

## Лабораторная работа №7

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИНФРАКРАСНОЙ ПАЙКИ МИКРОМОДУЛЕЙ С ПОВЕРХНОСТНЫМ МОНТАЖОМ

### Цель работы

Изучение технологического процесса пайки микромодулей с поверхностным монтажом ИК нагревом, применяемого оборудования, и исследование причин дефектов поверхностного монтажа.

### Теоретические сведения

**Процесс пайки** является наиболее ответственным этапом технологии поверхностного монтажа, от которого зависит надежность и технические характеристики поверхностно монтируемых (ПМ) элементов. В технологии ПМ широко применяется метод групповой пайки с помощью инфракрасного нагрева (ИК-пайка). В настоящее время этот метод находит все более широкое применение ввиду преимуществ, связанных с возможностями более гибкого управления режимами нагрева (наличие нескольких температурных зон, возможность получения любого температурного профиля в зоне пайки и др.).

Пайка оплавлением дозированного припоя является сложным физико-химическим процессом, протекание которого определяется действием чаще всего всех видов теплообмена (конвективный, кондуктивный, излучением), процессами испарения, а также свойствами применяемых материалов. Этот процесс в общем случае можно разделить на 5 фаз:

- испарение растворителя из припойной пасты;
- активация и воздействие флюса на зону пайки;
- предварительный нагрев компонентов и платы;
- плавление припоя и смачивание им соединяемых частей;
- контролируемое охлаждение модуля до необходимой температуры.

Практическое применение новых методов пайки требует понимание физико-химических процессов, протекающих на каждой из указанных выше фаз, а также проведение во многих случаях экспериментальных исследований для выбора оптимального метода и режимов пайки.

Если в традиционном монтаже в отверстиях качество паяного соединения обеспечивается также и механическим креплением выводов ЭРЭ, то при ПМ под высоким качеством пайки следует понимать прежде

всего получение "упругих" мест пайки (рисунок 7.1, а), в которых высота гантели припоя на торцах и выводах компонентов не должна превышать две трети высоты корпуса. Избыток припоя будет способствовать также смещению компонента во время пайки из-за возникающих результирующих моментов, схема которых показана на рисунок 7.1, б. Поэтому важным требованием к процессу пайки является обеспечение упругих паяных соединений и их повторяемости в технологических циклах производства ПМ-изделий.



Рисунок 7.1 – Виды паяных соединений SMD

Значительное влияние на качество пайки оказывает температурно-временной профиль процесса. Основные применяемые методы оплавления припоя (в парогазовой фазе, ИК-нагрев и обдувом нагретым воздухом (принудительной конвекцией) обеспечивают различные температурно-временные диаграммы нагрева. Поэтому температурно-временной профиль процесса пайки (рисунок 7.2) должен быть обоснованно определен (исходя из конструктивных особенностей SMD, применяемых материалов и др.) до выбора метода и оборудования для пайки.

Процесс оплавления припоя можно разделить на три фазы: предварительный нагрев, оплавление, охлаждение. Фаза предварительного нагрева создает благоприятные предпосылки для качественного оплавления припоя. В частности, в течение этой фазы осуществляется равномерный нагрев до требуемой температуры платы и компонентов, испарение растворителя из припойной пасты, удаление окисных пленок за счет действия флюса, и расплавление частиц припойной пасты.

Непосредственно фаза оплавления припоя протекает при температуре, превышающей температуру плавления применяемого сплава, что обеспечивает снижения сил поверхностного натяжения припоя, увеличивает смачиваемость соединяемых поверхностей. Время выдержки

изделия при этой температуре оказывает существенное влияние на качество пайки.

