

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
„Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых“

В. П. КРЫЛОВ, С. Н. МАРЫЧЕВ

ПОВЕРХНОСТНЫЙ МОНТАЖ
В ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Лабораторный практикум



Владимир 2014

УДК 621.396
ББК 32.844
К85

Рецензенты:

Кандидат технических наук, полковник внутренней службы
начальник факультета очного обучения
Владимирского юридического института
Федеральной службы исполнения наказаний
А. С. Клементьев

Кандидат технических наук, профессор
зав. кафедрой технико-технологических дисциплин
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
Л. Н. Шарыгин

Печатается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

Крылов, В. П.

К85 Поверхностный монтаж в технологии электронных средств :
лаб. практикум / В. П. Крылов, С. Н. Марычев ; Владим. гос. ун-т
им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. — Владимир : Изд-во ВлГУ, 2014. —
68 с. — ISBN 978-5-9984-0443-6.

Является составной частью учебно-методического комплекса курсов
"Технология электронных средств", "Технология приборостроения" и "Техно-
логия измерительных устройств".

Предназначен для студентов, обучающихся по направлениям подготов-
ки бакалавров 211000 — Конструирование и технология электронных средств,
200100 — Приборостроение и 200106 — Информационно-измерительная тех-
ника и технологии дневной и заочной форм обучения. Может быть использо-
ван в системе повышения квалификации инженерно-технических работников
радиоэлектронной промышленности.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в со-
ответствии с ФГОС 3-го поколения.

Ил. 33. Библиогр.: 9 назв.

УДК 621.396
ББК 32.844

ISBN 978-5-9984-0443-6

© ВлГУ, 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ

Технология монтажа электронных компонентов на поверхность печатной платы (*SMT — Surface Mounting Technology*) в отличие от классического монтажа "в металлизированное отверстие" (*PTH — Plated Through-hole или THT — Through Hole Technology*) дает разработчикам и изготовителям электронных средств новые возможности для повышения конкурентоспособности продукции, позволяет существенно уменьшить габаритные размеры печатных узлов, увеличить степень интеграции, повысить надежность при уменьшении стоимости.

Предлагаемый вниманию читателей лабораторный практикум на базе лаборатории поверхностного монтажа Владимирского государственного университета (ауд.114-3 ВлГУ) поможет приобрести начальные практические навыки работы на современном технологическом оборудовании для прототипного и мелкосерийного производства электронных модулей (печатных узлов) и получить наглядное представление о технологических возможностях и ограничениях SMT.

Основная задача практикума — усилить "деятельностную" компоненту подготовки будущего конструктора-технолога по сравнению со "знаниевой" компонентой. Выполнение практикума, по замыслу авторов инновационного проекта "Межфакультетский научно-образовательный центр "CALS в электронике" (НОЦ CALS-E), должно способствовать повышению уровня практической подготовки, качества курсовых и дипломных проектов за счет практической реализации выполненных разработок и в конечном итоге сокращению срока адаптации выпускников университета в условиях современного производства электронных средств.

Описания лабораторных работ включают:

- краткое введение в предметную область работы;
- описание установок и особенностей их эксплуатации;
- варианты лабораторных заданий;
- контрольные вопросы для допуска к работе и защиты отчета.

Лабораторные задания рассчитаны главным образом на студентов старших курсов направления 211000 – Конструирование и технология электронных средств и смежных направлений. Вместе с тем авторы считают, что ознакомление с лабораторным практикумом может быть полезно и студентам младших курсов указанных направлений, например в рамках УИРС (учебно-исследовательской работы студентов) и при изучении дисциплины "Введение в специальность".

Лабораторный практикум является составной частью методического обеспечения технологического цикла дисциплин указанного направления и включает три лабораторных работы с вариативными заданиями. Лабораторное задание конкретной бригаде студентов может содержать не все, а только часть пунктов, приведенных в соответствующем подразделе практикума. По мере наращивания производственной активности лаборатории предполагается непосредственное участие студентов в выполнении реальных заказов предприятий и организаций.

Условиями допуска студентов к лабораторной работе является знание ими теоретических основ изучаемых в работе технологических процессов и операций, а также правил охраны труда и технологической гигиены и дисциплины при работе с промышленным технологическим оборудованием. Условием успешной защиты отчетов служит умение объяснить полученные экспериментальные результаты и связать теоретические сведения и рекомендации стандартов с практическими результатами.

К практикуму прилагается компакт-диск (CD) с мультимедийными приложениями к каждой лабораторной работе. Он содержит видеоматериалы и каталоги, подготовленные авторами и их помощниками – студентами ВлГУ, а также любезно предоставленные фирмами ДИПОЛЬ, ОСТЕК, СОВТЕСТ, ЭЛЕКТРОН-СЕРВИС-ТЕХНОЛОГИИ, УНИВЕРСАЛПРИБОР, АВЕРОН (Россия), DIMA (Нидерланды), Накко (Япония), MyData (Швеция), МЕСНАТРОНИКА (Польша), РВТ (Чехия), PUREX (Англия).

Электронную версию лабораторного практикума с мультимедийными приложениями можно получить в локальной вычислительной сети ВлГУ на сервере межфакультетского научно-образовательного центра "СALS-технологии в электронике" (НОЦ СALS-Е).

Лабораторная работа 1

ХАРАКТЕРИСТИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ И НАНЕСЕНИЯ ПАЯЛЬНЫХ ПАСТ

Цель работы. Изучение технологических характеристик и методов приготовления и нанесения паяльных паст в технологии поверхностного монтажа.

1.1. Паяльные пасты: характеристики, способы приготовления и нанесения

Практика показывает¹, что больше половины ошибок всего процесса сборки печатных узлов с помощью поверхностного монтажа приходятся именно на этап нанесения паяльной пасты на печатную плату (ПП). Поэтому очень важно квалифицированно подобрать паяльные пасты и режимы технологического процесса нанесения. Количество припоя, требуемое для образования качественного соединения, зависит от формы выводов, размеров контактных площадок, компланарности выводов, коробления ПП, смачиваемости и т.д. После того как оптимальное количество припоя для соединения определено, необходимо обеспечить повторяемость процесса нанесения паяльной пасты, содержащей припой.

Паяльные пасты являются основным материалом для пайки оплавлением (инфракрасная пайка, пайка в парогазовой фазе, или конденсационная, конвекционная пайка, кондукционная и лазерная) [4, 6]. Паяльные пасты представляют собой однородную смесь частиц (гранул) припоя с флюсом и гелеобразующими веществами (рис. 1.1). При этом:

- паяльная паста служит не только материалом для пайки, но и технологическим клеем, что позволяет в целом ряде случаев исключить нанесение клея с последующим его отверждением;

- нанесение паяльной пасты с помощью металлических трафаретов или дозированием обеспечивает повторяемость объема припоя, на-

¹Вотинцев А., Борисенков С. Технология поверхностного монтажа: шаг за шагом // Электроника: наука, техника, бизнес. 2005. № 1. С. 48 – 55.

носимого на контактные площадки, что снижает вероятность образования перемычек припоя или нанесения недостаточного количества припоя, что положительно проявляет себя при пайке компонентов с малым шагом выводов;

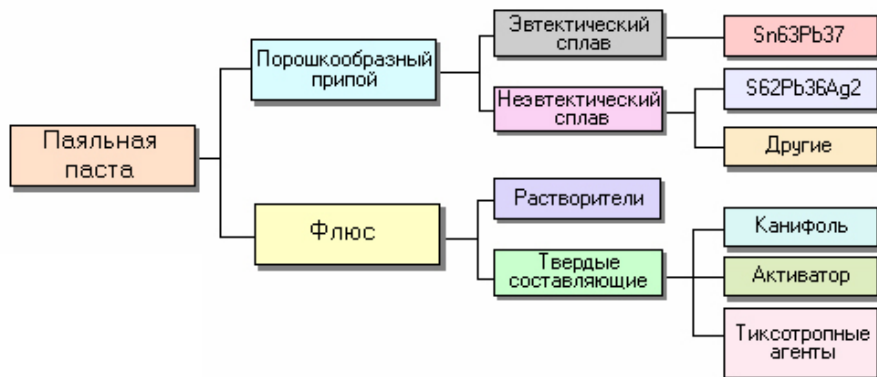


Рис. 1.1. Состав паяльных паст

— использование пайки оплавлением, в свою очередь, позволяет обеспечить относительно хорошо управляемый температурно-временной профиль с постепенным нагревом, исключая возможность термоудара, отрицательно влияющего на компоненты;

— поведение паяльной пасты не чувствительно к типу паяльной маски. Установлено, например, что при пайке волной припоя паяльная маска может быть причиной образования шариков и перемычек припоя, а также пропуска соединений с ростом толщины паяльной маски;

— применение паяльной пасты делает возможной так называемую "пошаговую" пайку, когда после первой пайки оплавлением паяльная паста с меньшей температурой может быть нанесена на участки и оплавлена без повторного расплавления паяных соединений, сформированных при первой пайке.

Кроме основных компонентов — припоя и флюса — для придания нужных реологических² свойств в пасту вводят добавки, которые:

²Реология — учение о текучести (вязкости), включая зависимость вязкости от приложенного давления.

— обеспечивают нужную вязкость и зависимость вязкости от приложенного давления. Последние именуют тиксотропными агентами — они обеспечивают увеличение вязкости после снятия давления. Это дает положительный эффект при нанесении через окна металлического трафарета — нанесенная на плату паста "запоминает" форму окна, не растекаясь по плате. Для придания пасте определенной тиксотропности, как правило, используют воски, которые также снижают износ трафаретов [4, с. 123]. Вязкостью пасты управляют введением в нее высококипящих растворителей с температурой кипения 220 . . . 290 °С;

— обеспечивают так называемую технологическую клейкость — способность свеженанесенной пасты фиксировать установленные на плату компоненты, даже если они находятся на нижней стороне платы (разумеется, при ограничениях на массу этих компонентов).

Время жизни паяльной пасты в основном связано с испарением растворителя и как следствие увеличением вязкости. Это обстоятельство предъявляет особые требования к хранению неиспользуемой пасты (в холодильнике). На время сохранения технологической клейкости, в том числе и при переходе пасты в расплавленное состояние, влияет правильно подобранная комбинация нескольких растворителей, которая обычно является секретом фирмы — изготовителя пасты.

Важными для качества паяльной пасты считаются также объемная доля припоя в пасте и размер частиц припоя. Приводимые в литературе [4, с. 122] рекомендации таковы: размер частиц припоя не должен превышать 1/7 размера отверстия в трафарете при нанесении пасты через трафарет или 1/10 внутреннего диаметра иглы дозатора. Следует иметь в виду, что при снижении размера частиц припоя возрастает вязкость пасты.

Контролируемые характеристики паяльных паст целесообразно "привязать" к операциям технологического процесса монтажа:

— *хранение* (стабильность свойств в определенных условиях хранения);

— *нанесение*, то есть либо трафаретная печать, либо дозирование (время жизни после нанесения, тиксотропия, отделяемость трафарета, растекаемость, возможность тонкой печати с шагом до 0,4 мм, размазываемость пасты по трафарету, максимальная скорость печати);

– *установка компонентов* (технологическая клейкость, стойкость к растеканию после нанесения);

– *пайка оплавлением* (наличие частиц припоя, в том числе окисленных, в остатках флюса, смачиваемость, включая способность расплавленного припоя к капиллярному растеканию, отсутствие короткозамыкающих перемычек);

– *отмывка* (визуальный контроль на остаток флюса и аппаратная проверка ионных загрязнений).

Поскольку припой являются мягкими сплавами металлов, то получение из них мелких гранул (порошка) возможно только при переходе их из жидкого состояния в твердое с помощью различных методов распыления [4, с. 125–126]: газового, центробежного или ультразвукового. При этом решаются две основные задачи:

– получить малые размеры шариков припоя;

– предотвратить окисление диспергированного припоя.

После диспергирования порошкообразный припой сепарируют (разделяют) на фракции с нужным размером шариков сначала струей азота, которая отделяет частицы с размерами меньше минимального, а затем порошок идет на сито, где задерживаются частицы с размерами, превышающими заданные величины.

Наиболее распространенными размерами сегодня являются 20...50 мкм для плат с шагом выводов компонентов не менее 0,5 мм. Пайка микрокорпусов, в частности формирование на их поверхности шариковых (столбиковых) выводов, очевидно, потребует уменьшения указанных размеров до интервала 15...25 мкм.

В соответствии со стандартом IPC/ETA J-STD-005 паяльные пасты делятся на 6 типов (классов) в зависимости от диаметра частиц (шариков) припоя. Типу 1 соответствует диаметр 150–75 мкм, причем частиц с размером 150 мкм не более 1%, а частиц с размерами 20 мкм не более 10%. Типу 2 соответствует диаметр частиц припоя 75–45 мкм, типу 3 — 45–25 мкм, типу 4 — 38–20 мкм, типу 5 — 25–15 мкм, типу 6 — 15–5 мкм. Для типа 6 частиц с размерами 15 мкм не более 1%, а частиц с размерами 5 мкм — не более 10%.

Вязкость паст, которые являются так называемыми неньютоновскими жидкостями с высокой тиксотропностью, существенно зависит

от приложенного давления, поэтому ее вязкость, измеряемая в пуазах, нормируется при вполне определенном давлении. Паста с низкой вязкостью склонна к расслаиванию, а с высокой — может закупорить отверстия трафарета или даже вовсе не проникнуть в них. К тому же вязкость сильно зависит от температуры пасты.

В лабораторных условиях вязкость может быть измерена с помощью вискозиметра. Существует другой более практичный и доступный способ определения вязкости: готовую к применению пасту перемешать в банке шпателем в течение минуты. Взять на шпатель небольшое количество пасты и приподнять над банкой на 10 см. Паста должна сползть в банку, как густой сироп. Если основное количество пасты не сползло в банку, ее вязкость слишком велика.

Для трафаретной печати (рис. 1.2,а) стандарты IPC рекомендуют использовать пасты с содержанием припоя 89–91% по весу, а для диспенсорного дозирования (см. рис. 1.2, б) — пасты с содержанием припоя не более 85% по весу.

