

Монтаж и демонтаж BGA, CSP, Flip-Chip, QFP

при помощи инфракрасного излучения и конвекционного нагрева

В настоящее время в электронных модулях все шире применяются микросхемы в корпусах BGA, CSP, Flip-Chip, QFP, которые благодаря большому количеству выводов обеспечивают высокую плотность монтажа на печатной плате. Однако при работе с такими электронными компонентами необходимо постоянно решать задачи обеспечения их качественного монтажа и демонтажа.

Владимир Ланин,
профессор

vlanin@bsuir.by

Валерий Парковский

rocker-87@yandex.ru

Задачи качественного монтажа многовыводных микросхем на печатную плату всегда были актуальны как для мелкосерийного, так и для крупносерийного производства. В мелкосерийном производстве важна проблема контроля температуры в области пайки с целью приближения его к идеальному термопрофилю для соответствующего корпуса микросхемы. Для крупносерийного производства основная проблема — это повторяемость параметров пайки. При этом номенклатура устанавливаемых на печатную плату компонентов и плотность монтажа на печатных платах могут быть очень высокими [1]. Бессвинцовые технологии монтажа, в свою очередь, требуют соблюдения при монтаже и демонтаже компонентов условий по температурным режимам, которые гораздо жестче, нежели при работе со свинецсодержащими припоями [2].

Использование конвективных источников нагрева

Конвективные источники нагрева используются при серийном, массовом производстве и при ремонте электронных модулей (ребойлинге).

В конвективных печах создаются зоны нагрева, температура которых соответствует областям профиля пайки. Конвективный источник лишен недостатка возможного перегрева корпуса в отличие от инфракрасного. Однако существует проблема

точного поддержания температуры в зонах нагрева, для этого необходимо, чтобы зона пайки была изолирована от внешней среды (теплоизоляционная камера) [3].

При ремонте электронных модулей используются различного рода термовоздушные паяльные станции (рис. 1). Применяя различные насадки, можно демонтировать корпуса разного типа.

Демонтаж при ремонте электронных модулей с помощью термовоздушных паяльных станций имеет два существенных недостатка: сложность контроля температуры в нагреваемой зоне и неравномерность прогрева контактных площадок безвыводного компонента, что при длительном воздействии высокой температуры приведет к выводу его из строя [4].

Процесс передачи тепла от термофена к поверхности печатной платы описывается выражением:

$$Q = (\lambda St \Delta T) / l, \quad (1)$$

где λ — теплопроводность воздуха; S — площадь зоны нагрева; t — время нагрева; $\Delta T = T_{ист} - T_{среды}$ — разность температур между источником тепла и окружающей средой; l — расстояние от источника тепла до поверхности.

При расчете количества тепла, выделяемого в рабочей зоне, необходимо учитывать конструктивный фактор, влияющий на рассеивание воздуха (рис. 2) при выходе из сопла насадки термофена (угол рассеивания, который зависит от конструкции сопла):

$$K_r = r / (l \times \tan \alpha + r), \quad (2)$$

где r — радиус сопла насадки; α — расстояние, на которое рассеивается воздух при выходе из сопла.

Тогда количество выделяемого тепла в рабочей зоне рассчитывается как:

$$Q = K_r [(\lambda St \Delta T) / l]. \quad (3)$$

Температура нагрева в рабочей зоне зависит от времени, условий теплообмена и теплоемкости материала платы:

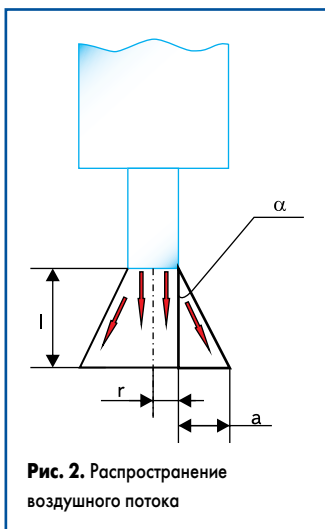


Рис. 2. Распространение воздушного потока



Рис. 1. Термовоздушная паяльная станция AOYUE 852A

Использование инфракрасных источников нагрева

Инфракрасные (ИК) источники нагрева широко применяются при ремонте электронных модулей как в мелкосерийном, так и в серийном производстве. Использование ИК-источников нагрева для монтажа и демонтажа многвыводных поверхностно монтируемых компонентов обусловлено возможностью точного контроля температуры пайки, в то время как для конвективных источников это проблематично [5].