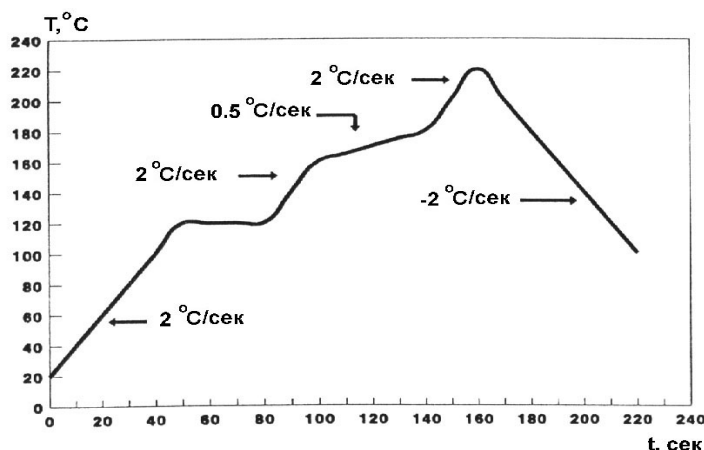


Рисунок 7.2. –Типовой термопрофиль ИК пайки

Длительность и температурный профиль фазы охлаждения также оказывает влияние на свойства паяного соединения, в частности на этой фазе формируется мелкозернистая структура сплава и уровень остаточных напряжений. Рекомендуемый режим охлаждения  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ , хотя может применяться скорость охлаждения до  $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ .

Температурно-временной профиль процесса пайки оказывает также влияние на действие флюса. В этом отношении необходимо учитывать две характеристики: температуру активации флюса и время, необходимое для активации флюса. Флюс должен быть активированным в течение времени, достаточного для растворения окисных пленок с контактных площадок, выводов компонентов и припойной пасты. В идеале эти процессы должны завершиться до начала полного расплавления припоя. Установлено что для большинства применяемых флюсов температура активации составляет  $110\text{--}120^{\circ}\text{C}$ , требуемое время активированного состояния - от 30 до 90 с.

При основной фазе плавления температура нагрева припоя должна на  $25\text{--}40^{\circ}\text{C}$  в течение 20-60 сек превышать температуру плавления. Это обеспечивает качественное смачивание поверхностей соединяемых деталей.

При выборе температурно-временного профиля нужно учитывать допустимые температуры нагрева компонентов, особенно активных. Большинство таких компонентов могут подвергаться без разрушений воздействию температур  $210\text{--}220^{\circ}\text{C}$  в течение 20–60 с. Критичны к высокоскоростным тепловым воздействиям конденсаторы, в которых тепловой удар может вызвать появление трещин и отслоение

металлизации. Рекомендуемая скорость изменения температуры при пайке конденсаторов составляет не более 2°С/с.

После сборки и монтажа электронных модулей обязательными контрольными операциями являются визуальный и электрический контроль. Визуальным контролем проверяют: внешнее соответствие изделия чертежу, образцу, качество крепления деталей, сборочных единиц (совмещается с операцией стопорения резьбовых соединений), качество паяных и сварных соединений, отсутствие внешних дефектов (трещин, вмятин, следов коррозии и т. д.), качество отделки поверхности в сравнении с эталоном или образцами, маркировку изделий или отдельных сборочных единиц.

Наружный осмотр проводят как невооруженным глазом, так и с помощью лупы (×4), микроскопа бинокулярного МБС-9 с 50-кратным увеличением или специальных приборов и приспособлений. Дефекты при сборке сборочных единиц возникают в результате неправильного программирования, технических отказов или субъективных факторов, поэтому целесообразно проверять качество и правильность сборки до монтажа. В процессе контроля можно выявить следующие дефекты поверхностного монтажа (рисунок 7.3):

1. **Спаи** выводов компонентов с шагом между выводами 0,5 мм, которые возникают вследствие неправильно спроектированного трафарета (с отступлением от требований международного стандарта IPC-SM-782 A), когда размеры апертуры трафарета превышают размеры контактных площадок.

2. **Непропай** выводов вследствие неправильно подобранного температурного профиля и «теневого эффекта», характерного для метода ИК пайки.

3. **Дефект «надгробный камень»** возникает из-за неправильного профиля ИК пайки и смещения чип компонента.

4. **Смещение выводов** элементов относительно контактных площадок вследствие неточности позиционирования.

5. **Недостаточная высота паяного соединения (галтели) согласно** критериям оценки качества международного стандарта IPC-A-610 вследствие сбоя в настройке полуавтомата для нанесения пасты.