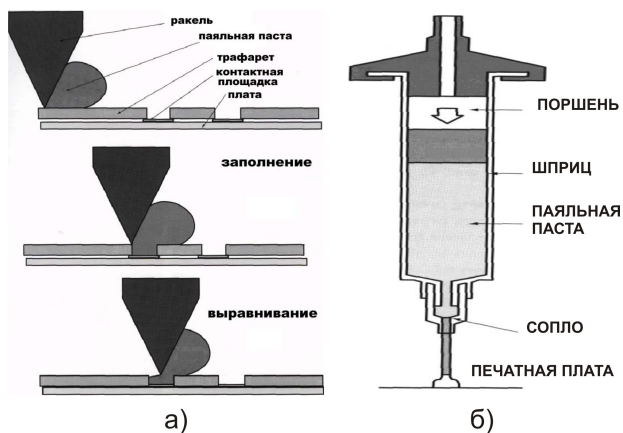


Рис. 1.2. Трафаретная печать (а) и дозирование (б) паяльных паст

В составе паст применяются несколько основных типов припоев:

– традиционные оловянно-свинцовые с добавкой серебра для предотвращения миграции серебра из чип-компонентов, например Sn62/Pb36/Ag2;

— для предотвращения эффекта "надгробного камня" смешиваются припои типа 3 и типа 5. Частицы меньшего диаметра с более низкой температурой плавления ($179\text{ }^{\circ}\text{C}$) расплавляются быстрее, чем более крупные частицы сплава Sn63 ($183\text{ }^{\circ}\text{C}$), в этом случае изменение сил поверхностного натяжения происходит медленнее и равномернее, чем у эвтектических припоев. В результате испытаний было установлено, что количество дефектов типа эффекта "надгробного камня" в случае применения паяльных паст с промежуточной пастообразной фазой сокращается в десятки раз по сравнению с традиционными припоями;

— бессвинцовые, удовлетворяющие директиве RoHS Евросоюза об изъятии свинца из продукции электроники. Например, припой со сплавом Sn95,5/Ag3,8/Cu0,7 с температурой плавления $217\text{ }^{\circ}\text{C}$ позволяет заменить традиционный сплав Sn62/Pb36/Ag2 по электрическим и механическим параметрам. Бессвинцовые сплавы обладают высокой прочностью по сравнению со сплавами олово-свинец, наивысшей устойчивостью к термоциклированию, рекомендуются для пайки компонентов с разными коэффициентами теплового линейного расширения. Недостатками этих сплавов считают матовость паяных соединений из-за большого содержания олова и серебра и высокую температуру плавления, требующую увеличения температуры пайки до $235\text{--}260\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Хранить паяльную пасту, если она не будет использована в ближайшее время, рекомендуется в холодильнике при температуре от $+5$ до $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$, при этом срок хранения паяльной пасты составляет до 6 месяцев с даты производства. Следует избегать температуры хранения ниже $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Хранение в рекомендуемых условиях увеличивает срок жизни паяльной пасты.

За 6—8 часов до начала использования необходимо вынуть пасту из холодильника и выдержать при комнатной температуре до полной стабилизации. Категорически не допускается дополнительный подогрев пасты нагревательными приборами. Не открывайте холодную банку с пастой для трафаретной печати, это может вызвать конденсацию влаги и ухудшение параметров паяльной пасты. После выдержки паяльной пасты при комнатной температуре тщательно перемешайте пасту в банке шпателем в течение 1 мин. Паяльная паста полностью готова к использованию и не требует применения дополнительных разбавите-

лей. Выньте необходимое для работы количество паяльной пасты, затем плотно закройте вставку и крышку банки. Если оставшаяся в банке паста не будет использована в течение ближайших дней, ее следует снова поместить в холодильник. Паяльная паста в картриджах для применения в автоматах трафаретной печати не требует дополнительного перемешивания перед началом использования.

Паяльная паста для трафаретной печати, которая не была использована в течение рабочей смены, не должна смешиваться со свежей пастой. Остатки пасты рекомендуется складывать в отдельную тару и использовать в начале следующей смены (не больше чем через 12 часов). Не рекомендуется использовать пасту, которая находилась на трафарете в течение всей рабочей смены. Если устройство трафаретной печати не использовалось в течение четырех часов, рекомендуется очистить трафарет от остатков паяльной пасты перед продолжением работы.

Паяльная паста в шприцах для нанесения методом дозирования после нагрева до комнатной температуры полностью готова к применению. Паяльные пасты должны использоваться при температуре окружающей среды в пределах от +20 до +30 °С и относительной влажности 30–70%.



Рис. 1.3. Зависимость количества дефектов от количества пасты

Надежность паяного соединения вывода SMD-компонента и контактной площадки платы определяется не только материалом и состоянием поверхностей соединяемых деталей, маркой пасты, свойствами

флюса, режимом пайки, но и количеством пасты³ (рис. 1.3). Это количество должно быть достаточным, чтобы избежать недопаев, и в то же время не быть чрезмерным, чтобы не образовать замыканий между выводами и соседними компонентами⁴. Точное (по количеству) нанесение пасты может быть реализовано трафаретным или диспенсорным методом.

Трафаретный метод наиболее распространен в серийном производстве, включая мелкосерийное, особенно при наличии дешевых трафаретов [4, с. 213-222]. Паста при проведении специальным инструментом — ракелем — по поверхности трафарета продавливается через сформированные в нем окна на контактные площадки платы (см. рис. 1.2, а). Трафареты изготавливают из листовой нержавеющей стали, латуни и других сплавов с помощью лазерной резки, химического травления или гальванопластики. Свои преимущества имеют сетчатые трафареты на основе проволочной сетки (рис. 1.4), которые давно известны изготовителям печатных плат.

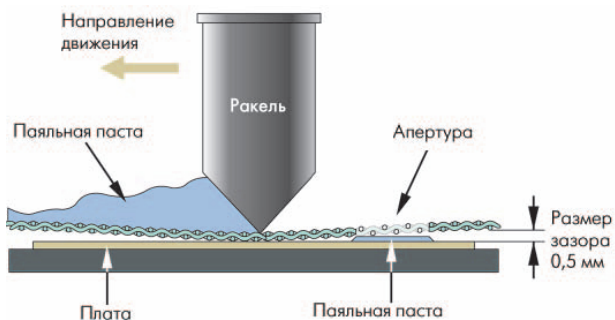


Рис. 1.4. Сетчатый трафарет для нанесения паяльных паст

Для снижения вероятности образования шариков припоя из-за выдавливания паяльной пасты за пределы контактных площадок при установке чип-компонентов может использоваться специальная конструк-

³ЗАО предприятие ОСТЕК. Введение в технологию поверхностного монтажа: рекомендации по конструированию печатных узлов. 245 с.

⁴Геннадий Штрикер. Методика расчета оптимального количества паяльной пасты для SMD-компонентов // Компоненты и технологии. 2002. № 2. С. 38 – 39.

ция окон в трафарете. Эти рекомендации основаны на требованиях международного стандарта IPC-7525 "Руководство по конструированию трафаретов".

Поскольку для различных компонентов требуется различное количество паяльной пасты на контактных площадках платы, существует проблема подбора правильной толщины трафарета. Для нанесения различного объема пасты на контактные площадки одной и той же платы поступают по-разному: крупные фирмы-производители используют трафареты сложной конфигурации (многоуровневые разнотолщинные трафареты, рис. 1.5), остальные же производители применяют трафареты двойной толщины (система трафарет-на-трафарете). При работе с трафаретами двойной толщины паста наносится только каучуковыми (полиуретановыми) ракелями, кромка которых повторяет рельеф трафарета при нанесении.

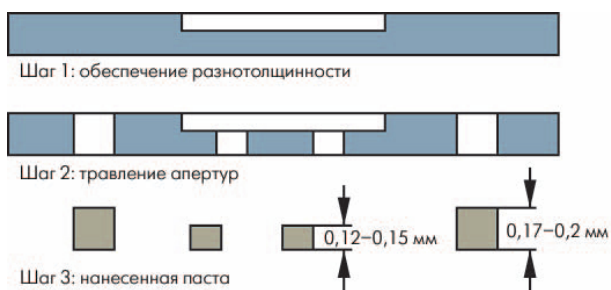


Рис. 1.5. Разнотолщинный металлический трафарет

Металлические трафареты используются для больших заготовок плат при массовом выпуске. Важные параметры металлического трафарета — точность изготовления апертур и гладкость его поверхностей. Для создания такого трафарета применяют три способа: химическое травление, лазерное фрезерование, аддитивный метод.

При химическом травлении (фрезеровании) на металлическую пластину с обеих сторон наносят фоторезист, который экспонируют и проявляют. Затем сквозь образовавшиеся окна травят металл. Техника двухстороннего травления обеспечивает существенно меньшую погрешность формы кромки окна, чем односторонняя. Однако после трав-

ления кромка отверстия получается не гладкой, и для достижения требуемого ее качества используются электрополировка или гальваническое осаждение никеля. Полировка всей поверхности трафарета может привести к тому, что шарики припоя будут "отскакивать" от поверхности трафарета и образовывать прослойку между поверхностью трафарета и кромкой ракеля. Поэтому всегда стремятся полировать только кромки апертур. Нанесение же никеля повышает качество наносимой пасты, однако слой никеля может существенно изменить размер апертур трафарета, что следует учитывать при его проектировании.

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

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

Аддитивный способ изготовления (метод гальванопластики) заключается в гальваническом осаждении никеля на гибкую подложку — медную фольгу толщиной 6 мм. На фольгу накатывается фоторезист, который экспонируется и проявляется таким образом, чтобы полученный рельеф повторял рисунок будущего трафарета. Затем на подложку

химико-гальваническим способом осаждается никель. После достижения требуемой толщины трафарета процесс осаждения заканчивается и производится смывка фоторезиста. Ключевой этап получения готового трафарета — отделение никелевого слоя от медной подложки, которое осуществляется изгибом меди. Процесс гальванического осаждения, как и лазерный метод, исключает подтравливание стенок апертур, что, в свою очередь, исключает забивку пасты под его поверхность. В результате снижается вероятность замыканий на ПП. Однако такая абсолютно вертикальная кромка апертур вызывает проблемы при отделении трафарета от платы.

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

Зарубежные компании, работающие в данной отрасли (Samsung, Asm, Siemens и т.д.), используют два основных типа ракелей: полиуретановые и металлические. По мере уменьшения шага выводов компонентов все большую популярность приобретают металлические ракели, которые изготавливаются из нержавеющей стали или латуни и располагаются под углом от 30 до 45° в установках трафаретной печати. Благодаря тому что форма рабочей кромки в процессе нанесения пасты остается неизменной (что объясняется высокой жесткостью материала), металлические ракели не вызывают вычерпывания пасты из окон трафарета. Однако стоимость металлических ракелей гораздо выше полиуретановых, а кроме того, они вызывают значительный износ трафарета⁵.

Основные виды брака при ручной трафаретной печати (вызванные ошибками оператора):

- неравномерное нанесение пасты из-за неравномерной силы прижатия ракеля к трафарету;
- смазывание пасты при отрыве трафарета от ПП;

⁵Вотинцев А., Борисенков С. Технология поверхностного монтажа: шаг за шагом // Электроника: наука, техника, бизнес. 2005. № 1. С. 48 — 55.

– неполное заполнение апертур трафарета из-за загрязнения кромки ракеля пастой или использования просроченной пасты.

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

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

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

– дефект совмещения трафарета и ПП. Ошибка совмещения апертур трафарета и контактных площадок платы не должна превышать 15% от минимального размера апертуры трафарета для контактной площадки минимального элемента платы;

– просадка пасты. Возможна из-за неправильно подобранной вязкости паяльной пасты. Рекомендуемая просадка пасты не должна превышать 15% минимального размера контактной площадки;

– неравномерность толщины нанесенной пасты. Колебания толщины пасты не должны превышать $\pm 20\%$ от требуемой. Слишком тонкий слой может быть недостаточным для пайки компонента, а слишком толстый приводит к замыканиям контактных площадок платы;

– вычерпывание пасты из апертур трафарета. Такой дефект может вызываться чрезмерной силой прижатия ракеля к поверхности трафарета или слишком мягкой кромкой ракеля. В результате уменьшается количество пасты на контактных площадках. Из-за вычерпывания уменьшение пасты не должно превышать 20% от расчетной ее высоты;

– излишки пасты. Такой дефект может вызываться недостаточной силой прижатия ракеля к поверхности трафарета или погрешностью геометрической формы кромки ракеля. Высота нанесенной припойной пасты с учетом этого дефекта не должна превышать расчетную более чем на 20%;

– наклон нанесенной пасты по отношению к ПП. Регламентируется следующим образом: разница максимальной и минимальной высоты пасты не должна превышать 20% необходимой высоты.

В прототипном производстве электронных модулей (печатных узлов) используется диспенсорный метод (дозирование) [4, с. 211-213], в котором применяют шприц-дозатор с устройством нормированного пе-

ремещения штока шприца для точного дозирования паяльной пасты (см. рис. 1.2, б). Ручная или автоматическая дозировка обеспечивается либо за счет управляемой подачи сжатого воздуха, либо с помощью спирального механического привода (спирали Архимеда)⁶. В итоге паста в виде "капель" поступает на контактные площадки⁷ (рис. 1.6).

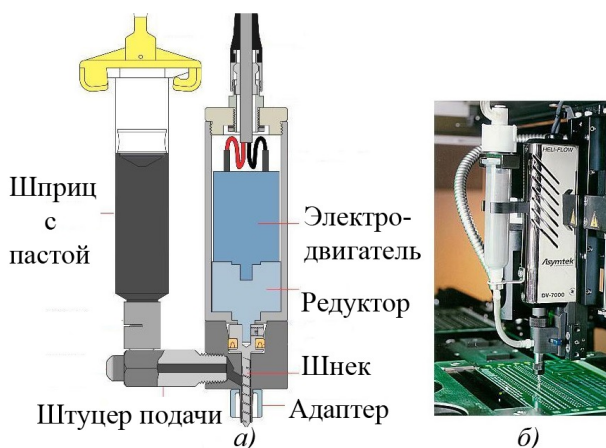


Рис. 1.6. Автоматический дозатор: а – конструкция; б – внешний вид

Сравнивая эти два метода следует отметить⁸, что по сравнению с трафаретным диспенсорный метод не стоит считать более экономичным: стоимость пасты для трафаретного нанесения около 100 дол./кг, а пасты для дозатора около 500 дол./кг.

Обычно отверстия трафарета открывают лишь 50–90% площади контактных площадок, что исключает нанесение излишнего количества паяльной пасты. В результате данный метод в отличие от диспенсорного позволяет осуществлять высокоточный монтаж компонентов со сверхмалым шагом выводов.

⁶<http://www.efd-inc.com/NR/rdonlyres/5102B600-6D7E-487A-847D-19E3593D0714/0/EFDAugerValveDispensing.pdf>

⁷http://www.asymtek.com/products/documents/DV7000_2006_09.pdf

⁸Вотинцев А., Борисенков С. Технология поверхностного монтажа: шаг за шагом // Электроника: наука, техника, бизнес. 2005. № 1. С. 48 – 55.

Задача контроля точности размещения паяльной пасты на контактных площадках печатной платы трафаретной печатью сводится к определению перекрытия контактной площадки платы окном трафарета. В зависимости от вида продукции критерием правильности может являться различное процентное значение перекрытия площадок в пределах 60–80%. Наиболее точно это оценивают специальные сканирующие оптические машины — двумерные и трехмерные сенсорные устройства. Перед началом проверки в память сканирующего устройства передается база данных расположения контактных площадок по печатной плате. Эта база данных дает возможность устройству по указанию оператора обследовать тот или иной участок платы и выявить угловые точки контактной платы и площадки паяльной пасты. Угловые точки определяются после аппроксимации форм контактной площадки и пасты прямоугольниками. Критерием качества будет отношение площади пересечения контактной площадки и пасты к площади контактной площадки.