В современных источниках ИК-нагрева вместо галогенных ламп все шире применяются мощные керамические нагреватели. Примером такого нагревателя может служить излучатель SHTS фирмы Elstein (рис. 5). В ребра передней черной нагревательной панели встроена электрическая нагревательная спираль. Оптимальная эффективность в зоне высоких температур достигается посредством применения специальной черной эмали, позолоченного покрытия задней части и встроенной теплоизоляции.

Благодаря прочности монтажа нагревательной спирали высокотемпературный излучатель можно эксплуатировать независимо от его положения. На задней стороне находится стандартный патрон для крепления. Для защиты керамики и нагревательной спирали высокотемпературные излучатели покрыты глазурью.

Такой ИК-излучатель способен отдавать до 98% энергии излучения и оптимальным образом сочетает конструктивные и эксплуатационные требования к ИК-нагревателям с требованиями к энергосбережению, что дает пользователю возможность простого решения задач энергоемкого нагрева:

- Максимальная мощность нагрева на квадратный метр — 76,8 кВт/м².
- Рабочая температура — 860 °С.
- Максимально допустимая температура — 900 °С.
- Диапазон длины волн — 2–10 мкм.

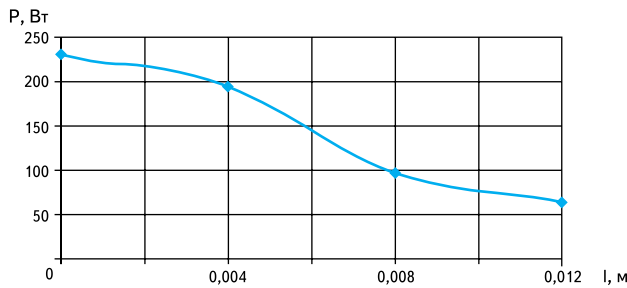


Рис. 3. Зависимость мощности, выделяемой в зоне нагрева, от расстояния до поверхности платы

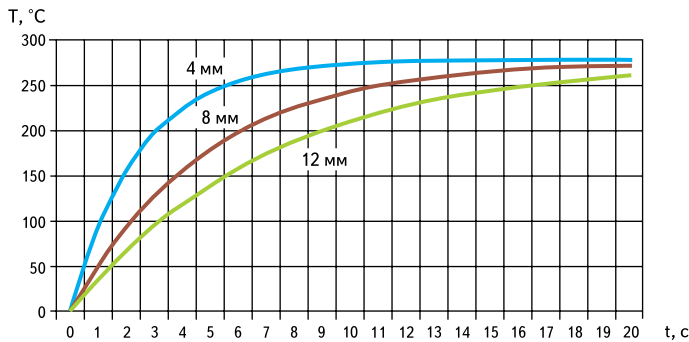


Рис. 4. Зависимости температуры в зоне нагрева от времени при различных расстояниях до поверхности

$$T_H = T_T \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_H}} \right), \quad (4)$$

где T_T — температура теплоносителя; τ_H — постоянная времени нагрева:

$$\tau_H = C_T / (\alpha \times S), \quad (5)$$

где C_T — теплоемкость материала печатной платы (для стеклотекстолита — 0,9 Дж/°С); α — коэффициент теплообмена источника тепла с поверхностью печатной платы:

$$\alpha = P / (S \times \Delta T), \quad (6)$$

где P — мощность конвективного источника нагрева:

$$P = K_r \frac{\partial Q}{\partial t} = K_r \frac{\lambda S \Delta T}{l}. \quad (7)$$

Расчет мощности нагрева проведен при разности температур $\Delta T = 255$ °С, времени нагрева

20 с, средней теплопроводности воздуха в диапазоне температур 80...300 °С, 14,96 Вт/(м·К) и расстоянии от источника 4, 8 и 12 мм. Результаты расчета мощности конвективного нагрева представлены в виде зависимости, изображенной на рис. 3, а зависимость температуры в зоне нагрева от времени при различных расстояниях от источника можно видеть на рис. 4.