6. **Шарики припоя** вдоль корпусов чипов, которые нарушают требования к эстетическому виду выпускаемой продукции.



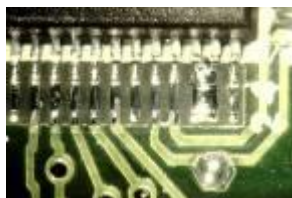
Шарик припоя



Непропай выводов



Смещение выводов



Спаи выводов



Недостаточная  
высота галтели



Дефект «надгробный  
камень»

Рисунок 7.3 – Дефекты поверхностного монтажа

Электрический контроль модулей является необходимой операцией, предшествующей настройке. Эту операцию осуществляют, используя электромонтажные схемы изделия и специальные стенды.

Критичны к высокоскоростным тепловым воздействиям ПМ-конденсаторы, в которых тепловой удар может вызвать появление трещин и отслоению металлизации. Рекомендуемая скорость изменения температуры при пайке конденсаторов составляет не более  $2^{\circ}\text{C}/\text{с}$ . Имеются конструкции, выдерживающие без разрушения нагрев/охлаждение со скоростью  $3\text{-}6^{\circ}\text{C}/\text{с}$ .

Применение ИК пайки является новым перспективным направлением в технологии поверхностного монтажа, которое обеспечивает уменьшение затрат на эксплуатацию оборудования при одновременном повышении качества паяных соединений.

## 2. Используемое лабораторное оборудование

Установка ИК пайки предназначена для оплавления припойных паст при сборке электронных модулей с поверхностно монтируемыми изделиями электронной техники. Установка осуществляет пайку как с одной стороны, так и одновременно с двух сторон платы. В качестве источника ИК излучения применены галогенные лампы мощностью 300 Вт для верхнего блока нагревателя и 1000 Вт для нижнего блока подогрева.

Для ГЛН КИ 220-1000 при питающем напряжении 220 В максимальная спектральная интенсивность излучения ( $I_{\lambda_{\max}}$ ) достигает 52 Вт/ср.мкм на длине волны 1,1 мкм, а для КГМ 30-300  $I_{\lambda_{\max}} = 18$  Вт/ср.мкм на длине волны 1,3 мкм. Перед пайкой верхний ИК рефлектор (рисунок 7.4), укрепленный на конце поворотной штанги, ориентируют на центр рабочей зоны. Затем плату с SMD устанавливают в рабочую зону так, чтобы монтируемые элементы оказались в ее центре.

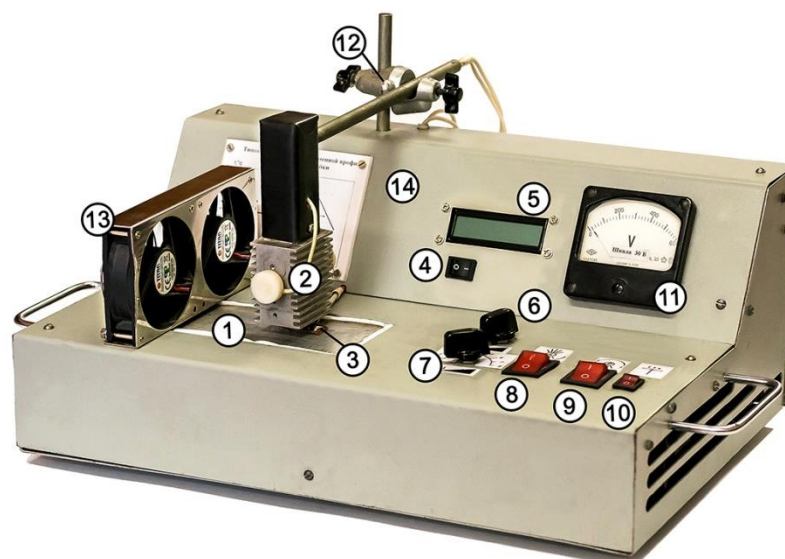


Рисунок 7.4 – Установка для инфракрасной пайки: 1 – термостол, 2 – верхний ИК нагреватель, 3 – термопара, 4 – клавиша включения блока управления, 5 – ЖК-дисплей, 6,7 – регуляторы мощности нагрева нижнего нагрева, 8 – клавиша включения нижнего нагрева, 9 – клавиша включения верхнего нагрева, 10 – клавиша включения вентиляторов, 11 – вольтметр напряжения на верхнем нагревателе, 12 – кронштейн верхнего нагревателя, 13 – вентиляторы, 14 – ИК станция

