

Особенности некоторых видов пайки

В настоящее время наиболее распространена контактная пайка, но очень хорошие перспективы для использования при монтаже электронных блоков у лазерной пайки. Таким образом, развитие научного направления по обеспечению требуемых режимов лазерной и контактной пайки электронных компонентов имеет большое значение.

**Василий Штенников,
к. т. н.**

shtennikov_uemp@mail.ru

ГОСТ 17325-79 определяет 46 видов пайки в зависимости от температуры, применяемого припоя или флюса, источника нагрева, среды, в которой выполняется пайка, применяемого инструмента и т. д. В этот перечень не включена контактная пайка. Исследования Ю. П. Шлыкова в области контактного теплообмена, изложенные в его докторской диссертации, позволяют сделать вывод о принципиальном отличии этого способа нагрева деталей при пайке от других и выделения в отдельный метод монтажа [1]. Более того, в проспектах фирмы «Эрса», а также в других источниках применяется термин именно «контактная пайка» в отличие от пайки газовым, ультразвуковым либо иным паяльником, низкотемпературной пайки ИК, пайки волной припоя, конвекционной и т. д. [2].

Контактная пайка — наиболее универсальный вид монтажа. Температура контактной пайки зависит не только от температуры паяльного инструмента, но и от конструктивных параметров как инструмента, так и паяного соединения [3]. Температура контактной пайки всегда ниже температуры холостого хода паяльного стержня.

При ИК и лазерной пайке температура нагрева паяных соединений кроме теплопроводности и теплоемкости соединяемых деталей зависит и от коэффициента поглощения поверхности. Зависимость температуры пайки от большего числа факторов является недостатком этих методов.

Однако по сравнению с другими методами лазерная пайка обладает и рядом существенных преимуществ. Во время пайки печатная плата и корпуса элементов практически не нагреваются, что позволяет монтировать элементы, чувствительные к тепловым воздействиям. Кратковременное воздействие тепла снижает степень окисления припоя и уменьшает толщину слоя интерметаллидов, при этом припой имеет мелкозернистую структуру. Метод позволяет выполнять паяные соединения в модулях с высокой плотностью монтажа и малым шагом выводов без образования перемычек и шариков припоя. Установки лазерной пайки могут быть полностью автоматизированы; при ее использовании нет необходимости в предварительном подогреве многослойной печатной платы, что обычно делается при пайке волной припоя в паровой фазе для предотвращения расслоения платы. Не требуется также создавать какую-либо специальную газовую среду. Для приклеивания электронных компонентов не нужно использовать

специальные высокотемпературные клеящие композиции. Возникает возможность проводить селективную сборку, при которой отдельные элементы могут устанавливаться позднее.

Говоря о факторах, влияющих на качество паяных соединений: время пайки, состояние соединяемых поверхностей, используемый флюс, состав припоя, зазор между деталями, — необходимо отметить определяющее значение температуры пайки [4–7].

Контактную и лазерную пайку объединяет одна особенность — возможность выполнения паяного соединения за относительно короткое время.

Оценим возможности увеличения производительности при использовании одиночной контактной и лазерной пайки.

Энергия при воздействии лазерного излучения выделяется в слое толщиной около $10^{-6} \dots 10^{-5}$ см [7]. Температура более глубоких областей облучаемой поверхности растет за счет теплопроводности.

Определить интенсивность теплового потока излучения можно, зная коэффициент поглощения поверхности паяного соединения. В дальнейшем рассчитывают величину нагрева различных участков паяного соединения, решая соответствующую задачу для полуограниченного тела с граничными условиями 2-го рода [3, 8, 9].

В частности, если интенсивность теплового потока на поверхности паяного соединения пропорциональна $\tau^{-1/2}$, что характерно, в первую очередь, для контактной пайки, то температуру пайки в зависимости от времени воздействия и удаления от поверхности, а также градиент температуры на поверхности можно рассчитать по уравнениям [3]:

$$t_{n(x, \tau)} = t_{n(x=0)} \left\{ 1 - \Phi \left(\frac{x}{2\sqrt{a \times \tau_n}} \right) \right\}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial t}{\partial x} = \frac{t_{n(x=0)}}{\sqrt{\pi \times a \times \tau_n}}. \quad (2)$$

В случае постоянной интенсивности теплового потока на поверхности паяного соединения температуру на его поверхности можно рассчитать по уравнению:

$$t_x = \frac{2\sqrt{\tau_n}}{\sqrt{\pi \times \lambda \rho c}} F, \quad (3)$$

где τ_n — время пайки, с; t_n — температура пайки, °C; $\sqrt{\lambda \rho c}$ — коэффициент теплоусвоения материала паяного соединения, Дж·с^{-1/2}·м⁻²·°C⁻¹; F — интенсивность теплового потока, Вт·м⁻².

Градиент температуры на поверхности паяного соединения в этом случае можно определить по выражению [8]:

$$\frac{\partial t}{\partial x} = \Phi \left(\frac{x}{2\sqrt{a_1 \times \tau_n}} \right) \frac{F}{\lambda}, \quad (4)$$

где a — коэффициент температуропроводности материала паяного соединения, м²·с⁻¹;

$\Phi(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u e^{-\xi^2} d\xi$ — интеграл вероятности.

Оценим минимально допустимое время контактной и лазерной пайки, если известно, что на поверхности паяного соединения задан тепловой поток с интенсивностью, пропорциональной $\tau^{-1/2}$.