Для диспенсорного метода такой подход в принципе возможен, однако следует иметь в виду, что в этом случае надо дополнительно к площади оценивать объем нанесенной пасты. В первом приближении каплю пасты можно моделировать полусферой. Следующее приближение потребует использование приемов компьютерной томографии, для чего надо иметь в распоряжении несколько снимков капли, сделанных под разными известными углами с разных фиксированных точек съемки.

Автоматизация процессов вносит существенные коррективы в сложившиеся представления об областях применения указанных методов. До недавнего времени, например, считалось, что трафаретная печать обеспечивает значительно более высокую точность дозирования и производительность процесса. Появление на рынке технологического оборудования бестрафаретного автоматического принтера MY500 фирмы MyData в определенной степени заставило скорректировать представления о возможностях диспенсорного метода нанесения, сделало его привлекательным и для мелкосерийного многономенклатурного производства, не говоря уж о прототипном производстве плат с малыми размерами контактных площадок⁹. Появился новый термин — "капле-

⁹Рыбаков С. MYDATA — философия гибкости // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 1. С. 4 – 6.

струйная печать", который, по мнению авторов, отражает суть модификации диспенсорного метода в бестрафаретном принтере MY500 фирмы MyData, Швеция (рис. 1.7).

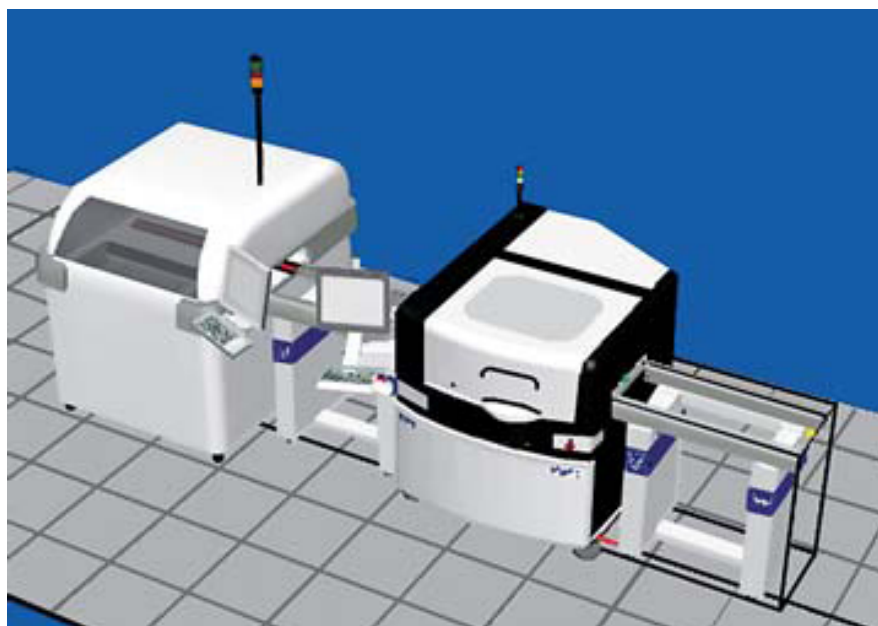


Рис. 1.7. Трафаретный и каплеструйный принтеры в автоматической линии

Каплеструйная печать — это способ нанесения паяльной пасты путем ее "выстреливания" со скоростью до 1800000 доз (капель) в час при почти комнатной температуре (примерно 30 °С) из картриджа через эжектор на печатную плату согласно топологии платы (см. рис. 1.6). "Сердце" эжектора — приводимый в действие электромотором шнек (Архимедов винт), который подает фиксированное количество пасты в единицу времени на иглу-шприц. Пока шнек вращается и поддерживается давление примерно 1 бар, паста будет выдавливаться из иглы. Если шнек прекратит вращение, то обратное давление предотвратит вытекание паяльной пасты из иглы. Наглядное представление о данном методе дает видеопрезентация *my500.avi*, любезно предоставленная авторам фирмой MyData. Ее можно найти на CD/ЛР1/приложения.

Точность позиционирования картриджа по осям X и Y обеспечивается с помощью линейных двигателей с обратной оптической связью на уровне $3\sigma = \pm 0,015$ мм. В целом все очень похоже на принцип действия струйного принтера для обычного компьютера.

Каплеструйный процесс печати отличается рядом преимуществ:

- он более эффективен с экономической точки зрения при определенных объемах производства;
- освобождает конструктора от ряда имевшихся ранее ограничений;
- у него достаточно высокая точность, определяемая размерами капли — минимального дискрета объема;
- это чистый и полностью программируемый процесс, облегчающий подготовку производства;
- он может помочь при проблемах с поставкой компонентов;
- способен поддерживать стабильность планирования производства и предотвращать возникновение многих видов брака;
- способен программным путем компенсировать неплоскостность платы, где трафарет может неплотно прилегать к поверхности платы;
- исключается эффект "забитых" пастой апертур трафарета;
- стабилизация температуры пасты при нанесении гарантирует ее реологические свойства, необходимые для нанесения точного количества;
- облегчается нанесение слоев припойной пасты различной высоты.

И все это с минимальными потерями пасты, правда, достаточно дорогой. Однако с уменьшением размеров контактных площадок для компонентов весьма малых размеров преимущества трафаретной печати пока не подлежат сомнению, хотя разработчики каплеструйного метода полны энтузиазма и считают¹⁰, что все зависит от паяльной пасты с соответствующими размерами зерен припоя. Пока наиболее оптимальным представляется последовательное соединение трафаретного и каплеструйного принтеров в составе автоматической линии (см. рис. 1.7).

¹⁰Гранди П. Каплеструйная печать: другой способ нанесения паяльной пасты // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 4. С. 33 – 36.

1.2. Дозатор МОСКИТ (АПДП 1.0) фирмы АВЕРОН (Россия, г. Екатеринбург) и установка трафаретной печати UNIPRINT-M фирмы PVT (Чехия)

Прецизионный цифровой дозатор МОСКИТ (АПДП 1.0) (рис. 1.8) для дозирования клея и паяльной пасты (производитель АВЕРОН, Россия, г. Екатеринбург) представляет собой пневматический дозатор с микропроцессорным управлением и с внешним компрессором¹¹.

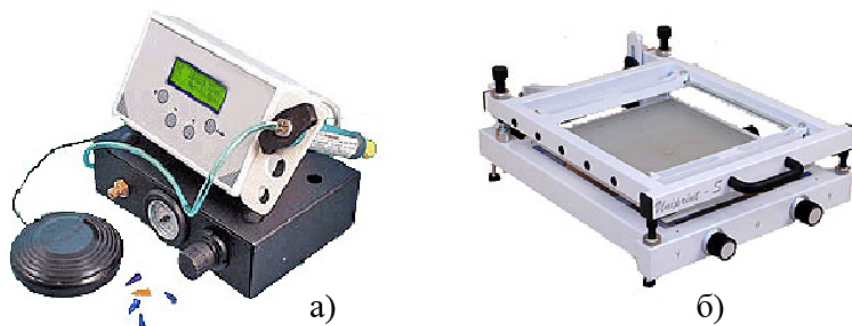


Рис. 1.8. Диспенсорный дозатор МОСКИТ фирмы АВЕРОН, Россия (а), и ручной трафаретный принтер UNIPRINT-M фирмы PVT, Чехия (б)

Размер капли наносимого вязкого материала (паяльной пасты, клея и др.) определяется вязкостью материала, силой и продолжительностью импульса, диаметром иглы. Программное обеспечение позволяет реализовать одну из девяти ранее запомненных программ (время дозирующего импульса, интервал следования импульсов), наличие нескольких программ позволяет облегчить процесс нанесения материалов на печатные платы с большим количеством контактных площадок разного размера.

Основные технические характеристики:

— производительность — до 4000 доз в час;

¹¹Зенцов Д. Русский Hi-Tech в малых формах: прецизионный ручной дозатор // Технологии в электронной промышленности. 2005. № 3. С. 78 – 79

- продолжительность дозирующего импульса в пределах от 0,05 до 9,99 с;
- периодичность следования импульсов от 0,1 до 99,9 с;
- программирование — на передней панели;
- количество программ дозирования — 9;
- электропитание 220 В, 50 Гц, 0,1 А;
- внешний источник сжатого воздуха 4–6 атм., расход — порядка 50 л/мин.

С помощью клавиатуры и ЖК-дисплея (отображающего информацию на русском языке) оператор может задать до девяти хранящихся в энергонезависимой памяти устройства программ, записанных в режиме обучения. Возможно и ручное задание оператором с клавиатуры режимов нанесения пасты или клея в пределах технических характеристик. Подтекание материалов предотвращается обратной тягой в промежутках между импульсами дозирования. Наряду с автоматическим регулярным следованием импульсов подачи возможна эпизодическая работа от педали.

Воздушная магистраль подключается к пневмоблоку дозатора через быстросъемные адаптеры-соединители. Пневмоблок дозатора конструктивно отделен от электронного блока с целью обеспечения автономной ремонтпригодности и будущих модификаций, например интеграции вакуумного пинцета с дозатором.

В комплект поставки входят два шприц-картриджа объемом 10 и 30 мл, а также набор из шести дозирующих сменных игл — по три иглы с внутренним диаметром 0,84 и 0,5 мм. Диаметр иглы определяется вязкостью дозируемого вещества: в слишком узкой игле материал может попросту застревать, а из слишком широкой иглы материал может неконтролируемо выливаться. При ручном дозировании рекомендуется держать иглу шприца под углом 45–75° к поверхности печатной платы. По завершении цикла дозирования уверенным движением вертикально вверх следует отнять шприц от поверхности платы.

Если наконечник установлен слишком близко к поверхности платы, возможно образование тяжёлых (нитей материала, тянущихся за наконечником и падающих затем на поверхность ПП), а также перенос дозы на следующую позицию. Слишком высокое расположение нако-

нечника вызовет растекание дозы и также возможно образование тяжей (рис. 1.9). Образования тяжей можно избежать, осуществив нагрев наконечника либо области, близкой к области дозирования, — материал в этом случае лучше отделяется от наконечника.



Рис. 1.9. Расположение наконечника дозатора

Возможны следующие дополнительные проблемы, связанные с неправильным выбором значения зазора. Если наконечник находится близко к поверхности, паста, выйдя из наконечника, ударится о поверхность платы, и возникшее обратное давление не даст пасте вытекать дальше. Продолжительная работа шнека без истечения пасты вызывает расслоение пасты и холодную сварку частиц в дозаторе. Если он располагается далеко от ПП, паста будет иметь лучшую адгезию к себе самой и наконечнику, чем к поверхности платы, прилипнет к наконечнику и не останется на плате при переходе к следующей дозе. Получается картина "большая точка — маленькая точка": паста будет налипать на наконечник, при нанесении следующей дозы она перейдет на ПП, будет снова захвачена на следующем шаге дозирования и т.д.

Стандартное значение зазора, рекомендуемое большинством производителей, составляет $1/2$ от внутреннего диаметра наконечника либо 60% от него и составляет обычно 0,15–0,3 мм.

Существуют различные способы выдерживания зазора. Самый простой из них — использование опорного штыря. Он контактирует с по-

верхностью платы и выдерживает необходимый зазор независимо от ее возможного прогиба и других геометрических погрешностей. Тем не менее, такой подход не обеспечивает необходимой гибкости в настройке зазора, а также часто возникает проблема контактирования штыря с компонентами на ПП либо уже нанесенными дозами. Более совершенные системы используют другие методы контроля высоты — контактные (механические датчики силы с контактным усилием всего лишь 1 г) и бесконтактные (лазерные датчики). Такое оснащение дозатора позволяет иметь одну дозирующую головку на весь диапазон размеров доз и зазоров.

Свойства пасты существенно деградируют при встряхивании, резких ударах и воздействии вибрации на шприц. Особенно опасна вибрация, вследствие чего оборудование, вызывающее ее (например вибробункерные питатели), должно быть удалено от дозирующих систем; в противном случае произойдет быстрое расслоение пасты. Если убрать такое оборудование или изолировать дозатор от его воздействия не представляется возможным, следует использовать шприцы меньшего объема, не дающие пасте существенно расслоиться за время своего опустошения. Большое влияние на расслоение пасты могут оказать быстрое ускорение, вибрации и ударные нагрузки, вызываемые работой автоматизированного дозирующего оборудования. В этом случае также необходим подбор оптимального размера шприца.

Объем шприца выбирается исходя из соображений частоты замены, температурных воздействий и размера наносимой дозы. Например, в приложениях, где паста расходуется со скоростью 10 г/ч, шприцы объемом 3 см³ не будут хорошим выбором, так как потребуются их замена через 1 час работы. В этом случае для минимизации времени простоя оборудования для замены шприца следует использовать объем 30 см³. Если же 10 г пасты расходуются в течение двух дней, использование шприцев объемом 3 см³ минимизируют потери материала, связанные с деградацией его свойств с течением времени. Это соображение очень важно, если паста подвергается нагреву в процессе дозирования, что обычно происходит из-за сжатия воздуха в пневматической системе и трения в материале, а также при повышенной температуре воздуха на производстве, за счет тепла рук монтажника и по другим причинам.

Размер наносимой дозы определяет количество циклов дозирования, после которого шприц опустошается. При более мелких дозах это количество растет и паста более длительное время подвергается деградирующим механическим воздействиям. Тем не менее, большинство паст позволяет выполнить не менее 10000 циклов дозирования без ухудшения свойств пасты вследствие механического воздействия на нее.

Изготовителем рекомендуется ежедневно после использования промывать дозирующие иглы в спирто-бензиновой смеси.

Семейство принтеров трафаретной печати, разработанных и поставляемых фирмой PBT (Чехия), в нашей лаборатории представлено ручным устройством UNIPRINT-M для нанесения паяльной пасты с рабочим столом 420 x 340 мм (см. рис. 1.8). Буква М в обозначении принтера означает, что для крепления плат используется стол с магнитными держателями, что позволяет крепить на нем платы с двухсторонним монтажом. При этом максимальная площадь нанесения пасты с использованием ручных полиуретановых ракелей составляет 350 x 250 мм.

Стол принтера оснащен двумя магнитными направляющими для крепления платы с двух сторон, пятью поддерживающими иглами, препятствующими прогибанию платы, и двумя магнитными штыревыми креплениями для дополнительной фиксации плат. Точность позиционирования по осям составляет $\pm 0,02$ мм, а максимальная толщина платы может достигать 30 мм.