После установки платы производится настройка мощности нагрева термостола и производится запуск установки клавишей 2. Температура в зоне пайки начинает расти со скоростью  $5^{\circ}\text{C}/\text{с}$  до установленного значения в  $100^{\circ}\text{C}$ , после чего происходит переключения термостола в режим 2 и включение верхнего нагревателя, далее температура продолжает увеличиваться со скоростью  $5-14^{\circ}\text{C}/\text{с}$  до установленного значения в пределах  $200-210^{\circ}\text{C}$ . Через некоторое время происходит полное оплавление припоя на выводах и нагрев прекращается.

Верхний ИК нагреватель оснащён оригинальной системой фокусировки теплового излучения, позволяющей обеспечить равномерное температурное поле. Используемое ИК излучение с длиной волны 2–8 мкм оптимально в плане соотношения отражаемой и поглощаемой тепловой энергии темными и светлыми поверхностями объекта.

Значения температуры на поверхности микромодуля измеряются при помощи термопары градуировки ХК и используются в качестве входных параметров системы регулирования. Термопара закреплена непосредственно на поверхности микромодуля.

Для расчета расхода паяльной пасты находим скорость ее истечения из дозатора. На поршень с площадью  $S_0$  действует внешняя сила  $F$ , и паста плотностью  $\rho$  вытекает из отверстия площадью  $S$  (рисунок 7.5). Обозначив скорость движения пасты внутри дозатора через  $v_0$ , и, согласно уравнения Бернулли, имеем

$$\frac{F}{S_0} + \frac{1}{2} \rho v_0^2 = \frac{1}{2} \rho v^2. \quad (1)$$

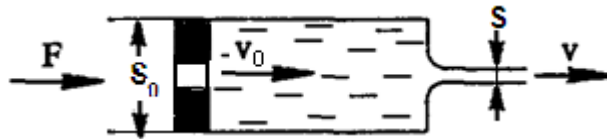


Рисунок 7.5.– Схема дозирования паяльной пасты

Предполагая, что скорости движения пасты во всех точках сечения одинаковые, тогда ее масса  $m$ , протекающая за время  $t$ , равна:

$$m = \rho v S t. \quad (2)$$

В стационарном потоке масса  $m$  одна и та же для любого поперечного сечения дозатора, поэтому:

$$\rho_1 v_1 S_1 = \rho_2 v_2 S_2. \quad (3)$$

Если пасту рассматривать как несжимаемую, то  $\rho_1 = \rho_2$  и условие (3) принимает вид

$$v_1 S_1 = v_2 S_2. \quad (4)$$

С учетом выражения (4) получаем

$$v S = v_0 S_0. \quad (5)$$

Выражая из формулы (5)  $v_0$  и подставляя в формулу (1) получаем

$$\frac{F}{S_0} = \frac{1}{2} \rho v^2 \left[ 1 - \left( \frac{S}{S_0} \right)^2 \right]. \quad (6)$$

Обычно площадь отверстия иглы во много раз меньше площади поршня шприца, т.е.  $S \ll S_0$ . Тогда, пренебрегая квадратом отношения  $\frac{S}{S_0}$ , находим силу, необходимую для выдавливания пасты

$$F = \frac{1}{2} \rho v^2 S_0. \quad (7)$$

Скорость вытекания паяльной пасты при этом равна

$$v = \sqrt{\frac{2F}{\rho S_0}} = \sqrt{\frac{2SP}{\rho S_0}}. \quad (8)$$

Масса выдавленной пасты за промежуток времени  $t = 1$  с, рассчитывается как:

$$m = \frac{S_0 v}{\rho} \quad (9)$$

Подставив значение  $v$  из формулы (10), получим

$$m = \frac{S_0}{\rho} \sqrt{\frac{2SP}{\rho S_0}} = \sqrt{\frac{2SS_0P}{\rho^3}}. \quad (10)$$

Плотность паяльной пасты будет равна:

$$\rho = \frac{M \times \rho_{\text{пр}}}{100\%}, \quad (11)$$

где  $M$  – процент содержания металла в паяльной пасте,  $\rho_{\text{пр}}$  – плотность припоя в паяльной пасте.