Температура при пайке и демонтаже конвективным источником нагрева пропорциональна температуре нагретого воздуха, скорости его движения и зависит от расстояния до поверхности нагреваемой зоны. Оптимальное расстояние от зоны нагрева до насадки термометра не должно превышать 4–6 мм.



Рис. 5. Керамический инфракрасный нагреватель

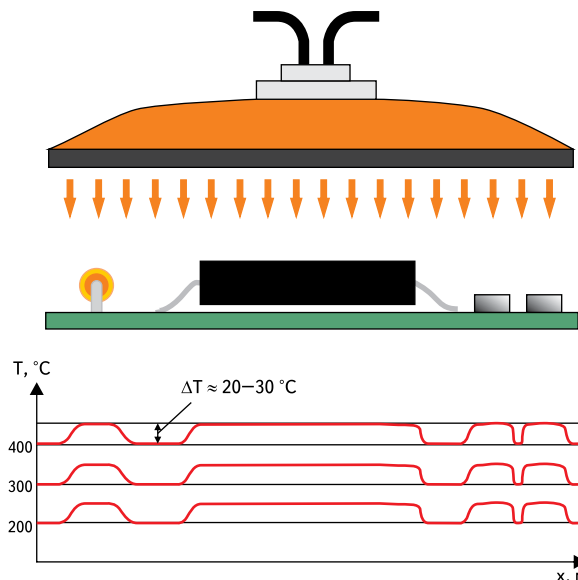
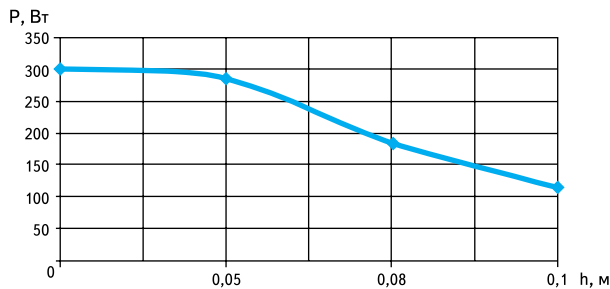
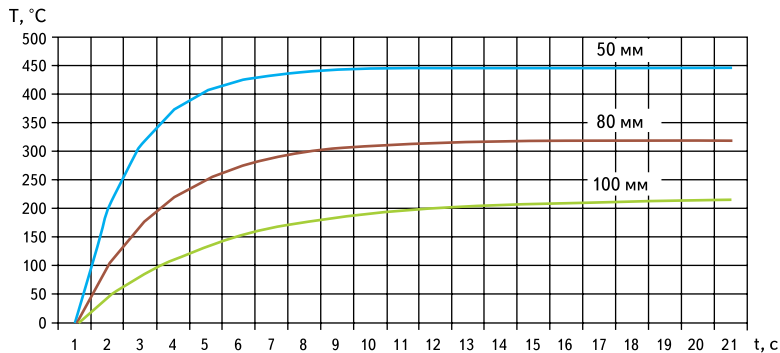


Рис. 6. Распределение температуры в зоне ИК-нагрева


Рис. 7. Зависимость мощности, выделяемой в зоне нагрева, от расстояния до поверхности

Рис. 8. Зависимости температуры в рабочей зоне ИК-нагрева от времени и расстояния от источника

Основным недостатком ИК-нагрева является более высокое температурное воздействие на корпус компонента (рис. 6).

Расчет температуры в зоне ИК-нагрева осуществляется следующим образом:

1. Интенсивность потока излучения:

$$I = 2 \frac{P_H}{\sqrt{x^2 + h^2}}, \quad (8)$$

где P_H — мощность источника; h — высота от источника ИК-излучения до поверхности; x — длина зоны нагрева.

2. Интенсивность прямого излучения:

$$I = 2 \int_0^x \frac{P_H}{\sqrt{x^2 + h^2}} dx. \quad (9)$$

3. Температура в зоне ИК-нагрева:

$$T_H = \sqrt[4]{\frac{I + KT_C^4}{K}} - 273, \quad (10)$$

где K — постоянная Стефана-Больцмана.