При нанесении паяльная паста должна образовывать валик, диаметр валика пасты должен находиться в пределах от 0,5 до 5 мм. При недостаточном количестве пасты трудно добиться вращения валика пасты перед ракелем при его перемещении; при избыточном количестве пасты происходит загрязнение трафарета. Угол наклона ракеля подбирается экспериментальным путем и может лежать в пределах от 12 до 60°. Большой угол позволяет легче катить валик пасты, малый угол обеспечивает большее давление на пасту. Для стандартных компонентов рекомендуется угол наклона ракеля — 60°, а для компонентов с малым шагом — 45°.

Оптимальную силу прижима ракеля подбирают опытным путем с учетом толщины трафарета и скорости перемещения ракеля. При недостаточном давлении паста не полностью продавливается в окна, а при

чрезмерно большом трафарет будет деформироваться. Для достижения оптимальной силы прижима ракеля работу следует начать с 1 кг на 100 мм длины ракеля при скорости 20 мм/с. Постепенно увеличивая давление, добейтесь равномерного нанесения паяльной пасты. Предпочтительным является сила прижима 1–2 кг на 50 мм длины ракеля. Изменение рабочей температуры на 1 °С требует пропорционального изменения давления ракеля на 5%.

Скорость перемещения ракеля определяется экспериментальным путем, но может зависеть от минимального шага компонентов и типа паяльной пасты. Обычно скорость нанесения выбирается в диапазоне от 15 до 250 мм/с.

Рекомендуемая скорость разделения трафарета с печатной платой может составлять от 0,3 до 20 мм/с в зависимости от типа оборудования, пасты и минимального шага выводов компонентов.

После нанесения паяльной пасты на 15–20 печатных плат рекомендуется очистить трафарет с нижней стороны для предотвращения образования перемычек и шариков припоя в процессе пайки.

1.3. Лабораторное задание

Для успешной работы в лаборатории (для допуска к работе) необходимо накануне занятия обязательно прочитать два предыдущих подраздела и ознакомиться с обучающей мультимедийной презентацией по данной работе. При подготовке к защите отчета рекомендуется ознакомиться с приложениями к видеопрезентации.

На занятии в лаборатории обучающимся предлагаются следующие варианты лабораторных заданий (конкретный набор вариантов задает преподаватель):

РАБОТА С ПРЕЦИЗИОННЫМ ЦИФРОВЫМ ДОЗАТОРОМ МОСКИТ:

Вариант 1.3.1. Оценка точности дозирования паяльной пасты с помощью диспенсера.

1. Получить у преподавателя значения настроек дозатора. Включить дозатор МОСКИТ в соответствии с рекомендациями мультимедийной презентации и техническим описанием.

2. Нанести на участок плотной белой бумаги в разных местах три дозы паяльной пасты при разных настройках дозиметра, пометив цифрами 1, 2, 3 места нанесения доз. Настройки задает преподаватель.

3. Повторить эксперимент п. 2. два раза.

4. На лабораторной работе № 7 визуально оценить, есть ли зависимость количества нанесенной пасты от настроек дозатора. Сфотографировать дозы пасты с помощью системы технического зрения под углами 90 и 45° так, чтобы в поле телекамеры попала штриховая мира. Получить jpg-файлы снимков для последующего анализа.

5. Предъявить преподавателю полученные образцы нанесения паяльной пасты и jpg-файлы для отметки о выполнении экспериментальной части работы. Дальнейшая обработка результатов может выполняться в дисплейном классе на занятии или дома с помощью программ обработки изображений, которые позволяют количественно (в пикселах или других условных единицах) определить расстояние между точками на изображении (Рекомендуется использовать программы Paint, Adobe Photoshop в режиме INFO, CorelDraw и пр.).

Вариант 1.3.2. Подготовка печатной платы к установке компонентов.

1. Получить у преподавателя печатную плату и рекомендации по установке параметров дозирования цифрового дозатора МОСКИТ (или документацию на печатную плату).

2. Включить дозатор МОСКИТ в соответствии с рекомендациями мультимедийной презентации и техническим описанием. Установить параметры дозирования, рекомендованные преподавателем или приведенные в сопроводительной документации на печатную плату.

3. Нанести паяльную пасту на все контактные площадки в соответствии с сопроводительной документацией (чертежом платы).

4. На стенде лабораторной работы № 7 с помощью микроскопа контролировать качество нанесения паяльной пасты сравнением с требованиями стандартов IPC. Получить фотографии нормальных и "проблемных" участков платы в виде jpg-файлов.

5. Предъявить преподавателю полученные образцы нанесения паяльной пасты и jpg-файлы для отметки о выполнении экспериментальной части работы.

6. Дальнейшая обработка результатов может выполняться в дисплейном классе на занятии или дома с помощью программ обработки изображений, которые позволяют количественно (в пикселах или других условных единицах) определить расстояние между точками на изображении (Рекомендуется использовать программы Paint, Adobe Photoshop в режиме INFO, CorelDraw и пр.).

РАБОТА С РУЧНЫМ УСТРОЙСТВОМ ТРАФАРЕТНОЙ ПЕЧАТИ UNIPRINT-M:

Вариант 1.3.3. Исследование точности нанесения паяльной пасты через металлический трафарет с помощью устройства UNIPRINT-M.

Паста после нанесения будет удалена с платы отмывкой на лабораторной работе № 6.

1. Получить у преподавателя паяльную пасту, ракель, печатную плату или групповую заготовку в комплекте с трафаретом для нанесения паяльной пасты.

2. Закрепить печатную плату и трафарет в устройстве UNIPRINT-M в соответствии с описанием устройства и мультимедийной презентацией.

3. Нанести паяльную пасту на печатную плату. При нанесении необязательно стремиться к заполнению всех окон трафарета с целью экономии паяльной пасты и моющих средств. Достаточно заполнить отдельные 2 – 3 окна по углам платы (групповой заготовки). Для оценки точности нанесения (совмещения) этого вполне достаточно.

4. Убрать ракелем остатки паяльной пасты с трафарета. Почистить ракель приспособлением и собрать остатки пасты с него в специальную емкость для остатков пасты.

5. Осторожно извлечь печатную плату из устройства и, не трогая участки с паяльной пастой, приклеить на свободных местах платы рядом с участками паяльной пасты штриховые миры (для калибровки изображения). Сфотографировать на лабораторной работе № 7, получив jpg-файлы участков платы (вблизи углов) с паяльной пастой.

6. Предъявить преподавателю печатную плату и jpg-файлы участков нанесения паяльной пасты для отметки о выполнении экспериментальной части работы.

7. Дальнейшая обработка результатов может выполняться в дис-

плейном классе на занятии или дома с помощью программ обработки изображений, которые позволяют количественно (в пикселах или других условных единицах) определить расстояние между точками на изображении (Рекомендуется использовать программы Paint, Adobe Photoshop в режиме INFO, CorelDraw и пр.).

8. Определить количественно качество нанесения паяльной пасты по методике отношения площадей, изложенной выше. Оценить качество нанесения паяльной пасты сравнением с требованиями стандартов IPC.

Вариант 1.3.4. Подготовка печатной платы с помощью устройства UNIPRINT-M к установке компонентов.

Плата после нанесения пасты будет передана на лабораторную работу №2 для установки компонентов.

1. Получить у преподавателя бумажные штриховые миры, паяльную пасту, ракель, печатную плату или групповую заготовку в комплекте с трафаретом для нанесения паяльной пасты.

2. Закрепить печатную плату и трафарет в устройстве UNIPRINT-M в соответствии с описанием устройства и мультимедийной презентацией.

3. Нанести паяльную пасту на печатную плату. При нанесении необходимо стремиться к заполнению всех окон трафарета. Могут понадобиться повторные проходы ракеля с пастой там, где окна не заполнены.

4. Убрать ракелем остатки паяльной пасты с трафарета. Почистить ракель приспособлением и собрать остатки пасты с него в специальную емкость для остатков пасты.

5. Осторожно извлечь печатную плату из устройства и, не трогая участки с паяльной пастой, приклеить на свободных местах платы рядом с участками паяльной пасты штриховые миры (для калибровки изображения). Сфотографировать на лабораторной работе № 7, получив jpg-файлы участков платы (вблизи углов) с паяльной пастой.

6. Предъявить преподавателю печатную плату и jpg-файлы участков нанесения паяльной пасты для отметки о выполнении экспериментальной части работы.

7. Дальнейшая обработка результатов может выполняться в дисплейном классе на занятии или дома с помощью программ обработки изображений, которые позволяют количественно (в пикселах или других

условных единицах) определить расстояние между точками на изображении (Paint, Adobe Photoshop, CorelDraw и пр.). Наличие штриховых мир с известным шагом нанесения штрихов на изображении позволит определить необходимые размеры в микрометрах.

8. Определить количественно качество нанесения паяльной пасты по методике отношения площадей, изложенной выше. Оценить качество нанесения паяльной пасты и пригодность платы к установке компонентов сравнением с требованиями стандартов IPC.

1.4. Контрольные вопросы

Для допуска к работе

1. Как включить и подготовить к работе цифровой дозатор МОС-КИТ?

2. Как закрепить печатную плату в устройстве UNIPRINT-M и обеспечить отсутствие прогиба платы?

3. Как совместить в устройстве UNIPRINT-M окна трафарета и контактные площадки платы? Что для этого надо сделать?

4. Для чего необходимо приклеивать штриховые миры (линейки) на плату при выполнении лабораторной работы?

5. Как обеспечить необходимое натяжение трафарета?

Для защиты отчета

1. Какие способы получения шариков припоя и приготовления паяльных паст Вам известны?

2. Как зависят свойства паяльной пасты от размеров шариков припоя?

3. Какие проблемы нанесения паяльной пасты возникают при увеличении размеров окна трафарета?

4. Как оценить (измерить) текучесть паяльной пасты?

5. Какие компоненты входят в состав паяльной пасты? Каково их назначение?

6. Как сделать определение размеров на изображениях независимым от увеличения микроскопа?

Лабораторная работа 2

ГРУППОВАЯ ПАЙКА ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ

Цель работы. Исследование технологических факторов, определяющих качество групповой пайки поверхностно-монтируемых компонентов

2.1. Технологии и оборудование групповой пайки

Групповая пайка печатных узлов, начиная с пайки волной припоя, получившей широкое распространение в технологии монтажа в отверстие [4], продолжает привлекать технологов своей производительностью и качеством паяных соединений.

Пайка волной припоя появилась достаточно давно, практически одновременно с технологией печатного монтажа и в настоящее время подробно описана в учебниках [4, 6, 5]. Однако низкая себестоимость пайки волной, обусловленная высокой производительностью и относительной дешевизной технологического оборудования, как правило, далеко не всегда отличается высоким качеством паяных соединений и низким энергопотреблением. Если ситуация с энергозатратностью достаточно очевидна (надо постоянно держать высокую температуру в ваннах с большим количеством жидкого флюса и расплавленного припоя), то для понимания причин потенциально невысокого качества паяных соединений при пайке волной припоя необходимо представлять себе взаимосвязь температурно-временного профиля пайки (зависимости температуры паяного соединения от времени как при нагреве и расплавлении, так и при охлаждении и кристаллизации) и химического состава среды в месте пайки со структурой (физико-химическим составом) паяного соединения. Именно микроструктура (фазовый состав) паяного соединения в конечном итоге однозначно определяет качество и надежность паяного соединения.

Общий вид так называемого классификационного температурно-временного профиля [5, с. 230], рекомендуемого стандартом IPC JEDEC J STD 020C (редакция июль 2004 г.), приведен на рис. 2.1. В со-

ответствии с этими параметрами профиля изготовители паяльных паст, в свою очередь, дают рекомендации своим потребителям.

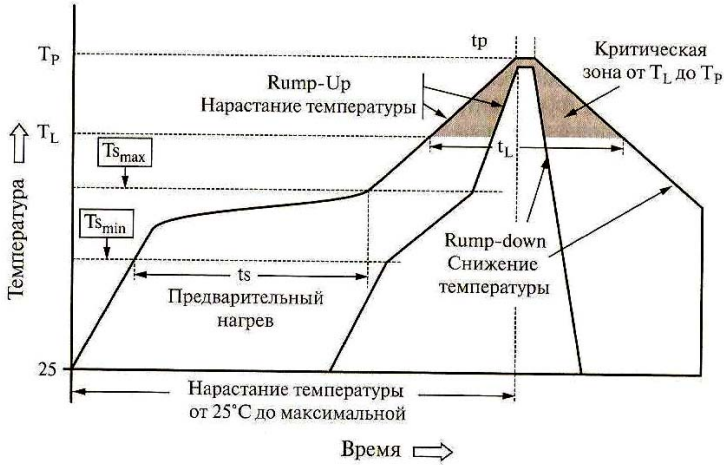


Рис. 2.1. "Коридор" температурно-временного профиля пайки

Расшифровка контрольных точек приводится в указанном стандарте IPC. Параметр T_L на рис. 2.1 соответствует температуре плавления припоя, однако стандарт рекомендует нагревать место пайки до температуры T_P и нормировать время нахождения в расплавленном состоянии t_L . Нормируется также скорость нарастания температуры от $T_{s_{max}}$ до T_P и скорость охлаждения. Превышение температуры T_P и времени пребывания в зоне плавления опасно не только для "нежных" компонентов, но и возможностью интенсивного образования нежелательных интерметаллических соединений [4], термодеструкции материалов плат и компонентов, снижающих надежность электронных изделий.

На обобщенном температурно-временном профиле можно различить несколько стадий. **Стадия предварительного нагрева** необходима для смягчения теплового удара по термочувствительным электронным компонентам и печатным платам. На этой стадии происходит испарение летучего растворителя из паяльной пасты, а смола (канифоль), входящая в состав пасты, начинает испаряться [2, с. 79]. Следствием размягчения смолы является уменьшение вязкости пасты, а испарение

растворителя увеличивает вязкость пасты. Эти два процесса сбалансированы при правильно выбранной скорости нарастания температуры на этой стадии. При повышенной скорости нарастания температуры преобладает первый процесс, ведущий к расплзанию пасты и образованию бусинок припоя по бокам чип-компонентов.

Стадия стабилизации (температурного выравнивания) предполагает относительно медленное повышение температуры и позволяет обеспечить равномерный нагрев платы с целью предотвращения термозащита при расплавлении припоя на **стадии оплавления**. При этом низкая температура пайки обуславливает плохую смачиваемость жидкого припоя, а чрезмерно высокая вызывает нежелательный рост удельного веса интерметаллической фазы, что увеличивает хрупкость паяного соединения и ухудшает его внешний вид. **Стадия охлаждения** характеризуется оптимальной скоростью охлаждения. Для обеспечения максимальной прочности паяных соединений эта скорость должна быть максимальной. В то же время высокая скорость охлаждения может вызвать нежелательные термомеханические напряжения конструкций компонентов и платы. Замедление скорости охлаждения, особенно на температурах выше 130 °С, может привести к увеличению доли нежелательных интерметаллических соединений. Следует иметь в виду, что на скорость охлаждения оказывает влияние теплоемкость компонентов — более массивные охлаждаются медленнее.