Учитывая данные дозатора и пасты Sn62RM92A, для  $S_0 = 6,15 \times 10^{-3}$  см<sup>2</sup>,  $S = 1,02$  см<sup>2</sup> и  $\rho = 7,65$  г/см<sup>3</sup> построена зависимость массы дозированной пасты от давления (рисунок 7.6).

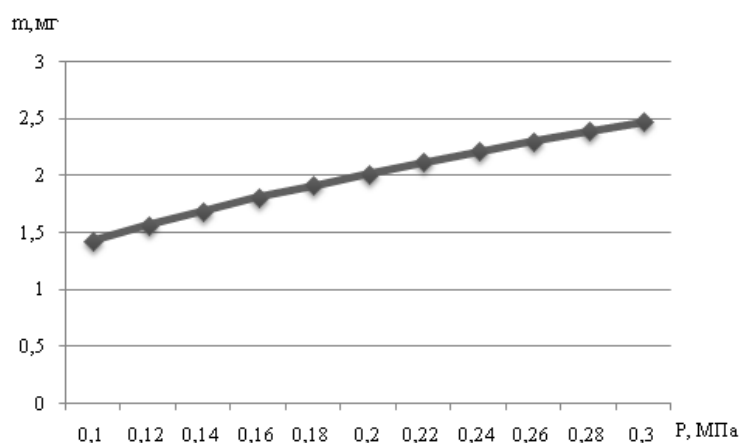


Рисунок 7.6– Зависимость массы дозированной пасты от давления

### 3. Порядок выполнения работы

1. Получить печатную плату и SMD компоненты.
2. Нанести паяльную пасту с помощью дозатора. Для этого включить компрессор и манипулятор ЭМ-4725. Давление, создаваемое компрессором должно быть не менее 0,5 Бар.
3. Нажать ногой на педаль и дозировать количество пасты на контактных площадках временем подачи воздуха в дозатор.
4. Установить SMD компоненты с помощью вакуумного пинцета. Качество установки контролировать на дисплее.
5. Разместить плату с компонентами в окне предметного стола ИК установки пайки под верхним излучателем.

6. Включить блок управления станцией переключателем 4, при этом на ЖК-дисплее отобразится текущая температура.

7. Включить нижний нагреватель клавишей нагрева 8 и контролировать изменение температуры тестовой платы по дисплею на передней панели установки. Показания снимать с дисплея через 3–4 секунды.

8. При достижении температуры 100°C отключить нижний нагреватель и включить верхний нагреватель клавишей 9. При достижении температуры в рабочей зоне 220°C – отключить верхний нагреватель и включить вентилятор охлаждения переключателем 10.

9. Построить графики зависимости температуры в зоне пайки от времени нагрева, сравнить их с теоретическим температурным профилем ИК пайки и определить оптимальные параметры процесса. По окончании пайки отключить нагрев и охлаждение.

10. Провести визуальный контроль качества пайки SMD с помощью бинокулярного микроскопа МБС-2: отметить такие дефекты как "мостики" и "натеки" припоя, непропаи и др. и определить число шариков припоя образовавшихся в процессе пайки (по всей площади платы) и другие дефекты. Данные занести в табл. 7.1.

11. Выполнить электрический контроль параметров собранного электронного модуля, схема которого приведена на рис. 7.5. Получить форму электрического сигнала на выходе мультивибратора и проанализировать полученные результаты.

