

К вопросу формирования температурного профиля конвекционной пайки

Изучение информационных источников показывает, что в настоящее время отсутствуют научно обоснованные рекомендации по обеспечению требуемых режимов пайки электронных приборов.

Высказанное наблюдение относится и к одному из наиболее распространенных методов монтажа поверхностно монтируемых компонентов — конвекционной пайке.

Таким образом, развитие научного направления по обеспечению требуемых режимов конвекционной пайки электронных приборов различного назначения имеет большое практическое значение [1].

**Василий Штенников,
к. т. н.**

shtennikov_uemp@mail.ru

Перечисляя факторы, влияющие на надежность паяных соединений (время пайки, паеваемость соединяемых поверхностей, используемый флюс, состав припоя, зазор между деталями), необходимо отметить решающее влияние температуры пайки. Так, если время пайки электронных приборов припоем ПОС61 может изменяться в сотни раз (от 0,03 с при лазерной до 90 с при конвекционной пайке), то температура пайки при этом может быть только в диапазоне 205...265 °С, то есть в пределах ±13% [2–4].

При отсутствии необходимых научно обоснованных рекомендаций по формированию температурного профиля конвекционной пайки, включая режим охлаждения, неизбежно появление недостаточно аргументированных предложений и неточностей.

Так, в статье [5] предпринята попытка выделить основные факторы, влияющие на скорость нагрева и охлаждения печатного узла при конвекционной пайке. Начальные и граничные условия решения поставленной задачи в статье не рассмотрены, ссылки на первоисточники отсутствуют. Рекомендации основаны на ошибочной зависимости, в которой размерность левой и правой частей не совпадают. Выводы имеют противоречивый характер и не могут быть использованы специалистами в работе. В частности, из предложенного уравнения следует, что количество тепла, передаваемого компоненту при конвекционной пайке, а следовательно, и температура, будут расти до бесконечности при неограниченном увеличении времени пайки, что невозможно по причине конечной температуры теплоносителя:

$$Q = h \times A \times t \times \Delta T, \quad (1)$$

где Q — количество переданного тепла; h — теплоемкость материала (способность материала погло-

щать или отдавать тепло); A — площадь поверхности изделия; t — время; ΔT — разность температур материала и источника нагрева.

Вид формулы, обозначения и их определения взяты из оригинала.

Итак, определим влияние основных факторов на скорость нагрева и охлаждения печатного узла при конвекционной пайке. Для этого используем модель реального печатного узла из работы [6].

Основные допущения, принятые в упомянутой работе, следующие: постоянство коэффициента теплообмена между поверхностью печатного узла и воздухом, однородность температурного поля в объеме печатного узла.

Полученные формулы позволяют достаточно корректно оценить среднюю температуру печатного узла в зависимости от температуры теплоносителя (воздуха или азота), площади поверхности печатного узла, его теплоемкости, коэффициента теплообмена.

На основании полученных аналитических зависимостей можно определить влияние тех или иных факторов на температурный профиль конвекционной пайки, который необходимо обеспечить, исходя из требований производителей паяльных паст, литратурных источников и международных стандартов IPC, рекомендованных для применения [7–9].

Тогда условие теплового баланса может быть записано в следующем виде:

$$C_{\Pi} dt = \alpha \times t \times S_{\Pi} d\tau, \quad (2)$$

где C_{Π} — теплоемкость печатного узла, Дж·°С⁻¹; t — избыточная температура (превышение температуры теплоносителя над температурой печатного узла), °С; α — коэффициент теплообмена, Вт·°С⁻¹·м⁻²; S_{Π} — площадь поверхности печатного узла, м²; τ — время, с.

Путем элементарных преобразований, учитывая, что при нагреве $t_{\tau \rightarrow \infty} = t_T$; $t_{\tau \rightarrow 0} = 0$, получим выражение для температуры печатного узла при конвекционном нагреве:

$$t_H = t_T(1 - e^{-t/\tau_0^n}), \quad (3)$$

где t_T — температура теплоносителя, °C; τ_0^n — постоянная нагрева печатного узла, с:

$$\tau_0^n = C_{II}/(\alpha_n \times S_{II}). \quad (4)$$

Решая аналогичную задачу для режима охлаждения, получим:

$$t_0 = t_T \times e^{-t/\tau_0^n}, \quad (5)$$

$$\tau_0^n = C_{II}/(\alpha_o \times S_{II}), \quad (6)$$

где τ_0^n — постоянная времени охлаждения печатного узла, с.