Данные из ОСТ 4Г0.033-200 «Припой и флюсы для пайки» показывают, что плотность и удельная теплоемкость меди мало отличаются от плотности и удельной теплоемкости припоев для пайки ЭРИ на печатные платы. Поэтому для проведения оценки вполне допустимо считать, что коэффициенты температуропроводности меди и упомянутых припоев отличаются только за счет теплопроводности (примерно в 8 раз). Подставляя значение коэффициента температуропроводности для медного вывода и для различных припоев в соотношение (2), оценим перепад температуры по глубине металлизированного отверстия при толщине печатной платы 1,5 мм с выводом и без вывода, при избыточной температуре контактной пайки $t_n = 230$ °C согласно отраслевому стандарту ОСТ В95 2302-82:

- 14...20 °C для вывода при времени пайки 1–2 с;
- 40...57 °C без вывода, но с припоем при времени пайки 1–2 с.

Таким образом, перепад температуры по глубине металлизированного отверстия может составлять несколько десятков градусов, что соответствует экспериментальным данным: из [10] — около 50 °C при нагреве металлизированного отверстия без вывода и данным из работы [11] — 30...35 °C по выводу. Расхождения экспериментальных данных с расчетными во втором случае объясняются, во-первых, принятыми допущениями, во-вторых, — недоступностью измерения температуры в центре металлизированного отверстия из-за наличия в нем вывода, выступающего согласно КД на 1,5 максимума над поверхностью платы. В последнем случае расчетное значение длины вывода приближается к 3 мм, что объясняет полученный результат.

Далее, используя зависимость (2), можно сделать вывод, что при длительности лазерного излучения 0,02 с обеспечить температуру не более 265 °C на поверхности вывода и одновременно не менее 230 °C на нижней поверхности вывода становится проблематичным.

Учитывая, что параметры оборудования и паяных соединений могут отличаться друг

от друга, а кроме толщины вывода микросхемы необходимо учитывать зазор между выводом и контактной площадкой, заполненный пастой, следует с большой осторожностью подходить к вопросу обеспечения гарантированной надежности паяных соединений в производственных условиях при времени пайки 0,02 с [12, 13].

На предприятии экспериментальные работы по лазерной пайке выводов микросхем проводили непрерывным движением луча постоянной мощности по нагретому припою с нанесенным флюсом ФКСп [14]. Расчетное время пайки составляло около 0,5 с. Из-за отсутствия прямого воздействия лазерного излучения на корпуса микросхем они при пайке выводов нагревались до температуры не выше 113 °C.

Прочность паяных соединений, полученных на автомате лазерной пайки для печатных плат с горячим покрытием ПОС61, составила: 11 Н на вывод для соединений скелетно-заливной формы и 6,60 Н на вывод для соединений скелетной формы. Среднее значение механической прочности на отрыв составило 8,80 Н на вывод для одиночных контактных площадок.

Отличий по шлифам паяных соединений от пайки вручную, полуавтоматом или лазером не обнаружено. Разрыв паяного соединения для всех методов пайки происходил по границе вывод – припой.

Применение лазерной пайки без учета подготовительных операций обеспечивает значительное повышение производительности по сравнению с ручной пайкой. Качество пайки соответствует требованиям отраслевой нормативной документации.

Не исключая возможности применения лазерной пайки при планарном и поверхностном монтаже, следует обратить внимание на перспективы применения лазерной пайки при смешанном монтаже на финишной операции монтажа электронных блоков различного назначения.

Вывод

Опыт ФГУП УЭМЗ показал, что развитие научного направления по обеспечению требуемых режимов пайки электронных компонентов позволяет существенно повысить эффективность обработки соответствующих техно-

логических режимов и повысить достоверность полученных результатов.

Литература

1. Шлыков Ю. П. Исследование контактного теплообмена: Автореф. дисс. на соискание учен. ст. докт. техн. наук. Л., 1965 (ЦКТИ).
2. Каталог фирмы ERSA, 1995.
3. Штенников В. Н., Байдаков В. Г. Наука и производство. Повышение качества приборов автоматики // Компоненты и технологии. 2004. № 6.
4. Ли Н.-Ч. Технология пайки оплавлением, поиск и устранение дефектов: поверхностный монтаж, BGA, CSP и flip-chip технологии. М.: Издательский дом «Технологии», 2006.
5. Джуд М., Бриндли К. Пайка при сборке электронных модулей. М.: Издательский дом «Технологии», 2006.
6. Kordas K., Pap A. E., Toth G. and ets. Laser Soldering of Flip-Chips // Optics and Lasers in Engineering. 2006. № 2.
7. Аллас А. А. Лазерная пайка в производстве радиоэлектронной аппаратуры / Под ред. докт. техн. наук, проф. В. П. Вейко и докт. хим. наук, проф. В. С. Новосадова. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2007.
8. Пехович А. И., Жидких В. М. Расчеты теплового режима твердых тел. Л.: Энергия, 1976.
9. Штенников В. Н., Байдаков В. Г. Повышение надежности приборов и производительности оборудования для контактной пайки // Компоненты и технологии. 2004. № 7.
10. Отчет УЭМЗ № 103/514: Исследование динамических качеств паяльников / Исп. Ю. Н. Кузьмин, Г. М. Перевозчиков, В. Я. Пришвицын, Г. Ш. Нуртдинов. 1975.
11. Отчет УЭМЗ № 173/514: Анализ режимов монтажа матриц 2ТС 613Б в прибор 82 на соответствие НТД на матрицу / Исп. В. Н. Штенников, В. В. Годличев, В. М. Федотовских, С. М. Ушаков. 1979.
12. Кравченко К. В. Технология поверхностного монтажа. http://kkbweb.narod.ru/teoriya/smt_tehnology.htm
13. Ланин В. Лазерная пайка при сборке электронных модулей // Технологии в электронной промышленности. 2007. № 6.
14. Протокол УЭМЗ № 1528/ПН: Проработка вопроса лазерной пайки выводов микросхем типа 401.14 на МПП с ОКП / Исп. В. Н. Штенников, В. М. Федотовских. 1984.