Таблица 7.1

Результаты контроля качества паяных соединений

Обозначение SMD	Вид дефекта	Причины возникновения

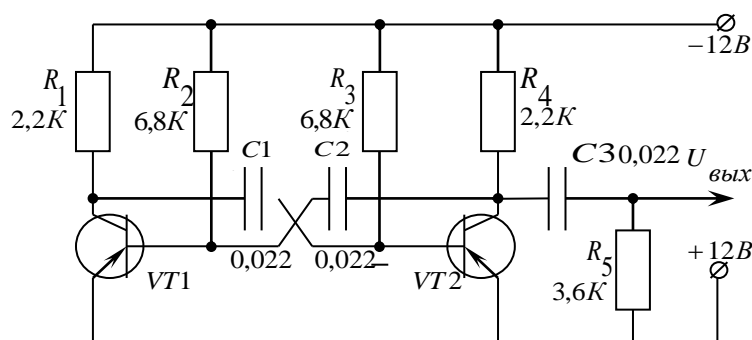


Рис. 7.7. Схема электронного модуля

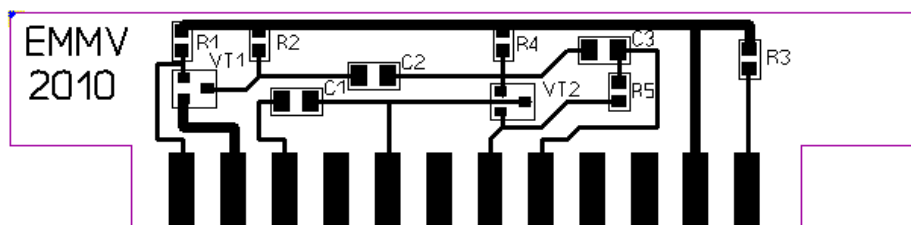


Рис. 7.8. Печатная плата мультивибратора

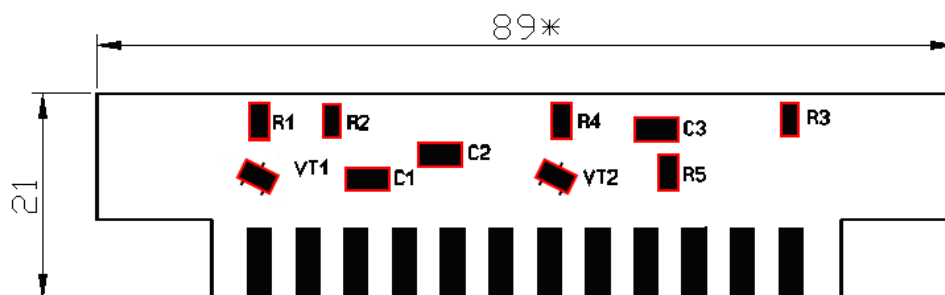


Рис. 7.9. Сборочный чертеж микро модуля

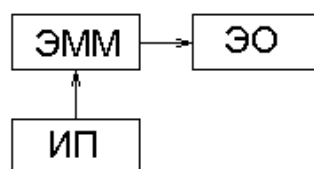


Рис. 7.10. Структурная схема проверки электрических параметров: ЭММ – электронный микро модуль, ЭО – электронный осциллограф, ИП – источник питания

### Содержание отчета

1. Эскиз электронного микро модуля.
2. Расчет дозированного количества припойной пасты.
3. Схема исследований процесса ИК пайки.
4. Температурный профиль ИК пайки SMD.
5. Таблицы экспериментальных данных.
6. Графические зависимости.
7. Выводы.

### Контрольные вопросы

1. Особенности элементной базы поверхностного монтажа.
2. Назовите преимущества технологии поверхностного монтажа.
3. Какие фазы включает в себя пайка оплавлением?

4. Температурные профили пайки SMD обычным и бессвинцовым припоем?
5. Принцип работы установки ИК пайки.
6. Назовите виды контроля и их отличия.
7. Типичные дефекты поверхностного монтажа.

### **Литература**

1. Ланин, В.Л. Формирование токопроводящих контактных соединений в изделиях электроники/ В.Л. Ланин, А.П. Достанко, Е.В. Телеш. – Минск : Издат. Центр БГУ, 2007. – 574 с.
2. Ланин, В.Л. Электромонтажные соединения в электронике: технология, оборудование, контроль качества / В.Л. Ланин, В.А. Емельянов. – Минск: Интегралполиграф, 2013. – 406 с.