4. Температура в зоне нагрева зависит и от времени воздействия:

$$T_{нагр.} = T_H \left(1 - e^{-\frac{\tau}{\tau_H}} \right), \quad (11)$$

где $T_{нагр.}$ — температура в зоне нагрева; τ — время воздействия теплового потока; τ_H — постоянная времени нагрева:

$$\tau_H = C_T / (\alpha \times S_H), \quad (12)$$

где S_H — площадь зоны нагрева, ограниченной геометрическими размерами отражателя; C_T — теплоемкость материала печатной платы; α — коэффициент теплообмена с поверхностью платы:

$$\alpha = P_H / (S_H \times \Delta T), \quad (13)$$

где ΔT — разность температуры нагрева и окружающей среды (°C); P_H — мощность в зоне нагрева:

$$P_H = I \times S_H. \quad (14)$$

Зависимость мощности, выделяемой в зоне ИК-нагрева, от расстояния представлена на рис. 7, а зависимости температуры в зоне нагрева от времени при различных расстояниях от ИК-источника — на рис. 8.

С увеличением расстояния от ИК-источника температура меняется значительно, это связано с тем, что площадь локального нагрева растет и количество передаваемого тепла рассеивается на большую площадь. Однако ИК-нагрев не так чувствителен к изменению расстояния от источника, как конвективный, поскольку воздух прозрачен для ИК-излучения, в то время как температура, переносимая воздушным потоком термофена, рассеивается при выходе из сопла вследствие конвективного механизма теплообмена [5].

Применение конвективных и инфракрасных источников нагрева

В процессе пайки и демонтажа электронных компонентов конвективными источниками нагрева, для поддержания температуры печатной платы и в целях предотвращения термоудара ее подогревают источником ИК-излучения (рис. 9).

Двусторонняя система нагрева используется в ремонтной станции Ersa IR550A, однако в ней для демонтажа используется ИК-нагреватель, а не термофен (рис. 10).

Технические характеристики Ersa IR550A:

- Мощность верхнего ИК-излучателя — 4×200 Вт (размеры 60×60 мм).
- Мощность нижнего ИК-излучателя — 2×400 Вт (размеры 135×250 мм).
- Время разогрева верхнего излучателя — 90 с.
- Скорость нагрева в процессе работы — от 0,3 до 2°С/с.
- Максимальная потребляемая мощность — 1600 Вт.
- Длина волны ИК-излучателей — 2–5 мкм.
- Напряжение — 220 В, 50 Гц.

При пайке определенного типа корпуса задается термопрофиль, в соответствии с которым поддерживается температура в нагреваемой зоне. В процессе пайки для контроля температуры применяются термопара и ИК-датчик. В зависимости от типа корпуса и чувствительности микросхемы к температуре используют