Достаточно легко показать [4], что фактический температурно-временной профиль паяных соединений при пайке волной зависит от целого ряда не поддающихся точному управлению факторов: неодинаковое количество припоя, "подаренное" волной, непостоянство условий отвода тепла при охлаждении и кристаллизации и т. п. Если дополнительно принять во внимание трудности, а точнее, невозможность обеспечения постоянства химического состава системы газовая среда—припой—флюс—соединяемые материалы, то причины невысокого качества паяных соединений становятся понятными.

Поэтому пайка волной припоя в технологии поверхностного монтажа ограничено применяется в настоящее время для одного типа печатных узлов: с традиционными (PTH) компонентами на лицевой стороне и монтируемыми на поверхность простыми SMD-компонентами (чипа-

ми) на обратной стороне печатной платы, обращенной к волне припоя (рис. 2.2). Причины использования пайки волной очевидны: под рукой уже имеется хорошо освоенное, хотя и не самое технологичное оборудование.

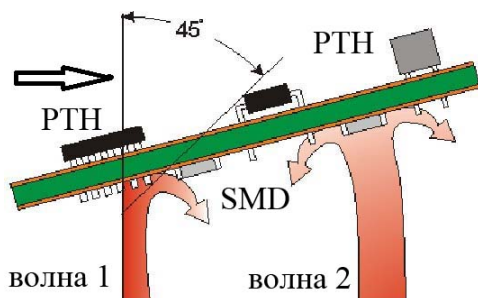


Рис. 2.2. Групповая пайка двойной волной припоя

Поверхностно-монтируемые (SMD) компоненты устанавливаются на клей (адгезив) с высокотемпературным отверждением. После приклеивания чипов производится установка отверстия электрорадиоментов с формованными проволочными выводами (PTH) с лицевой стороны таким образом, чтобы поверхность пайки была с обратной стороны платы.

Появление на печатных платах поверхностно-монтируемых компонентов усложнило технологию пайки. Возникло множество проблем, связанных как с конструкцией плат, так и с особенностями процесса пайки, а именно: непропаи и отсутствие галтелей припоя из-за эффекта затенения выводов компонента другими компонентами, преграждающими доступ волны припоя к соответствующим контактным площадкам. Кроме того, далеко не все поверхностно-монтируемые компоненты способны выдержать прямой контакт с расплавленным припоем.

Для пайки плат со смешанным монтажом (компоненты, монтируемые в отверстия с одной стороны платы и простые, монтируемые на поверхность пассивные компоненты и транзисторы — с другой) наиболее удачным оказался метод пайки двойной волной припоя. Совершенство конструкции платы оказалось недостаточным для достижения высокого уровня годных при традиционных способах изготовле-

ния изделий с простыми компонентами, монтируемыми на поверхность обратной стороны плат. Потребовалось изменить технологический процесс пайки волной, добавив вторую волну припоя (см. рис. 2.2).

Первая волна делается турбулентной и узкой, она исходит из сопла под большим давлением. Турбулентность и высокое давление потока припоя исключают формирование полостей с газообразными продуктами разложения флюса. Однако турбулентная волна все же образует перемычки припоя, которые разрушаются второй, более пологой 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 регулируемыми. Поэтому установки для пайки двойной волной должны иметь отдельные насосы, сопла, а также блоки управления для каждой волны. Установки для пайки двойной волной рекомендуется дополнительно комплектовать воздушным тепловым ножом, служащим для разрушения перемычек из припоя.

На более высокий уровень точности воспроизведения температурно-временного профиля и, следовательно, качества паяного соединения позволяют выйти новые виды групповой пайки оплавлением предварительно нанесенной тем или иным способом паяльной пасты (см. лабораторную работу № 1): инфракрасная, инфракрасно-конвективная, конвективная, конденсационная, или пайка в парогазовой фазе (ПГФ). Возможность рационального комбинирования перечисленных видов нагрева обуславливает многообразие конструктивных решений технологического оборудования для групповой пайки.

Инфракрасная область спектра на шкале электромагнитных волн располагается от длинноволновой границы оптического диапазона (границы ближней инфракрасной области) с длиной волны 0,72 мкм до дальней инфракрасной области спектра с длиной волны до 1000 мкм. В таком широком диапазоне длин волн разные его участки отличаются по своим свойствам. Так, например, коротковолновое инфракрасное излучение отличается высокой цветовой избирательностью, которая уменьшается по мере роста длины волны. В средне- и длинноволновой ча-

стях спектра инфракрасного излучения имеются так называемые "атмосферные окна" — участки с интенсивным поглощением излучения воздухом или технологическим инертным газом, обычно азотом. Нагреваясь, газ становится теплоносителем, подчиняющимся законам конвекции — естественной и принудительной.

Основным механизмом передачи тепла, используемым в установках пайки с ИК-нагревом, является излучение. Передача тепла излучением имеет ряд преимуществ перед теплопередачей за счет теплопроводности и конвекции.

Конструкция типичной установки ИК оплавления приведена на рис. 2.3.

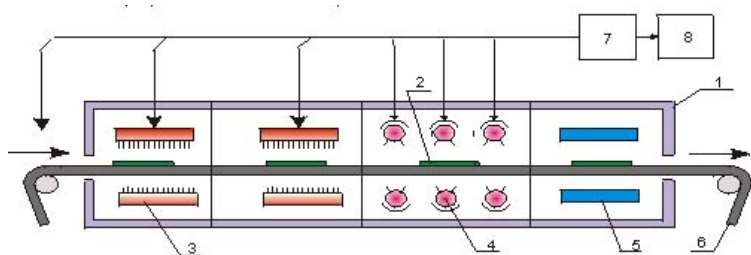


Рис. 2.3. Групповая пайка с помощью ИК-нагрева

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 оплавлением 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 конвейере 6 (обычно на сетке из нержавеющей стали). 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 возможно иметь библио-

теку типовых режимов оплавления для печатных плат различных типоразмеров. Инфракрасные печи имеют низкую цену и применяются при изготовлении несложных плат. Обусловлено это тем, что инфракрасный тип нагрева имеет целый ряд отрицательных эффектов. Наиболее существенно влияют на работу следующие:

- теневой эффект. Высокие элементы могут закрывать более низкие, создавая так называемую "тень", то есть зону, где высока вероятность непропая. Также некоторые элементы могут закрывать свои собственные выводы;
- отражающая способность корпуса элемента, определяемая степенью его черноты;
- нестабильность распределения температуры внутри отдельных зон.

Большинства перечисленных отрицательных эффектов лишены печи с конвекционным методом нагрева [5]. Горячий воздух распределяется внутри рабочего объема печи таким образом, что в каждой точке создаются одинаковые условия пайки, одинаковая температура. Зависимость от отражающих свойств поверхности электрорадиоэлемента отсутствует (рис. 2.4).

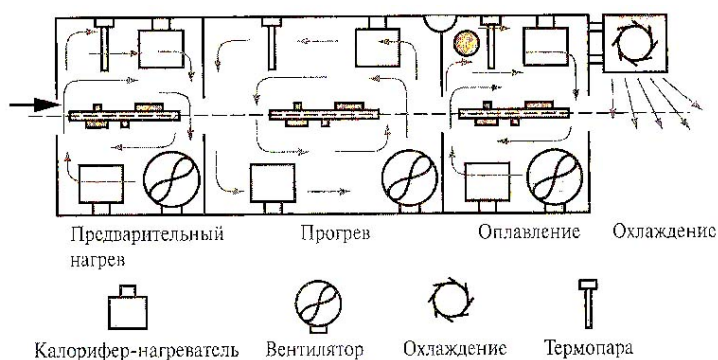


Рис. 2.4. Схема конвейерной печи с тремя зонами конвекционного нагрева и одной зоной охлаждения

Печи конвекционной пайки обычно многозоновые проходного типа. В каждой зоне автоматически поддерживается заданная температура.

Печатный узел с помощью сетчатого стального конвейера проходит через зоны печи со входа на выход с постоянной скоростью. Таким образом обеспечивается необходимый температурно-временной профиль, который рекомендует поставщик паяльной пасты. Для обеспечения равномерности и точности воспроизведения температурно-временного профиля число зон нагрева может достигать десяти и более. Это усложняет (удорожает) конструкцию печи, при этом делая ее максимально универсальной, то есть пригодной для применения различных типов паяльных паст и припоев.

Принципиально возможен смешанный вариант — сочетание ИК-нагрева с конвекционным, который используется в некоторых печах группового оплавления.

Пайка в парогазовой фазе, или конденсационная пайка (ПГФ-пайка или *condensation soldering*), имеет существенное преимущество за счет использования в технологии физической константы — температуры испарения (конденсации) рабочей жидкости на основе фторуглеродов или галогенуглеродов [6]. Эта технология основана на нагреве за счет конденсации пара рабочей жидкости на холодной поверхности монтируемого изделия (рис. 2.5).

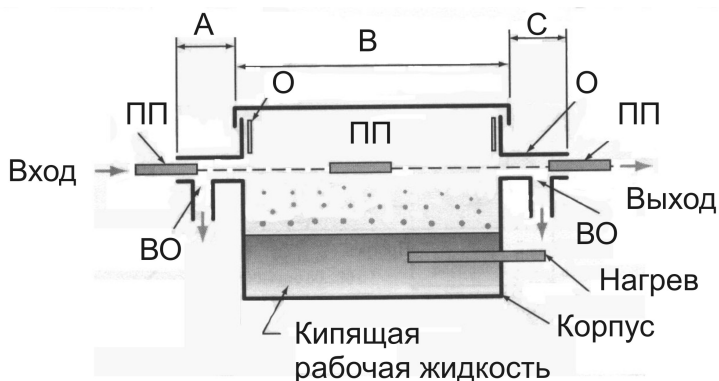


Рис. 2.5. Схема печи конденсационной пайки

Пары жидкости конденсируются на плате ПП с установленными компонентами в зоне пайки В, отдавая скрытую теплоту парообразования [5] при постоянной температуре парообразования, которая является

физической константой. Это избавляет от необходимости точного поддержания температуры на поверхности печатного узла и борьбы с затенениями (в том числе и аэродинамическими) и цветовой избирательностью.

В корпус из химически стойкой стали со встроенным нагревателем заливается рабочая жидкость и нагревается до температуры кипения. Плата ПП (см. рис. 2.5) с помощью конвейера через входной шлюз и зону предварительного нагрева А попадает в зону пайки В, проходит ее и через зону охлаждения С и выходной шлюз выходит наружу — пайка завершена. Вентиляционные отверстия ВО служат для предотвращения попадания рабочей жидкости в атмосферу через шлюзы входа и выхода. Охладители О нужны для улавливания пара рабочей жидкости. Так как воздух из зоны пайки вытесняется инертным паром, пайка проводится практически в бескислородной среде. Это, в свою очередь, снижает требования к используемому флюсу.

Этот метод пайки обеспечивает почти полное отсутствие температурных градиентов по поверхности платы и компонентов и гарантированное отсутствие перегрева при правильно подобранной рабочей жидкости. Дополнительным достоинством такой пайки является возможность исключения отмывки, так как конденсирующиеся на поверхности плат пары рабочей жидкости смывают остатки флюса и другие загрязнения [5].

В заключение хотелось бы отметить, что долгое время технология пайки в паровой фазе была не востребована производителями электронных модулей. На это был ряд причин, основные из которых — это вредность теплоносителя, его дороговизна, а также ряд дефектов, возникающих при пайке данным методом из-за слишком высокого градиента температуры. В настоящее время эти проблемы нашли решение: разработчики жидкости сумели получить безвредную рабочую жидкость, не требующую даже никаких специальных условий хранения и эксплуатации, с неограниченным сроком годности, создали системы, позволяющие управлять градиентом температуры. На российском рынке подобные системы еще являются диковинками, зачастую встречая недоверие со стороны технологов предприятий-производителей электронных модулей, тогда как за рубежом многие производители, особенно ответ-

ственных изделий специального назначения (космическая промышленность, медицинская техника, оборонная промышленность) за последние 5-10 лет уже полностью перевооружились и используют данные системы¹.

Недостаток конденсационной (ПГФ) пайки при всех ее несомненных достоинствах заключается в том, что сужается диапазон используемых припоев — для припоев с разными температурами плавления нужны разные рабочие жидкости. Кроме того, для обеспечения режима стабилизации и рекомендуемой поставщиком паяльной пасты скорости нагрева в технологической линейке оборудования может понадобиться дополнительная установка предварительного подогрева. В этом смысле конвективная пайка более универсальна в плане обеспечения различных температурно-временных профилей, несмотря на проблемы точного поддержания температур в различных зонах.

Лазерная пайка с использованием луча лазера для нагрева [1], пришедшая на смену пайке с нагревом сфокусированным световым лучом, на первый взгляд, 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 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. При кратковременном действии тепла — 20...30 мс резко снижается толщина слоя интерметаллидов, припой имеет мелкозернистую структуру, что положительно сказывается на надежности ПС.

Установки лазерной пайки в перспективе могут быть полностью автоматизированы, при этом вполне возможно использовать выходные

¹По информации фирмы ЭСТ-СМТ по адресу http://www.est-smt.ru/technology/parovaja_faza/4

данные САД-систем проектирования печатных плат. 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 в процессе лазерной пайки не образуются шарики припоя или перемычки, в результате чего потенциально 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 и конвективной пайке для предотвращения расслоения платы. Не требуется также создавать какую-либо специальную газовую среду. Процесс пайки ведется в нормальной атмосфере без применения инертных газов. Все это позволяет ожидать в будущем появление лазерных технологических установок для пайки печатных узлов как серьезной альтернативы описанным выше печам группового оплавления.

2.2. Конвейерная печь конвекционного оплавления SOLANO RO-510 фирмы DIMA (Нидерланды)

Общий вид конвейерной печи конвекционного оплавления SOLANO RO-510 (Производитель фирма DIMA, Нидерланды) изображен на рис. 2.6, а схема расположения зон нагрева и охлаждения — на рис. 2.7.

Основные характеристики конвейерной печи SOLANO RO-510:

- общая длина туннеля — 2250 мм;
- диапазон регулирования скорости конвейера 5-80 см/мин;
- количество зон нагрева — 4;
- диапазон регулирования температуры в зоне оплавления — от 140 до 340 °С;
- точность регулировки температуры ± 1 °С;
- совместима с бессвинцовой технологией пайки;
- ширина конвейера 440 мм;
- потребляемая мощность не более 16,5 кВт.

На рис. 2.7 условными обозначениями показаны вход (А), рабочее пространство (В), выход (С), зона пайки (D), фильтры (F), ионизацион-

ная секция (I), мотор привода сетчатого конвейера (М). Сам конвейер условно показан двумя стрелками.



