близко расположенными контактными площадками.

Важное достоинство систем с летающими матрицами – возможность одновременно тестировать несколько цепей на плате (для несложных плат). В этом случае тестирование выполняется параллельно с использованием двух измерительных систем. Все это приводит к быстродействию до 70 тест/с, что в 10 раз превышает аналогичные характеристики систем с подвижными щупами. А применение автоматических загрузчиков позволяет использовать установки такого типа в три смены, обеспечивая требуемую производительность и окупаемость.

Зонды. В основе электрического контроля лежит наличие системы «зонд–проводник платы–зонд» или «зонд–проводник платы–компонент–проводник платы–зонд». И наиболее ответственная часть установок контроля – сам тестовый зонд, поскольку именно от качества контактирования зависит достоверность получаемой информации. Тестовые зонды для адаптерного метода (рисунок 4.5.12) состоят из подпружиненной контактирующей части и патрона.

Контактирующая часть предназначена для обеспечения качественного контакта с платой и может иметь различные формы (коронка, игла, воронка и др.), которые определяются типом контактируемого объекта: переходного отверстия, вывода штырьковых компонентов, специально подготовленными тестовыми площадками и т.д. Патроны предназначены для проводного соединения с измерительной частью системы и отличаются по способу соединения с проводом: монтаж накруткой, обжим, пайка.

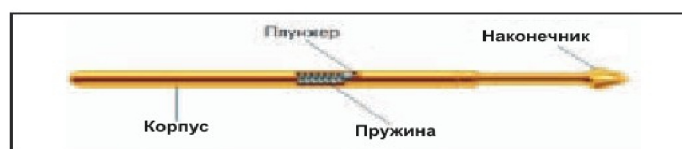


Рис.39.Тестовый зонд для адаптерного метода

Рисунок 4.5.12 – Основной элемент любого устройства электрического контроля – зонд

Перемещающиеся зонды систем летающая матрица или подвижные щупы, как правило, изготавливаются с универсальным коническим наконечником. Давление зонда на плату для тестирования плат различной толщины и жесткости его значение лежит в диапазоне от 10 до 150 г. Для снижения вероятности ложных ошибок необходимо, чтобы привод зондов по оси Z имел обратную связь.

5. Материалы, используемые в поверхностном монтаже

Припой.

Для пайки печатных плат до недавнего времени использовались исключительно низкотемпературные оловянно-свинцовые припои. Наиболее технологичными припоями, считаются эвтектические или околоэвтектические припои системы олово-свинец. Они отличаются низкой температурой начала плавления, отсутствием или малым (не более 5 - 10°C) интервалом плавления и кристаллизации, хорошим смачиванием многих металлов, затеканием в зазор /16/.

Применяют оловянно-свинцовые припои следующих составов; Sn63-Pb37, Sn60-Pb40, Sn40-Pb60, Sn95-Ag5, Sn62-Pb36-Ag2 и др.

Припои выпускаются в виде проволоки или заполненной флюсом одно или пятиканальной трубки. В прессованной проволоке каждое зерно припоя окружено канифолью. Содержание канифоли в целом не превышает 0,8...1,2% от общей массы припоя. Имеется также композитный самофлюсующий припой ПОС-61 КП. Его расход на формирование соединений на 10 - 30% ниже по сравнению с обычным проволоочным припоем.

Для изготовления трубчатых припоев используются высокочистые сплавы с минимальным количеством примесей. Они должны отвечать требованиям национальных и международных стандартов, в том числе QQ-S-571E и J-STD-006A. Температуры плавления и состав обычных оловянно-свинцовых эвтектических припоев или близких к ним, например выпускаемых фирмой Multicore, приводятся в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Оловянно-свинцовые трубчатые многоканальные припои

Тип сплава по J-STD-006 (фирма Multicore)	Состав припоя	Температура плавления
Sn60 (60 EN)	Sn60/Pb30	183 – 188°C
Sn62	Sn62/Pb36/Ag2	179°C
Sn63	Sn63/Pb37	183°C

Для пайки компонентов поверхностного монтажа рекомендуется применять трубчатые припои диаметром в пределах 0,46 – 1,0 мм. Специально для пайки миниатюрных чип-компонентов поставляются трубчатые припои на основе сплава Sn62/Pb36/Ag2 диаметром 0,46 и 0,56 мм. Серебро добавляют для предотвращения миграции серебра, используемого при производстве чип-компонентов, в припой и для повышения прочности паяного соединения. Для других применений рекомендуются сплавы Sn60/Pb30 (аналог ПОС-61) и Sn63/Pb37.