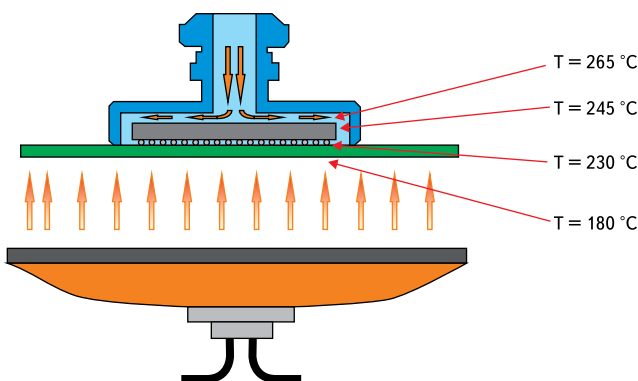

Рис. 9. Нагрев компонента и платы конвективным и ИК-источниками

Рис. 10. Паяльная станция Ersa IR550A

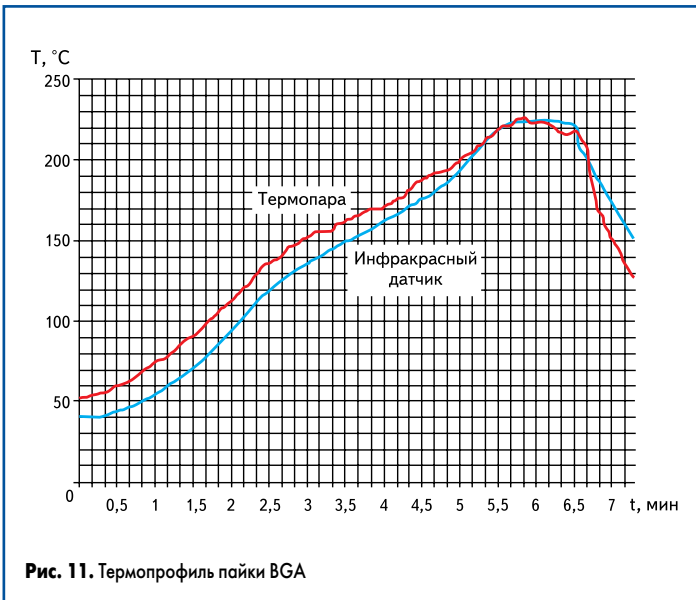


Рис. 11. Термопрофиль пайки BGA

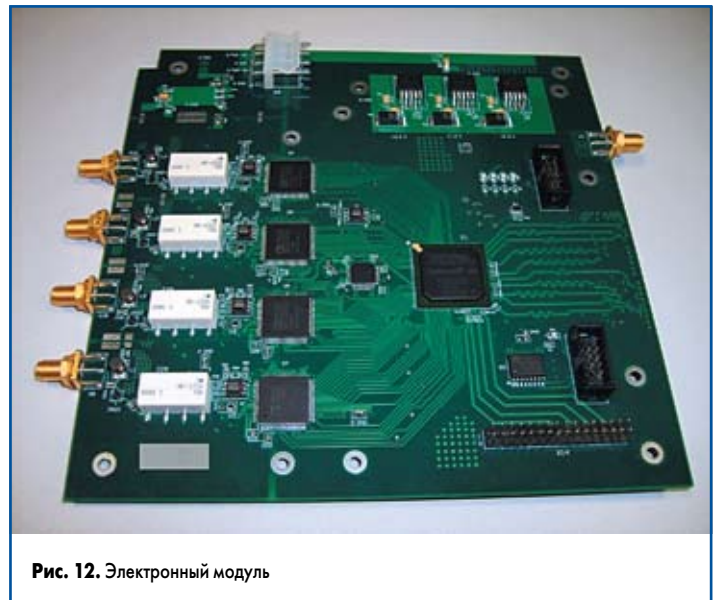


Рис. 12. Электронный модуль

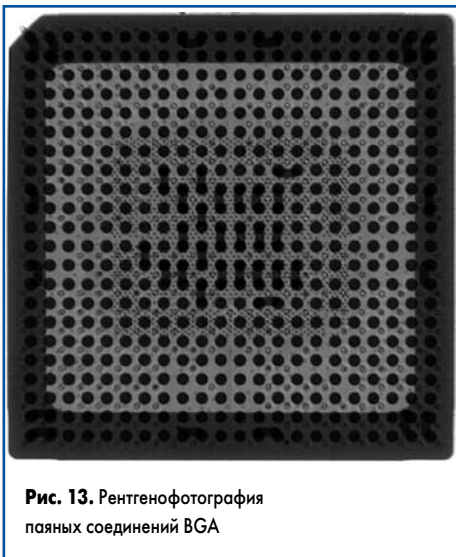


Рис. 13. Рентгенофотография паяных соединений BGA

либо термопару, либо ИК-датчик или комбинированный контроль. Реальный термопрофиль пайки BGA приведен на рис. 11.

Пример опытного образца электронного модуля — монтаж SMD и BGA ПЛИС, который выполнен на паяльной станции Ersa IR550A, — показан на рис. 12. Для выявления дефектных паяных соединений, таких как мостики припоя, неполное оплавление, отсутствие шариков припоя и т. д., применено рентгеновское излучение.