Рис. 2.6. Конвейерная печь конвективного оплавления SOLANO RO-510

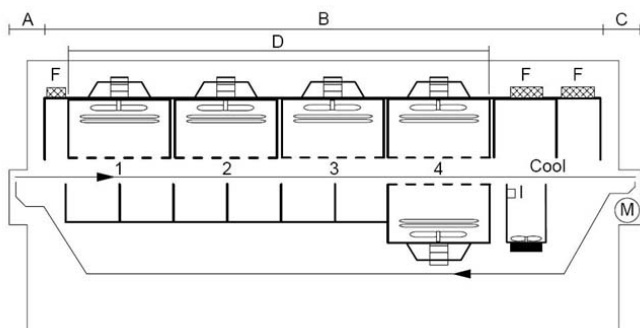


Рис. 2.7. Схема зон нагрева и охлаждения печи SOLANO RO-510

Печь имеет две зоны предварительного нагрева 1 и 2, зону стабилизации температуры 3, зону оплавления 4 и зону охлаждения Cool. Обращаем внимание читателя на то, что в зонах 1, 2, 3 конвекционный нагрев осуществляется только сверху, тогда как в зоне оплавления плата нагревается сверху и снизу, причем нагрев снизу не предназначен для

расплавления припоя, а лишь для частичного выравнивания температур на сторонах платы с целью предотвращения нежелательных термомеханических напряжений. Такая компоновка зон нагрева печи обеспечивает реализацию технологии двухстороннего поверхностного монтажа за два прогона платы. Соответственно дважды наносится паяльная паста и дважды производится установка компонентов.

Оперативное управление температурно-временным профилем печи, как правило, осуществляется с помощью встроенного контроллера. Панель пульта управления контроллера изображена на рис. 2.8.

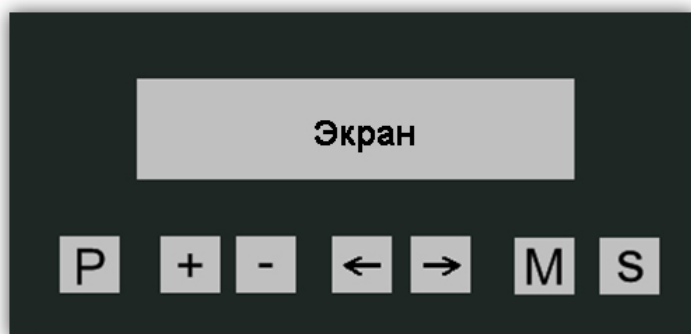


Рис. 2.8. Панель пульта управления контроллером

Под многофункциональным экраном панели управления (экран программирования или экран измерений) располагаются кнопки:

P – открыть / закрыть экран программирования;

-/+ – отрицательное / положительное изменение значений;

⇐ / ⇒ – перемещение курсора влево / вправо;

M – открыть / закрыть экран измерений;

S – переключение режимов или старт / стоп (в зависимости от текущего экрана).

На рис. 2.9 приведена схема интерфейса пользователя, иллюстрирующая многофункциональность экрана панели контроллера.

Рис. 2.10 показывает вид основного экрана панели контроллера. Указатели-цифры у выносных линий обозначают:

- 1 – отображение установленных температур;
- 2 – состояние печи;
- 3 – температуры, измеряемые при подключенных термопарах;
- 4 – номер текущей программы;
- 5 – состояние охлаждающих вентиляторов (включено - ON / выключено - OFF);
- 6 – скорость транспортного конвейера (Setval – значение, заданное программой, Actual – реальное значение).

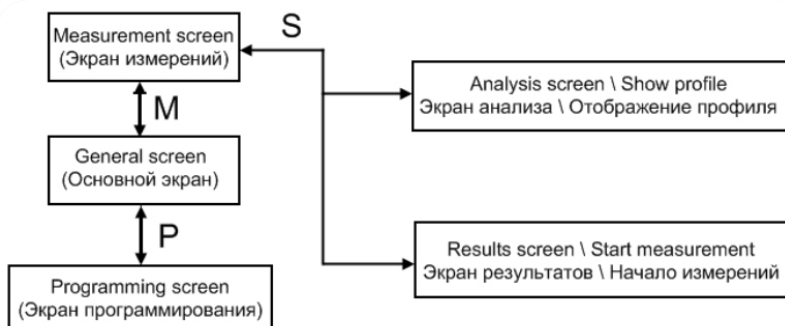


Рис. 2.9. Интерфейс пользователя

Zone Nr.	1	2	3	4	Standby	023	024
Setval	220	180	180	300	Program:	01	
Actual	218	180	180	302	Ventilator:	ON	
Zone Nr.	5	6	7	8	Speed		
Setval	021	021	021	021	Setval:	0.29	
Actual	021	021	021	021	Actual:	0.29	

Рис. 2.10. Основной экран панели контроллера

На экране программирования (рис. 2.11) цифрами у выносных линий показаны:

- 1 – установка температур в зонах нагрева. Для зон 1, 2, 3 предварительного нагрева температура устанавливается не выше 300 °С, а для зоны 4 – не выше 340 °С;
- 2 – номер программы (от 01 до 99);
- 3 – установка скорости движения конвейера (от 0,05 до 0,8 мин);
- 4 – состояние охлаждающего вентилятора (включен / выключен).

Program the Set Values.					
Use Keys: - + <- ->					PROGRAM
Zone Nr.	1	2	3	4	Program: 01
Temp:	220	180	180	300	Speed: 0.29
Zone Nr.	5	6	7	8	Ventilator: ON
Temp:	021	021	021	021	

Рис. 2.11. Экран программирования

На экране измерений, представленном на рис 2.12, цифры с выносными линиями означают следующие позиции программирования:

Measuring mode					
Use Keys:	-	+	<-	->	START MEASURE
Start/Stop	Profile	Display	Offset		
Measuring	Number	Mode	Therm 2		
START	1	Mixed	000	SHOW	

Рис. 2.12. Экран измерений

1 – при курсоре, наведенном на позицию START, нажатие кнопки S приводит к старту или останову программы;

2 – на этой позиции отображается номер одного из шести выбранных профилей;

3 – позиция отображает режим дисплея. MIXED означает отображение одновременно двух профилей на одном уровне, Thermo 1 – отображение профиля только от термопары 1, Thermo 2 – от термопары 2;

4 – на этой позиции в миллиметрах отображается расстояние между термопарами 1 и 2 в направлении движения конвейера;

5 – позиция SHOW показывает выбранный номер профиля на экране анализа.

На экране анализа (рис. 2.13) отображаются профили температур, измеряемые двумя термопарами 1. Изменяя положение маркера 2 с помощью стрелок "влево/вправо", можно в правом верхнем углу экрана увидеть соответствующие значения температур. Экран анализа может отображать текущие значения температур термопар в процессе их движения на конвейере.

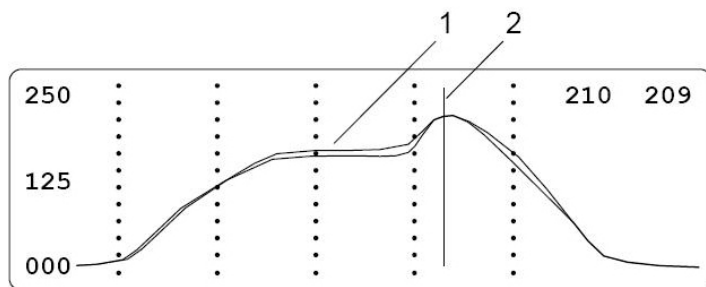


Рис. 2.13. Экран анализа

Дополнительно к встроенному контроллеру для целей управления и отображения информации можно использовать компьютер с выносными монитором и клавиатурой. Применение компьютера позволяет поддерживать интерфейс, изображенный на рис. 2.14.

2.3. Лабораторное задание

Для успешной работы в лаборатории (для допуска к работе) необходимо накануне занятия обязательно прочитать два предыдущих подраздела и ознакомиться с обучающей мультимедийной презентацией по

данной работе. При подготовке к защите отчета рекомендуется также ознакомиться с приложениями к видеопрезентации.

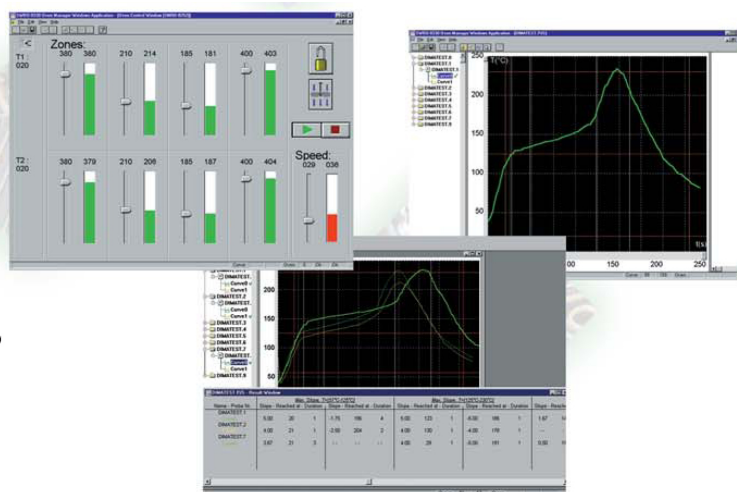


Рис. 2.14. Интерфейс компьютера

На занятии в лаборатории обучающимся предлагаются следующие варианты лабораторных заданий (конкретный набор вариантов задает преподаватель):

1. РЕГИСТРАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННОГО ПРОФИЛЯ ПЕЧИ:

1.1. Получите у преподавателя термопары, печатную плату или печатный узел, а также рекомендации по установке температурно-временного профиля, скорости движения конвейера и точкам закрепления термопар. Дополнительно Вам понадобится секундомер, лучше электронный. Подготовьте таблицу значений времени (каждые 30 секунд) и температур термопар.

1.2. Включите печь и установите рекомендованные значения температур в зонах нагрева и скорость движения конвейера.

1.3. Закрепите измерительный спай термопары таким образом, чтобы его температура была максимально близка к температуре контролируемой поверхности. При наличии двух термопар представляет интерес

обнаружение эффектов неравномерного нагрева компонентов различной массы, а также эффектов затенения.

1.4. Дождавшись сигнала готовности печи к работе, поместите плату (печатный узел) на вход сетчатого конвейера и включите привод конвейера. Одновременно запустите секундомер. Фиксируйте значения температур термпар, наблюдая за соединительными проводами термпар со стороны входа печи и за выходом платы из печи.

1.5. После выхода платы из печи осторожно снимите плату (она горячая!!!) с конвейера.

1.6. Выключите печь.

2. ГРУППОВАЯ ПАЙКА ПЕЧАТНОГО УЗЛА:

2.1. Получите у преподавателя печатную плату с нанесенными участками паяльной пасты или печатный узел после установки компонентов на паяльную пасту, а также рекомендации по установке температурно-временного профиля, скорости движения конвейера.

2.2. Включите печь и установите рекомендованные значения температур в зонах нагрева и скорость движения конвейера.

2.3. На стенде лабораторной работы № 3 "Визуальный контроль печатных узлов" получите irg-файл изображения установленных компонентов и нанесенных участков паяльной пасты на фоне штриховой миры с известным расстоянием между штрихами.

2.4. Дождавшись сигнала готовности печи к работе, поместите плату (печатный узел) на вход сетчатого конвейера и включите привод конвейера.

2.5. После выхода платы из печи осторожно снимите плату (она горячая!!!) с конвейера.

2.6. Выключите печь. На стенде лабораторной работы № 3 "Визуальный контроль печатных узлов" получите irg-файл изображения мест пайки на фоне штриховой миры.

ПРИМЕЧАНИЕ: возможны совмещенные варианты выполнения лабораторной работы, в том числе, с заведомо недопустимыми температурно-временными профилями для нанесенных на плату паяльных паст.

2.4. Контрольные вопросы

Для допуска к работе

1. Как включить конвейерную печь RO-510?
2. Как установить необходимый температурно-временной профиль?
3. Как воспользоваться тем или иным температурно-временным профилем из базы профилей контроллера печи?
4. Какой сигнал печи свидетельствует о готовности ее к работе (о выходе на заданный режим)?
5. Перечислите источники опасности при работе с печью RO-510.
6. Как выключить конвейерную печь?

Для защиты отчета

1. Дайте сравнительную характеристику групповых способов пайки, используемых в технологии поверхностного монтажа.
2. Что дает комбинирование различных способов нагрева при создании технологического оборудования для групповой пайки?
3. Какие опасности влечет превышение температуры и времени пребывания в зоне плавления припоя?
4. Каковы причины различий показаний термопар, установленных в разных местах печатного узла? Связано ли это с конструкцией печатного узла?
5. Какие полезные и нежелательные эффекты групповой конвективной пайки Вам известны?
6. Каким должно быть количество зон нагрева в конвейерной печи группового оплавления паяльной пасты?

Лабораторная работа 3

ВИЗУАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ

Цель работы. Изучение технологии визуального оптического контроля печатных узлов в процессе и после монтажа

3.1. Оборудование для визуального контроля печатных узлов

Контроль в производственной технологии является средством выявления технологических дефектов (отклонений от установленных норм) и организации обратной связи с технологическими операциями изготовления изделия, в ходе которых указанные дефекты формируются.

Здравый смысл и любопытство (а что же все-таки получилось) обуславливают естественное желание посмотреть на результаты трудовой деятельности и сделать соответствующие выводы. Таким образом мы приходим к понятию "визуальный"¹ контроль. Этот термин в некотором смысле неоднозначен, поскольку визуализировать (сделать видимым глазу) с помощью технических средств можно различные результаты контроля. Однако чаще всего под визуальным контролем понимается процесс распознавания зрительных образов и сопоставления с эталоном, хотя визуализировать (наглядно представить) и сравнить с эталоном возможно и незрительные образы.

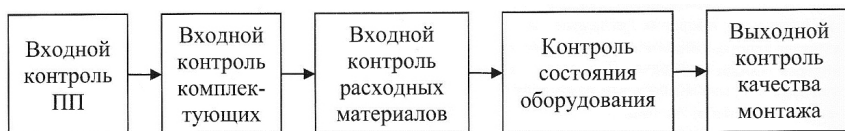


Рис. 3.1. Технологические операции с применением визуального контроля

Основные применения визуального контроля в технологии поверхностного монтажа показаны на рис. 3.1, начиная от входного контроля печатных плат (ПП) и заканчивая контролем собранных ячеек [2, с.168].

¹от лат. *visualis* – зрительный.

В ходе выполнения операции визуального контроля производится сопоставление изделия или его элемента (например паяного соединения) с эталоном продукции², сохраняемым в памяти оператора. От сложности изображения эталона зависит качество работы оператора, поскольку он в значительной степени опирается на эмоциональные, а не на четко выраженные технологические или конструктивные критерии восприятия. По мере накопления опыта субъективизм оператора проявляется в его психологической установке на преимущественное выявление только определенных, понятных ему, традиционных видов брака. Этот стереотип, как показывают исследования, закрепляется в сознании оператора на длительный период.