В последнее время, в связи с принятием многими странами производителями запрета на использование свинца при производстве РЭС, все большее распространение получают припои на основе бессвинцовых сплавов. В том числе и для производства трубчатых

припоев. В таблице 5.2 приведены состав и температура плавления припоев без применения свинца, выпускаемых фирмой Multicore.

Таблица 5.1 – Бессвинцовые трубчатые многоканальные припои

Тип сплава (фирма Multicore)	Состав припоя	Температура плавления
99C	Sn99,3/Cu0,7	227°C
96SC	Sn95,5/Ag3,8/Cu0,7	217°C

Бессвинцовый сплав 99C по основным характеристикам является близким аналогом традиционного сплава Sn60, что позволяет полностью заменить его без значительных изменений технологического процесса.

Флюсы.

Флюсы для пайки аппаратуры делятся на две группы: не активированные (на основе канифоли и полиэфирных смол) и активированные. Канифоль состоит из смеси нескольких слабых органических кислот, основная из которых абиетиновая. Эта кислота растворяет оксиды меди, не воздействуя на чистую медь. Вместе с тем абиетинаты меди не являются коррозионными продуктами. Канифоль и полиэфирные смолы, попадая в диэлектрик плат, не снижают его сопротивление изоляции. Не активированные флюсы широко применяются для пайки изделий ответственного назначения и в качестве консервирующих покрытий, сохраняющих паяемость печатных плат в условиях длительного складского хранения.

В активированных флюсах, как это следует из названия, присутствуют активаторы – вещества, повышающие флюсующую активность. Среди них амины, слабые органические кислоты и др. Активаторы, как правило, содержат ионы галогенов или активные остатки, снижающие сопротивление изоляции диэлектриков. Поэтому активированные флюсы и их остатки следует тщательно отмывать. Их рекомендуется применять при высокопроизводительной механизированной пайке или пайке плохо смачиваемых металлов (например, никеля). К этой группе относятся также водорастворимые флюсы, не содержащие канифоли (Л5, ФКГЭА и др.).

Активированные флюсы с активатором и на основе неорганических кислот в производстве РЭС не применяются из-за их воздействия на паяемые металлы и резкого снижения сопротивления изоляции диэлектриков.

В большинстве трубчатых припоев применяются флюсы на основе химически очищенной канифоли. Такие флюсы обладают малым количеством остатков по сравнению с обычной канифолью и более высокой активностью. Удаление остатков таких флюсов для аппаратуры, используемой в нежестких условиях, является необязательным, так как остатки флюса обладают устойчивостью к воздействию повышенной влажности и температуры в процессе эксплуатации. Остатки данных флюсов после пайки без отмывки выдерживают стандартные испытания на поверхностное сопротивление изоляции. При выборе типа флюса следует учитывать совместимость флюса входящего в состав трубчатого припоя с флюсами для групповой пайки и в составе паяльных паст, взаимная реакция флюсов разных производителей может приводить к ухудшению электрических параметров изделия или усложнению процесса отмывки.

Припойные пасты.

Припойные пасты (широко распространен также термин «паяльная паста») – это механическая смесь порошка припоя, связующего вещества (или смазки), флюса и некоторых других компонентов. Пасту можно нанести ровным, точно заданным слоем с помощью механизированных и автоматизированных средств, описанных в пункте 4.1.

К припойным пастам предъявляются следующие требования:

- ♦ пасты не должны окисляться, сильно и быстро расслаиваться;

- ♦ желательно долго сохранять свои реологические свойства (т.е. способность к вязкому течению и деформации);
- ♦ не растекаться далеко за пределы первоначально нанесенной дозы;

- ♦ не оставлять твердых не удаляемых остатков после пайки;
- ♦ обладать клеящими свойствами;
- ♦ не разбрызгиваться при воздействии достаточно концентрированного источника нагрева;
- ♦ не ухудшать электрических характеристик печатных плат;
- ♦ отмываться в стандартных растворителях;
- ♦ наноситься на поверхность нужным способом;
- ♦ быть доступными по цене.