На рис. 13 изображена рентгенофотография паяных соединений BGA. Из нее следует, что дефектов в паяных соединениях не обнаружено, перемычки представляют печатные проводники, предусмотренные топологией печатной платы. Благодаря двустороннему прогреву стало возможным поддерживать термопрофиль, близкий к идеальному, в результате чего дефектов пайки удалось избежать.

Наряду с ИК паяльными станциями сегодня в радиоэлектронной промышленности используются парофазные системы (VPS). Эта технология разрабатывалась с целью увеличения качества сборки электронных модулей с поверхностно-монтируемыми компонентами, а также для уменьшения дефектов. Основная задача подобных паяльных станций заключается

в сборке модулей, диэлектрическое основание которых приклеено на металлическую подложку (радиатор). Примером таких модулей могут служить мощные высокочастотные усилители с рабочей частотой от 1 ГГц и более, источники питания мощностью до 1 кВт и выше и др.

Данная конструкция модуля обусловлена необходимостью отвода большого количества тепла от печатного модуля либо увеличения его жесткости. Для того чтобы прогреть такую конструкцию и обеспечить заданный термопрофиль, ИК-излучения либо конвективного источника нагрева недостаточно. При монтаже компонентов на такой модуль нагрев ИК-излучением может привести к выводу монтируемых компонентов из строя, короблению самой платы либо отслоению медной фольги в результате перегрева.

Таблица. Параметры инфракрасной (IR) и парофазной (VPS) пайки

Параметр	VPS	IR
Потребляемая мощность, кВт	2–7	2–20
Расход инертного газа, м ³ /ч	0	14
Скорость движения по конвейеру, см/мин.	0	80
Производительность	144	576
Стоимость, евро	50 000	125 000

Однако производительность парофазной пайки низка, и процесс пайки также не обходится без дефектов, таких, например, как «вздыбливание» компонентов. Сравнение параметров парофазной и ИК-пайки приведено в таблице [6]. Очевидно, что производительность у ИК-станций гораздо выше, однако парофазные системы в процессе пайки не используют инертный газ для предотвращения окисления контактов. Стоимость парофазных систем ниже, чем ИК, однако для крупносерийного и массового производства их использование нецелесообразно ввиду низкой производительности и значительных затрат на летучий теплоноситель.

Закключение

Анализ различных типов нагрева для пайки и демонтажа электронных модулей

на печатных платах показал, что ИК-нагрев позволяет обеспечить качественное равномерное прогревание компонентов, исключить теневые участки на корпусе и наименее опасен для других компонентов на плате. При использовании ремонтного центра с ИК-нагревом нет необходимости в приобретении специальных дорогостоящих насадок, особенно это касается компонентов нестандартной формы.

Отличие от идеального термопрофиля при пайке на ремонтных станциях заключается в сложности контроля температуры в рабочей зоне (особенно для конвективных источников), поскольку в промышленных установках создаются стабильные температурные зоны, изолированные от окружающей среды, через которые в течение определенного времени проходят электронные модули, тогда как в ремонтных станциях эти зоны создаются искусственно при заметном влиянии окружающей среды.

Литература

1. Lee N. C. Reflow soldering processes and troubleshooting: SMT, BGA, CSP and Flip Chip technologies. Berlington, USA, 2002.
2. Джюд М., Бриндли К. Пайка при сборке электронных модулей. М.: ИД «Технологии», 2006.
3. Ланин В., Достанко А., Телеш Е. Формирование токопроводящих контактных соединений в изделиях электроники. Минск: Издательский Центр БГУ, 2007.
4. Яковлев А. Монтаж и демонтаж BGA, CSP, Flip Chip на ремонтных станциях: инфракрасное излучение для гарантии контроля процесса и уменьшения денежных затрат // Поверхностный монтаж. 2009. № 5.
5. Ланин В., Парковский В. Монтаж и демонтаж электронных компонентов // Компоненты и технологии. 2009. № 3.
6. Plotog I., Varzaru G., Turcu C., Cucul T. C., Svasta P., Codreanu N. D. VPS Solution for Lead-Free Soldering in EMS Industries. 2nd Electronics Systemintegration Technology Conference. Greenwich, UK, 2008.