Зрительные образы объектов контроля могут быть получены в оптическом, ультрафиолетовом, инфракрасном и рентгеновском диапазонах. В двух последних случаях можно увидеть внутреннее строение непрозрачных (в оптическом диапазоне) объектов, располагая преобразователями соответствующего излучения в оптический (видимый глазом) диапазон. Ультрафиолетовая подсветка заставляет "светиться" за счет эффектов флуоресценции ранее незаметные в оптическом диапазоне загрязнения поверхностей.

Визуализация реакции объекта контроля на ультразвуковое механическое воздействие также позволяет "заглянуть" внутрь аналогично рентгеновскому воздействию. С помощью соответствующих преобразователей и программного обеспечения можно визуализировать процессы распространения и отражения ультразвуковых волн и также получить изображение контролируемого объекта.

С помощью систем технического зрения с развитым программным обеспечением процесс визуального контроля может быть автоматизирован и таким образом избавлен от влияния "эффекта оператора". В этом случае мы уже имеем дело с системами автоматической оптической инспекции (АОИ, AOI), которые сегодня широко применяются в технологии поверхностного монтажа.

²Федоров И., Епанешникова И. О проблемах визуального контроля в производстве радиоэлектронных средств // Технологии в электронной промышленности. 2009. № 4. С. 5 – 7.

Промышленные стандарты³ различают прямой и непрямой визуальный контроль [2, с.166]. Прямой визуальный контроль предполагает непрерывный ход лучей между глазами оператора и контролируемой поверхностью. При этом могут быть использованы вспомогательные средства — зеркала, линзы, стереоувеличители, микроскопы, эндоскопы, волоконно-оптические приборы. Общий осмотр, детальное исследование и оценка мест возможного нахождения дефектов — это операции, которые сильно зависят от человеческого фактора (эффекта оператора). Качество контроля при этом во многом зависит от опыта оператора, степени его подготовки, общего состояния и качества инструкций. Вспомогательные средства необходимы, если контролируемая поверхность недоступна или угол поля зрения слишком мал для детального осмотра. Как правило, применяемые в электронной промышленности увеличивающие оптические приборы влияют на производительность труда операторов, что приводит к увеличению числа ошибок и повышению утомляемости. Непрямой визуальный контроль предполагает интеграцию видео- и фототехники с автоматическими устройствами.

Различают местный и обзорный прямой визуальный контроль. Обзорный контроль обычно устанавливает пригодность объекта к контролю и необходимость детального (местного) контроля. Оператор должен основательно знать нормы и правила, уметь пользоваться необходимыми приборами, иметь нормальное дальнее и ближнее зрение, а также способность правильно различать цвета.

Много зависит от контраста между дефектным участком и остальной поверхностью объекта. Хороший контраст достигается за счет оптимизации освещения (угол, освещенность, цвет). Уровень освещенности (в люксах) зависит от размеров объекта различения и нормируется в профильных стандартах, например в DIN EN 13018.

Визуальный контроль дает эффект уже на стадии входного контроля печатных плат⁴ и электронной компонентной базы, если с ними связаны причины возникновения дефектов.

³DIN EN 13018 Non-destructive testing - Visual testing - General principles; German version EN 13018:2001 DIN-adopted European Standard / 01-Jul-2001 / 10 pages.

⁴Медведев А. М. Контроль печатных плат по признакам внешнего вида // Технологии в электронной промышленности. 2005. № 3. С. 34 – 39.

Трафаретная печать защитного красочного покрытия может иметь такие типичные дефекты, как смазанные контуры, неровность краев элементов, плохое разрешение, поры и проколы в краске, неравномерное распределение краски и т.д. Фотолитография и травление рисунка также являются потенциальными источниками технологических дефектов. Большинство этих дефектов выявляется с помощью контроля внешнего вида, который становится главенствующим видом тестирования печатных плат по причине своей информативности и относительно небольших затрат на технологическое оснащение. Однако по мере повышения класса точности и объемов производства визуальный контроль печатных плат требует более совершенных и дорогих средств технологического оснащения вплоть до применения автоматических оптических тестеров.

Нанесение паяльной пасты, установка компонентов, пайка и отмывка — все эти технологические операции при отклонениях тех или иных технологических режимов являются причиной дефектов, большинство из которых выявляются с помощью визуального контроля:

- неправильная установка компонента,
- остатки флюса, посторонние включения,
- микрокапли и брызги припоя,
- изменение цвета припоя и поверхностей платы и компонентов,
- микротрещины компонентов и печатных проводников,
- короткие замыкания и обрывы проводников,
- царапины и проколы на влагозащитном покрытии,
- другие дефекты.

Спектр технологического оборудования для прямого визуального контроля достаточно представительный, начиная от увеличительных линз с бестеневого светодиоидной подсветкой и стереоувеличителей до окулярных и безокулярных измерительных стереомикроскопов.

В отечественной промышленности широко распространены окулярные стереомикроскопы серии МБС (микроскоп биологический стереоскопический). Стереозэффект (возможность наблюдать третье измерение — объем) достигается за счет того, что оператор через два окуляра смотрит одновременно обоими глазами. Расстояние между окулярами и фокусировка каждого окуляра регулируются индивидуально под кон-

кретного оператора. К данному классу относится имеющийся в лаборатории поверхностного монтажа стереомикроскоп SMIS фирмы DIMA, Нидерланды, подробно описанный в следующем разделе этой работы.

На рис. 3.2 изображены промышленные многофункциональные микроскопы фирмы Nikon.

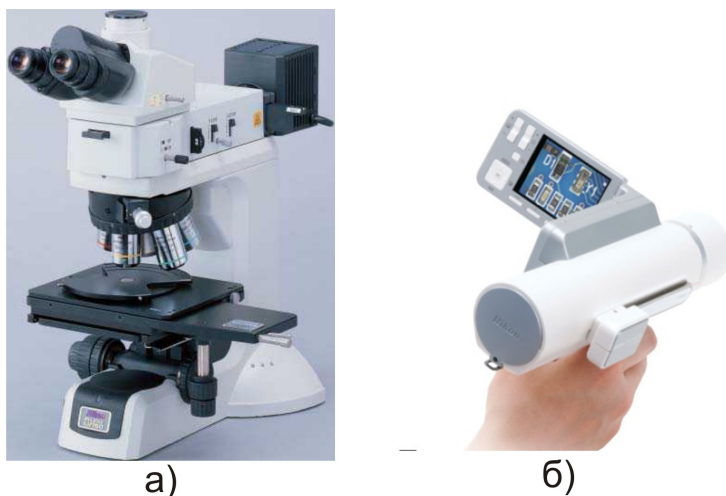


Рис. 3.2. Промышленные микроскопы фирмы Nikon

Стационарный микроскоп Eclipse LV (см. рис. 3.2,а) снабжен сменными объективами с максимальным увеличением до 150 крат, что позволяет не только контролировать дефекты печатных плат и поверхностного монтажа, но и получать подробные изображения поверхности полупроводниковых кристаллов, MEMS-структур, ЖК-дисплеев и т.п. Несомненным достоинством микроскопов этой серии является широкий выбор условий наблюдения, таких как:

- светлое поле (Brightfield) или темное поле (Darkfield),
- простая поляризация (Simple Polarizing) и УФ-поляризация (UV polarizing),
- эпи-флуоресцентное освещение с УФ-возбуждением (epi-fluorescence, UV excitation),
- двухлучевая интерферометрия (double-beam interferometry) и т.д.

Это позволяет расширить круг видения. На рис. 3.3 приведены примеры изображений, полученных с помощью микроскопов Nikon семейства Eclipse LV при разных условиях наблюдений.

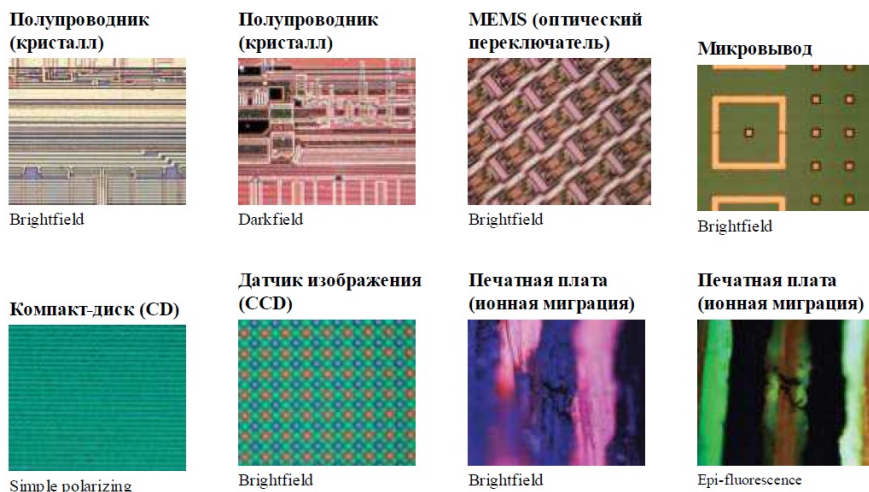
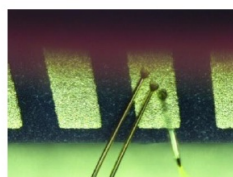


Рис. 3.3. Изображения, полученные с помощью микроскопа Eclipse LV

Для непрямого визуального контроля фирма Nikon предлагает многоцелевой микроскоп ShuttlePix P-400R (см. рис. 3.2,б), сочетающий в себе мобильность и доступность цифровой фотокамеры. Уникальность этого микроскопа заключается в его портативности: помимо традиционного применения на штативе он доступен и в носимом варианте. Работа без проводов позволяет применять микроскоп как в лабораторных условиях, так и вне помещения (с использованием аккумуляторной батареи, встроенной подсветки и SD-карты для сохранения снимков. В данном режиме ShuttlePix обеспечивает 60-кратное оптическое увеличение, которое при использовании 17" сенсорного ЖК-монитора возрастает до 400 крат (при этом системное увеличение достигает 1000 крат).

Помимо носимого варианта микроскоп имеет стационарное применение, для которого характерны еще более высокое разрешение и увеличение (по сравнению с переносным вариантом), а также получение

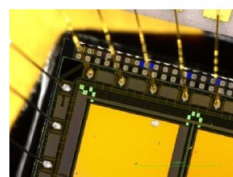
изображения с расширенной глубиной фокуса и дополнительные измерительные возможности. При подключении к компьютеру становятся доступными расширенные функции работы с изображениями, а именно: обработка графики, создание отчетов и трехмерных моделей. На рис. 3.4 показаны изображения, полученные с помощью носимого варианта микроскопа.



Разварка проволокой



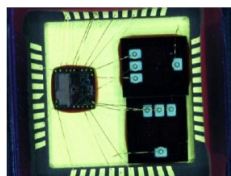
Фрагмент корпуса микросхемы



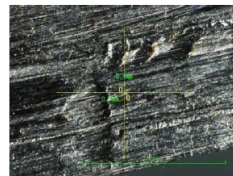
Фрагмент кристалла с разваркой



Фрагмент проводника на керамической плате



МЭМС



Фрагмент лезвия ножа

Рис. 3.4. Результаты работы портативного микроскопа ShuttlePix

Рис. 3.5 иллюстрирует работу со стереоскопической безокулярной системой визуального контроля, которая значительно снижает утомляемость зрения оператора, повышает эффективность контроля по сравнению с моделями окулярных микроскопов. Оператор может комфортно работать в очках или контактных линзах. Суммарное увеличение до 120 крат. Модульная конструкция позволяет пользователю выбрать оптимальный состав дополнительных монтажных, осветительных устройств и возможность подключения цифровых фото- и видеокамер.

В области непрямого визуального контроля оригинальное решение безокулярного стереомикроскопа предлагает фирма SONY Electronics — семейство цифровых безокулярных стереомикроскопов TechnoLOOK (модели TW-TL1Z и TW-TL10ZR). Они оборудованы большим TFT монитором (10,4") высокой четкости, что позволяет ком-

фортно работать даже с самыми миниатюрными объектами (рис. 3.6). Для сохранения фотоотчетов о качестве выполнения поверхностного монтажа, пайки, анализа печатных плат и других объектов в мониторе стереомикроскопа предусмотрен слот для карт памяти.



Рис. 3.5. Работа со стереомикроскопом LYNX



Рис. 3.6. Стереомикроскоп TechnoLOOK

Для сохранения фотографий на передней панели монитора расположены кнопка съемки и разъемы для подключения ножной педали и компьютерной мыши. За счет уникальной конструкции системы ви-

деонаблюдения цифрового стереомикроскопа семейства TechnoLOOK исследуемый объект может быть просмотрен под разными углами по вертикали и горизонтали. Большая рабочая поверхность со скользящей площадкой по осям X,Y и большое рабочее расстояние до 155 мм, позволяют эффективно работать с объектами различного размера. TechnoLOOK — это эргономичный переносной лабораторный цифровой безокулярный стереомикроскоп, сочетающий в себе богатые возможности и простоту использования, реализующий интегрированную систему визуального наблюдения. Увеличение плавно регулируется в пределах от 4,3 до 86 крат.

Гибкие оптические волокна расширяют возможности средств оптического контроля и позволяют, например, заглянуть под BGA-компонент, смонтированный на печатной плате, с помощью микроэндоскопа ERSASCOPE (рис. 3.7, а) и ПЗС-камеры, соединенной через плату видеозахвата с персональным компьютером. Такая система непрямого визуального контроля позволяет получить изображения паяных соединений на экране монитора с увеличением выше 300 крат.

В результате появляется принципиальная возможность контроля в реальном времени процесса трансформации пайки сферических выводов BGA-компонента (рис. 3.7, б) [2, с. 181].



Рис. 3.7. Микроэндоскоп ERSASCOPE и его возможности

Не менее богат спектр предложений на рынке автоматического оптического оборудования. Интеграция возможностей трехмерной оп-

тики и компьютерной обработки привела к появлению АОI⁵-систем, программирование (самонастройка) которых сводится к предоставлению системе одного или нескольких заведомо бездефектных образцов — основы для автоматической генерации системой всей необходимой информации для контроля. В перспективе вместо партии эталонных образцов принципиально возможно использование результатов трехмерного автоматизированного проектирования контролируемых изделий, что означает потенциальное применение АОI-систем в мелкосерийном и единичном производстве сложных ячеек и других изделий. Необходимость такого применения диктуется повышенной нагрузкой на человека-оператора и связанными с этим ошибками, цена которых весьма высока.

Для крупносерийного производства сложных печатных узлов с высокой плотностью монтажа поставляются комбинированные установки, работающие как в оптическом, так и в рентгеновском диапазоне, включая опцию компьютерной 3D-томографии. Их именуют интроскопами за способность визуализировать внутреннюю структуру изделий, наблюдать скрытые дефекты, невидимые с помощью оптического контроля. Свою нишу занимают системы визуализации ультразвуковых откликов (сонары) от внутренних неоднородностей изделий (деталей и сборочных единиц), в ряде случаев успешно конкурируя с рентгеновскими интроскопами.