Припойная паста обеспечивает значительную (до 30...50%) экономию припоя благодаря точечному дозированию. Клеящие свойства некоторых паст позволяют использовать их для фиксации компонентов перед пайкой.

Следует перечислить такие важные с технологической точки зрения характеристики припойных паст, как вязкость, растекаемость в исходном состоянии (или расплывание за пределы нанесенной дозы), растекаемость во время пайки, расслаиваемость (седиментация - оседание порошка в пасте при хранении), смачиваемость основного металла. Их необходимо учитывать при разработке процесса пайки.

Основным компонентом припойной пасты является порошок припоя, его может быть 75...95% от массы припоя. Считается, что все низкотемпературные припои можно получить в виде порошка или пасты.

Содержание металла определяет толщину оплавленного припоя, оседание и растекание порций пасты, и другие свойства. В случае оловянно-свинцовых припоев при содержании по массе 90% объемное содержание металла и толщина слоя составляют около 60%. При содержании припоя по массе 75% его содержание по объему составляет всего около 35%.

Размер и форма частиц порошка оказывают сильное влияние на реологические свойства пасты. Так, присутствие в пасте крупных частиц ухудшает реологические свойства пасты. При большом числе мелких частиц они заполняют пространство между крупными частицами и ухудшают текучесть пасты. Кроме того, мелкие частицы имеют относительно большую площадь поверхности, что увеличивает скорость их окисления. Наилучшие результаты получаются при использовании частиц диаметром 10...150 мкм.

Форма частиц определяет во многом способность пасты дозироваться тем или иным способом. Если частицы имеют неправильную форму - продолговатую, в виде чешуек, то паста начинает забивать мелкие отверстия сетки трафарета или шприца дозатора. Для таких паст единственным возможным вариантом остается дозирование через металлическую маску – трафарет. Частицы припоя сферической формы придают пасте способность к легкому продавливанию через узкие отверстия сетки или дозатора.

По размеру частиц паяльные пасты делятся на несколько основных типов, приведенных в таблице 5.3 (стандарт IPC/EIA J-STD-005).

Таблица 5.3 – Основные типы паяльных паст по размеру частиц

Классификация частиц припоя по стандарту IPC	Диаметр частиц припоя
Тип 2	75 – 45 мкм
Тип 3	45 – 25 мкм
Тип 4	38 – 20 мкм
Тип 5	25 – 15 мкм

При выборе паст с малым размером частиц следует помнить, что такая паста будет легко наноситься даже через маленькие окна в трафарете, однако при этом процесс пайки может сопровождаться разбрызгиванием шариков припоя.

Паяемость припойной пасты зависит от окисленности и загрязненности поверхности частиц порошка припоя. По зарубежным стандартам припой не должен содержать более 0,5% кислорода. Но важно не объемное содержание кислорода, а количество его в тон-

ком приповерхностном слое, реагирующем в самом начале процесса с флюсом и основным металлом. Отрицательное влияние на свойства пасты оказывает также углерод, который по некоторым предположениям попадает на поверхность частиц порошка из тары и упаковки в процессе хранения и транспортировки. Поэтому на всех этапах, начиная от изготовления порошка и кончая пайкой, необходимо принимать все меры против взаимодействия частиц с кислородом и углеродом.

Вводимый в припойную пасту флюс играет ту же роль, что и при пайке компактным припоем. Обычно в пасту вводят те же флюсы, которые используются и при обычной пайке. Большинство флюсов для паяльных паст изготавливаются на основе натуральной канифоли с высокой степенью очистки или синтетических смол. Флюсы, не требующие отмытки, должны отвечать следующим требованиям:

- ♦ не содержать галогенов и других соединений, которые легко диссоциируют на ионы, снижающие уровень электрических параметров печатной платы и способствующие возникновению коррозии;
- ♦ температура плавления канифолей и смол, входящих в состав флюса, должна быть выше максимальной температуры эксплуатации РЭС. Это связано с тем, что при переходе из стеклообразного состояния в вязко-текучее происходит резкое изменение свойств флюса (сопротивление изоляции, диэлектрической проницаемости, сорбционной активности и т.д.) отрицательно влияющих на функциональные характеристики РЭС, которые могут привести к сбоям и отказам в процессе эксплуатации.