В общем случае постоянные времени нагрева и охлаждения печатного узла могут различаться за счет разной скорости движения и состава теплоносителя. Скорость нагрева печатного узла и охлаждения после пайки тем больше, чем больше скорость движения нагретого воздуха (азота), которая увеличивает коэффициент теплообмена [10]. Последнее обстоятельство использовано в новом поколении печей для конвекционной пайки 900EXL компании Heller с увеличенной на 25% скоростью движения воздушного или азотного потока [11].

Таким образом, постоянные времени нагрева и охлаждения печатного узла при конвекционной пайке пропорциональны коэффициенту теплообмена, площади его поверхности и обратно пропорциональны его теплоемкости.

Основными преимуществами конвекционной пайки являются относительно высокая равномерность прогрева различных участков печатного узла и высокая производительность [2, 3, 9].

Тем не менее, сформулированные зависимости относительно всего печатного узла можно использовать применительно к отдельным компонентам поверхностного монтажа, паяным соединениям, расположенным на печатной плате, для качественного описания процесса их нагрева. В частности, можно сделать вывод о том, что паяные соединения, находящиеся в различных условиях обдува теплоносителем, будут нагреваться с различной скоростью, а это может привести к несоблюдению требуемого температурного режима пайки, а также к образованию дефекта «надгробного камня» [2, 3, 12].

Экспериментальные исследования показывают, что по этой причине нижняя поверхность компонентов BGA, где расположены шариковые выводы, нагревается медленнее, чем боковая поверхность компонентов и паяные соединения планарных выводов [2, 3].

Уменьшение температуры теплоносителя в соответствующей зоне паяльной печи при одновременном увеличении скорости его движения перед финишным нагревом печатного узла до температуры пайки дает возмож-

ность более равномерно прогреть электронные компоненты вне зависимости от соотношения площади их поверхности к теплоемкости [8].

С другой стороны, наличие на печатной плате компонентов в одинаковых корпусах, отсутствии корпусов BGA позволяет исключить упомянутую выдержку без снижения качества пайки [13].

Вывод

Опыт предприятия по отработке режимов конвекционной пайки печатных плат с Fine-Pitch компонентами показал, что развитие научного направления по обеспечению требуемых параметров монтажа электронных приборов позволяет существенно повысить эффективность отработки соответствующих технологических процессов и уточнить рекомендации международных стандартов [7, 13].

Литература

1. Великанов В. Б., Денисов Ю. В. Основы научного сопровождения производства прецизионных приборов // Новые промышленные технологии. 2008. № 1.
2. Ли Нинг-Ченг. Технология пайки оплавлением, поиск и устранение дефектов: поверхностный монтаж, BGA, CSP и flip-chip технологии. М.: Издательский дом «Технологии», 2006.
3. Джюд М., Бриндли К. Пайка при сборке электронных модулей. М.: Издательский дом «Технологии», 2006.
4. Ланин В. Лазерная пайка при сборке электронных модулей // Технологии в электронной промышленности. 2007. № 6.
5. Димок Ф., Ди Маттео Р. Достижение и контроль значений охлаждения в печах оплавления // Производство электроники: технологии, оборудование, материалы. 2008. № 4.
6. Штенников В. Н. Разогрев и охлаждение паяльного инструмента при пайке // Компоненты и технологии. 2004. № 8.
7. Штенников В. Н. Предложения по уточнению рекомендаций международных стандартов IPC // Приборы. 2008. № 5.
8. Easy Profile 256 HA No-Clean Solder Paste Supplemental Data Packade. www.kester.com
9. Шмаков М., Тиханкин А. Оптимизация температурного профиля пайки оплавлением // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 1.
10. Лыков А. В. Тепломассообмен: Справочник. 2-е изд. М.: Энергия, 1978.
11. Reflow ovens solution to the challenges of increased productivity and greater flexibility <http://www.global-electronics.net/link/en/20297713#20297713>
12. Причины возникновения и способы борьбы с эффектом «надгробного камня». <http://www.siplace.ru/soldering/gravestone>
13. Штенников В. Н. Опыт ФГУП УЭМЗ по внедрению технологии поверхностного монтажа печатных плат с Fine-Pitch компонентами // Новые промышленные технологии. 2008. № 5.