Как правило, в состав комбинированных установок включаются так называемые "летающие пробники", реализующие контроль электрических параметров в режимах функционально-параметрического и внутрисхемного контроля. Примером таких установок могут служить системы совмещенного оптического и электрического контроля SPEA⁶, которые в России поставляет фирма ОСТЕК.

По мнению специалистов в области тестового контроля, сочетание внутрисхемного электрического контроля и автоматического оптического контроля сложных ячеек электронных средств гарантирует наивысший уровень качества контроля указанных изделий. Однако существует и альтернативная точка зрения, сводящаяся к тому, что надо про-

⁵Automatic Optical Inspection — автоматическая оптическая инспекция.

⁶<http://ostec-electro.ru/katalog/radio/>

сто весьма тщательно выполнять все сборочно-монтажные операции — тогда необходимость в дорогостоящем комбинированном контроле отпадет.

3.2. Компьютерный комплекс визуального контроля на базе установки SMIS фирмы DIMA (Нидерланды)

В состав лабораторной установки входят рабочее место визуального контроля SMIS на базе стереоскопического микроскопа МН-Z, производитель DIMA, Нидерланды, оснащенное телекамерой CCD⁷ типа МА-3010 с аналоговым выходом, и персональный компьютер, укомплектованный USB-устройством "захвата видео" с соответствующим программным обеспечением AVeTV6 (рис. 3.8).



Рис. 3.8. Рабочее место визуального контроля

⁷Charge-Coupled Device — прибор с зарядовой связью.

Стереомикроскоп МН-Z (рис. 3.9, а) позволяет наблюдать объект как под прямым углом, так и под углом в 45 градусов за счет сменной насадки с призмой. Наводка на резкость производится за счет изменения расстояния от объекта до объектива микроскопа. Регулировка увеличения позволяет плавно менять увеличение, но при этом следует подрегулировать наводку на резкость.

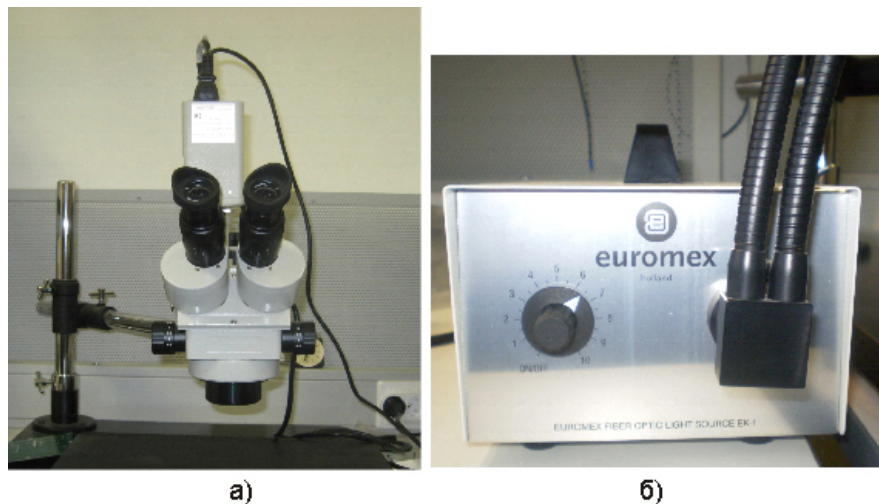


Рис. 3.9. Микроскоп МН-Z с ТВ-камерой (а) и осветитель ЕК-1 (б)

Осветитель Euromex ЕК-1 (рис. 3.9, б) имеет встроенную регулировку яркости света, который по двум гибко-жестким световодам подводится от осветителя к объекту. Изменяя геометрию световодов и яркость, можно добиться оптимальной подсветки, подчеркивающей особенности контролируемого объекта.

Лабораторная установка с помощью программ компьютерной обработки изображений (Paint, Photoshop и др.) дает возможность измерения геометрических размеров. Реализация этой возможности предполагает предварительную градуировку разрешающей способности данного средства измерений в мкм/пиксел. Для градуировки в поле изображения кроме объекта измерений необходимо разместить штриховую миру (линейку) с известным расстоянием между штрихами. Миру следует

размещать на одном уровне с объектом, чтобы изображения объекта и миры были одинаково резкими. Для исключения погрешностей измерений, обусловленных свойствами телекамеры, градуировку рекомендуется проводить в двух направлениях (горизонтальной и вертикальной разверток телекамеры).

Сменная насадка с призмой расширяет возможности микроскопа. Вращая призму вокруг оси объектива, можно проводить съемку с различных сторон объекта (рис. 3.10), что позволяет лучше оценить объемную составляющую изображения, например галтели припоя.

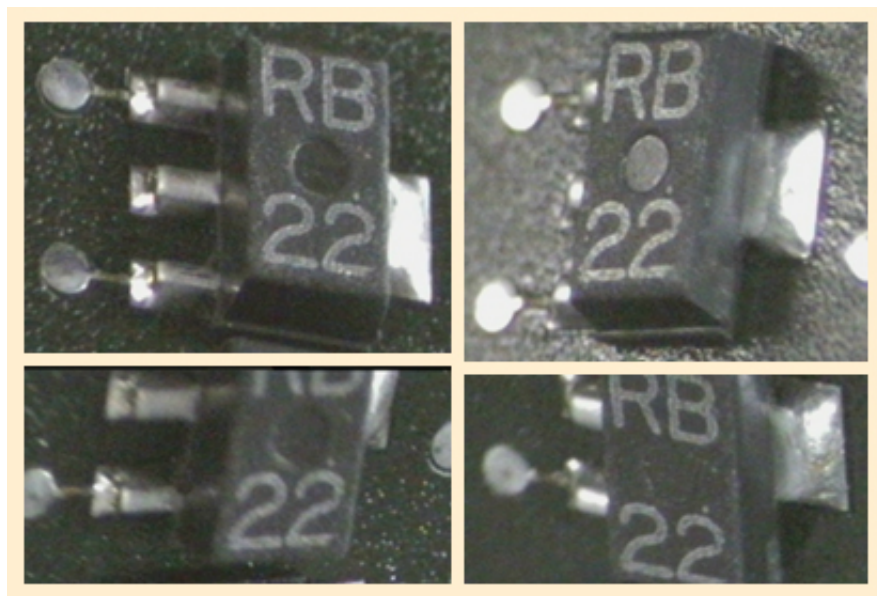


Рис. 3.10. Снимки с поворотом призмы

Бригада студентов на этой лабораторной работе работает как по собственному плану-заданию, полученному от преподавателя при допуске к работе, так и по заданиям студентов из других бригад, фиксируя их экспериментальные результаты. В связи с этим в начале работы после включения компьютера перед запуском программы "захват изображения" необходимо создать каталог (папку) подгруппы, внутри кото-

рой разместить каталоги (папки) бригад. Номера бригад можно узнать у преподавателя. По окончании занятия папки бригад копируются на сменные носители студентов соответствующих бригад, а папка подгруппы копируется на сменный носитель преподавателя, после чего преподаватель дает команду на стирание папки подгруппы с жесткого диска лабораторного компьютера.

3.3. Лабораторное задание

Для успешной работы в лаборатории (для допуска к работе) необходимо накануне занятия обязательно прочитать предыдущие подразделы и ознакомиться с обучающей мультимедийной презентацией по данной работе. При подготовке к защите отчета рекомендуется ознакомиться с приложениями к видеопрезентации.

На занятии в лаборатории обучающимся предлагаются следующие варианты лабораторных заданий (конкретный набор вариантов задает преподаватель), получить компьютерные реализации изображений для оценки:

- 1) сравнительной точности и повторяемости нанесения паяльной пасты с помощью дозатора и трафаретной печати;
- 2) точности механизированной установки компонентов с помощью полуавтомата ММ500;
- 3) точности автоматической установки компонентов с помощью робота-установщика Му9;
- 4) качества пайки групповым оплавлением;
- 5) качества пайки и демонтажа с помощью паяльного оборудования фирмы Накко;
- 6) качества отмывки печатной платы, сравнив изображения фрагментов платы до и после отмывки;
- 7) определения размеров и оценки однородности шариков (гранул) припоя в паяльной пасте.

Перечисленные варианты предполагают взаимодействие студентов, выполняющих данную лабораторную работу, со студентами, выполняющими другие лабораторные работы практикума. На основании полученных компьютерных реализаций в процессе подготовки отчета Ваши

коллеги могут выполнить соответствующие оценки качества технологических операций.

3.4. Контрольные вопросы

Для допуска к работе

1. Как проверить подключение телекамеры к персональному компьютеру?
2. Как превратить компьютер в инструмент измерения геометрических размеров элементов изображений?
3. Как выполнить фотосъемку объекта под углами зрения, отличными от прямого?
4. Как регулировать освещенность объекта?
5. Как выполнить фокусировку микроскопа?
6. Как изменить увеличение микроскопа?

Для защиты отчета

1. Как связаны между собой оптическое увеличение микроскопа и разрешающая способность телекамеры?
2. Может ли повышение разрешающей способности телекамеры компенсировать недостаточное увеличение оптики?
3. Чем системное увеличение установки непрямого оптического контроля отличается от увеличения оптической системы?
4. Как оценить объем объекта, например капли паяльной пасты, с помощью компьютерной томографии?
5. Чем векторные компьютерные изображения отличаются от растровых?
6. Что дает процедура векторизации растровых изображений и как ее осуществить?
7. С помощью каких стандартов можно проводить оценку качества:
 - установки компонентов на плату,
 - нанесения паяльной пасты на плату,
 - печатного узла после пайки,
 - печатного узла после отмывки?

Заключение

Предпринята попытка относительно краткого и в то же время системного изложения особенностей технологии поверхностного монтажа. Наряду с общей характеристикой отдельных технологических операций подробно рассмотрены особенности работы с имеющимися в лаборатории средствами технологического оснащения.

Настоящий практикум содержит описания трех лабораторных работ по изучению технологии поверхностного монтажа и является продолжением ранее изданных ВлГУ методических указаний к четырем лабораторным работам "Поверхностный монтаж в технологии электронных средств : методические указания к лабораторным работам / В.П. Крылов, С.Н. Марычев ; Владим. гос. ун-т. — Владимир : Изд-во ВлГУ, 2011. — 96 с."

Выполнение заданий лабораторного практикума отнюдь не означает, что будут получены ответы на все вопросы, касающиеся комплекса проблем описанных в нем технологических операций поверхностного монтажа. На занятиях в лаборатории у студентов есть возможность поработать с документацией фирм-поставщиков, отечественными стандартами и техническими условиями, а также со стандартами ИРС и другой дополнительной научно-технической информацией.

Вопросы технологической подготовки сборочного производства [3] с использованием технологии поверхностного монтажа, по мнению авторов, должны найти отражение в учебном пособии по курсу "Конструкторско-технологическое проектирование ячеек электронных средств", который по инициативе ВлГУ включен в качестве вариативной профильной дисциплины в учебный план направления подготовки "Конструирование и технология электронных средств".

Противоречивые требования к содержанию лабораторного практикума создают предпосылки определенного субъективизма в отборе и изложении материала, поэтому авторы с благодарностью воспримут критические замечания в свой адрес. Их можно направлять в издательство Владимирского государственного университета (см. с. 68) и лично авторам по электронной почте *krylov_vp@mail.ru*.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Аллас, А. А. Лазерная пайка в производстве радиоэлектронной аппаратуры / А.А. Аллас; под ред. В.П. Вейко и В.С. Новосадова. – СПб. : СПбГУИТМО, 2007. – 134 с.
- [2] Егоров, Г. В. Введение в технологию поверхностного монтажа: учеб. пособие / Г.В. Егоров, В.А. Егоров, А.А. Ефремов. – М.: ОСТЕК, 2008. – 288 с.
- [3] Крылов, В. П. Технологическая подготовка и сопровождение производства электронных средств : учеб. пособие / В.П. Крылов; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2007. — 88 с.
- [4] Медведев, А. Технология сборки и монтажа электронных устройств / А. Медведев. – М.: Техносфера, 2005. — 256 с. (Серия "Мир электроники")
- [5] Мэнгин, Ч.-Г. Технология поверхностного монтажа. Будущее технологии сборки в электронике: пер. с англ. / Ч.-Г. Мэнгин, С. Макклелланд; под ред. Л.А. Коледова. – М.: Мир, 1990. —276 с.
- [6] Нинг-Ченг Ли. Технология пайки оплавлением, поиск и устранение дефектов: поверхностный монтаж, BGA, CSP и flip chip технологии / Ли Нинг-Ченг.— М.: Технологии, 2006. — 392 с.
- [7] Соболев, С. Ф. Выбор оборудования электромонтажа поверхностным методом с использованием Интернет / С.Ф. Соболев, М.А. Синицов. – СПб. : СПбГУ ИТМО, 2011.—21 с.
- [8] Методические указания по лабораторным работам поверхностного монтажа / сост. С.Ф. Соболев. –СПб. : СПбГУ ИТМО, 2009.— 72 с.
- [9] Технология электромонтажа: метод. указания по разработке курсового проекта и подготовки к занятиям по технологии электромонтажа / сост. С.Ф. Соболев. –СПб. : СПбГУ ИТМО, 2008.—76 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1 ХАРАКТЕРИСТИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ И НАНЕСЕНИЯ ПАЯЛЬНЫХ ПАСТ	5
1.1. Паяльные пасты: характеристики, способы приготовления и нанесения	5
1.2. Дозатор МОСКИТ (АПДП 1.0) фирмы АБЕРОН (Россия, г. Екатеринбург) и установка трафаретной печати UNIPRINT-M фирмы PBT (Чехия)	21
1.3. Лабораторное задание	26
1.4. Контрольные вопросы	30
2 ГРУППОВАЯ ПАЙКА ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ	31
2.1. Технологии и оборудование групповой пайки	31
2.2. Конвейерная печь конвекционного оплавления SOLANO RO-510 фирмы DIMA (Нидерланды)	41
2.3. Лабораторное задание	46
2.4. Контрольные вопросы	49
3 ВИЗУАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ	50
3.1. Оборудование для визуального контроля печатных узлов	50
3.2. Компьютерный комплекс визуального контроля на базе установки SMIS фирмы DIMA (Нидерланды)	60
3.3. Лабораторное задание	63
3.4. Контрольные вопросы	64
Заключение	65
Список рекомендуемой литературы	66

Учебное издание

КРЫЛОВ Владимир Павлович
МАРЬЧЕВ Сергей Николаевич

ПОВЕРХНОСТНЫЙ МОНТАЖ В ТЕХНОЛОГИИ
ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Лабораторный практикум

Подписано в печать 10.04.14
Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 3,95. Тираж 75 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.