Безотмывочные паяльные пасты фирмы Multicore, например, изготавливаются с использованием органических безионных активаторов, не содержащих галогенов (или их процентное содержание не превышает 0,5%, что допускается стандартами IPC), а также специальных модифицированных канифолей или синтетических смол с температурой плавления 80 - 125°C.

Основные физико-химические свойства припойных паст определяются благодаря введению в порошок припоя 4...15% связующих веществ. Именно они (иногда с добавлением растворителя) придают пасте нужную консистенцию, препятствуют расслоению и растеканию припойной пасты, повышают ее разрешающую способность, придают клеящие свойства, адгезию к подложке.

Связующее вещество нейтрально по отношению к припою в ходе хранения и пайки, а при нагреве и пайке улетучивается или расплавляется без образования трудно удаляемых твердых остатков.

В качестве связующих веществ используют органические смолы или их смеси, разбавители и другие вещества. К ним добавляют растворители, пластификаторы, тиксотропные вещества. Последние препятствуют оседанию частиц порошка припоя во время хранения, повышают разрешающую способность пасты, обеспечивают заданный диапазон вязкости.

Перед применением паяльную пасту, в отличие от трубчатого или пруткового припоя необходимо подготовить. За 6 – 8 часов до начала использования необходимо вынуть пасту из холодильника, где она должна храниться все время до применения, и выдержать при комнатной температуре до полной стабилизации. Категорически не допускается дополнительный подогрев пасты нагревательными приборами. Нельзя также открывать холодную банку пасты для трафаретной печати, это может вызвать конденсацию влаги и ухудшение параметров паяльной пасты. После выдержки паяльной пасты при комнатной температуре, пасту необходимо тщательно перемешивать в банке шпателем в течение нескольких минут. Некоторые виды паст, поступающих в специальных картриджах, устанавливаемых в устройства дозирования, не требуют предварительного перемешивания.

Пасту, которая находилась на трафарете в течение всей рабочей смены, не рекомендуется использовать. Если устройство трафаретной печати не использовалось в течение четырех часов, необходимо произвести очистку трафарета от остатков паяльной пасты перед продолжением работы.

Паяльные пасты должны использоваться при температуре окружающей среды в пределах от + 20°C до + 30°C и относительной влажности 30 – 70%.

При использовании трафарета для нанесения паяльной пасты расход пасты можно рассчитать по следующей оценочной методике:

Удельный вес паяльной пасты – Y

$$Y = 100 \times P / ((100 - M) \times P + M) \text{ г/см},$$

где P – удельный вес припоя в паяльной пасте, M – процентное содержание металлической составляющей в пасте по весу.

Расход паяльной пасты – A :

$$A = Y \times H \text{ мг/мм},$$

где H – толщина трафарета.

Клеи.

Клеи в поверхностном монтаже применяются для фиксации поверхностно-монтажных компонентов на печатной плате при пайке волной припоя или при двухстороннем монтаже компонентов при пайке оплавлением.

Клеи состоят из:

- ♦ эпоксидных смол 60 %;
- ♦ отвердителя в твердом состоянии 25%;
- ♦ разбавителей, красителей, стабилизаторов 5%;
- ♦ упаковки.

Клеи поставляются в шприцах для нанесения методом дозирования по 10 и 30 см³ и в картриджах 300 см³ для нанесения методом трафаретной печати. По заказу возможна поставка клея в другой упаковке.

Хранение клеев поверхностного монтажа должно осуществляться в холодильнике при температуре от +2°C до +8°C, при этом срок хранения клея составляет 6 месяцев. При комнатной температуре срок хранения сокращается. Перед использованием клеи надо выдерживать при комнатной температуре в течение 2-4 часов (для шприца 30 см³). Наиболее распространенными методами нанесения являются дозирование и трафаретная печать.

Дозирование, как и дозирование припойной пасты, может осуществляться:

- ♦ пневматическим способом;
- ♦ шнековым;
- ♦ струйным (системы Asymtek Dispense Jet);
- ♦ переносом штырями.

Трафаретная печать клея реализуется через:

- ♦ пластиковый трафарет;
- ♦ металлический трафарет.

При дозировании шнековыми и пневматическими системами имеют значение следующие параметры. Калибр иглы (внутренний диаметр) влияет на геометрический размер точки в диапазоне от 0,15 до 0,7 мм. Зазор между иглой и печатной платой влияет на высоту дозируемой точки. Он должен соответствовать требуемой дозе клея и внутреннему диаметру иглы. Обычно зазор выставляется равным половине внутреннего диаметра иглы. Давление на поршень шприца с клеем устанавливается в диапазоне 11,5 атм. для шнековых дозаторов и 1,5 – 2,0 атм. для пневматических дозаторов. Температура клея в головке/игле дозатора влияет на скорость дозирования и качество получаемой точки. Дозирование можно осуществлять при комнатной температуре, однако максимальная производительность без ухудшения формы точки достигается при температуре 30 – 35 °C. Рассчитывая высоту точки надо учитывать, что должен обеспечиваться контакт точки клея с корпусом компонента. Также важно, чтобы доза обеспечивала достаточную площадь для контакта с корпусом компонента, и при этом, после установки компонента излишки, клея не попадали на контактные площадки.

Внутренний диаметр иглы, зазор между иглой и печатной платой, температура клея при дозировании, время дозирования – основные параметры, которые можно контролировать и изменять для достижения оптимальных размера и формы точки для большинства компонентов поверхностного монтажа. Наибольшей производительности дозирования можно добиться уменьшением зазора между иглой и поверхностью печатной платы и оптимизацией пути обхода поверхности печатной платы. Следует помнить, что очень маленький зазор может приводить к образованию тяжей. Давление на поршень шприца должно быть таким, чтобы клей не вытекал из шприца, когда не идет процесс дозирования.

При трафаретной печати клеи должны обладать минимальным поглощением влаги из окружающей среды. При нанесении они должны катиться в форме валика, также как и паяльные пасты, и легко разделяться с ракелем. Наиболее предпочтительным является нанесение клея через пластиковый трафарет толщиной 3 мм с использованием пластикового ракеля. Возможно нанесение и через стальной трафарет с использованием металлического ракеля. Недостатком этого метода является получение низкопрофильных точек.

Рекомендуемые условия отверждения – нагрев до температур выше 100°C, (обычно 90-120 сек при 150 °C). Степень полимеризации и конечная прочность зависят от времени нахождения при температуре полимеризации.

Для удаления остатков клея с оборудования рекомендуется использовать специально предназначенную для этого промывочную жидкость (например, Zestron ES200 или других).

Список используемых источников

1. А.Вотинцев, С.Борисенков Технология печатного монтажа. Шаг за шагом.- Электроника: Наука, Технология, Бизнес, 2005, №1, С 48-51.
2. www.old.elservtechno.ru
3. www.kip.tomsk.ru
4. www.ersa.ru
5. www.pribor.ru
6. Д. Зенцов Русский Hi-Tech в малых формах: прецизионный дозатор.- Технология в электронной промышленности, 2005, №3, с 30 – 31
7. www.ostec-smt.ru
8. www.finestreet.ru
9. Монтаж на поверхность. Технология. Контроль качества. / под. ред. И.О.Шурчилова М.: Издательство стандартов, 1991. – с.184
10. www.averon.ru
11. www.laser-trafaret.ru
12. www.sovtest.ru
13. Медведев А.М. Электрическое тестирование печатных плат. // Компоненты и технологии. Технологии в электронной промышленности. 2005 №2.
14. www.siplace.ru
15. Городов В.А. Электрический контроль печатных плат и узлов. // Электроника НТБ.
16. Припои и покрытия для бессвинцовой пайки изделий микроэлектроники / Зенин В., Рягузов А., Бойко В., Гальцев В., Фоменко Ю. // Технологии в электронной промышленности. – 2005. – №5.