Инфракрасный нагрев
в технологии пайки поверхностного монтажа

Проблемы повышения качества монтажных соединений и производительности при осуществлении поверхностного монтажа вызывают необходимость рационального выбора технологии и оборудования групповой пайки компонентов на плате. Инфракрасное излучение обеспечивает высокую скорость локального нагрева и возможность эффективного управления температурным профилем групповой пайки. Для получения качественных паяных соединений в изделиях электроники с плотным поверхностным монтажом необходимы выбор соответствующего оборудования ИК нагрева и оптимизация режимов процесса.

Владимир Ланин

vlanin@bsuir.unibel.by

Проблемы технологии групповой пайки

В связи с миниатюризацией электронных компонентов и устройств все большее значение приобретает качество монтажа компонентов на печатных платах. Несмотря на то что технологии пайки постоянно совершенствуются, требования к качеству монтажа растут еще быстрее. Большие трудности возникают при пайке печатных плат с плотным размещением поверхностно-монтируемых компонентов SMD (Surface Mounted Devices), что заставляет искать новые технологии, способные повысить качество пайки, увеличить ее скорость и снизить стоимость.

До сих пор применяемая технология ручной пайки компонентов с помощью различных конструкций паяльников и паяльных станций отличается универсальностью, большой гибкостью, однако весьма трудоемка, имеет низкую скорость и высокую стоимость монтажа. Использование современных микросхем и пассивных компонентов в миниатюрных корпусах для поверхностного монтажа в значительной степени затрудняет его процесс ввиду плотной компоновки элементов, необходимости точного их позиционирования на плате. Поэтому область применения ручной пайки ограничена мелкосерийным производством и ремонтными работами [1].

Широко применяемая технология групповой пайки волной припоя в полной мере удовлетворяет требованиям монтажа выводных компонентов, монтируемых в отверстия платы, однако для плотного поверхностного монтажа из-за значительного количества таких дефектов, как мостики и наплывы припоя, эффект «затенения» компонентов, она применяется меньше. Широкое применение поверхностного монтажа в изделиях электроники потребовало использования разработки новых технологий групповой пайки.

Одной из первых таких технологий стала пайка компонентов в конвекционных печах, где оплавление припоя осуществлялось за счет нагрева его потоком горячего воздуха. В установках пайки с принудительным конвективным теплообменом (Foced Air Convection Reflow) тепло к монтируемым платам подается посредством конвективной теплоотдачи принудительно перемещающимся с малой скоростью нагретым воздухом. Скорость нагрева в таких системах определяется разностью температур между нагретым воздухом и печатной платой. Вследствие большой тепловой инерционности конвекционные печи имеют конвейер, движущийся с небольшой скоростью, по которому платы проходят через несколько зон нагрева. Такая технология требует как предварительного нанесения на контактные площадки паяльной пасты, так и приклеивания компонентов к поверхности платы, чтобы при обдуве горячим воздухом не произошло их смещения. Одним из недостатков этой технологии является разогрев до температуры пайки всей платы. В конвекционных печах практически невозможно точно выдерживать температурный профиль, что требуется для пайки корпусов типа BGA [2].

Пайка оплавлением дозированного припоя в парогазовой фазе (Vapor-Phase Reflow), или конденсационная пайка, получила широкое применение в технологии ПМ начиная с 1973 г. в разработках фирм «DuPont» и «Western Electric Company» прежде всего благодаря хорошей совместимости со всеми технологическими операциями нового процесса монтажа. Этот метод позволяет осуществлять групповую пайку SMD в бескислородной, негорючей среде с контролируемыми условиями нагрева. Одной из важных особенностей такого процесса является независимость режимов нагрева от геометрической формы и размеров плат. Широко рекламировавшийся в 80-х годах процесс пайки SMD в парогазовой фазе ввиду таких недостатков, как дефицитность инертных жидкостей, разогрев до температуры пайки всей платы и компонентов, низкая скорость нагрева, экологические проблемы разложения жидкости, значительно утратил область применения [3].

Следующим шагом в развитии технологий пайки стало создание инфракрасных (ИК) печей, которые по сравнению с конвекционными обладают значительно меньшими габаритами (ввиду отсутствия конвейера) и лучшими возможностями по поддержанию необходимого температурного профиля пайки. При использовании ИК печей стало возможным не приклеивать компоненты к плате. Однако разогрев всей

платы до температуры пайки остался, поэтому все устанавливаемые на плату компоненты должны быть в состоянии выдерживать в течение нескольких десятков секунд температуру до 300 °С.

Наиболее совершенной в настоящее время технологией пайки является локальная инфракрасная, когда нагрев производится сфокусированным пучком ИК излучения только в местах пайки. Установки локальной ИК пайки состоят из двух нагревателей, один из которых подогревает плату снизу до сравнительно невысокой температуры, и верхнего, осуществляющего в нужный момент быстрый локальный нагрев требуемой области платы до температуры плавления припоя. Фокусируемая пайка более всего подходит для проведения ремонтных работ с использованием микросхем в корпусах BGA, а также для монтажа и демонтажа компонентов в труднодоступных местах. Применение ИК пайки является новым перспективным направлением в технологии поверхностного монтажа (SMT), которое обеспечивает уменьшение затрат на эксплуатацию оборудования при одновременном повышении качества паяных соединений.

Физические основы процесса и особенности технологии ИК пайки

Из всего спектра ИК излучения с длинами волн в диапазоне 0,72–1000 мкм для пайки используется только малая часть этого диапазона: близкое излучение 0,7–1,5 мкм, среднее излучение 1,5–5,6 мкм и дальнее — 5,6–10,0 мкм. Длина волны ИК излучения зависит от температуры источника излучения (при высоких температурах нагрева излучение имеет меньшую длину волны). Температура нагрева тела будет в общем случае зависеть от длины волны излучения, степени черноты или его отражающей способности, длительности облучения и, конечно, от массы тела. Чем короче длина волны излучения, тем глубже оно проникает в тело, поэтому близкое ИК излучение будет обеспечивать более глубокое его проникновение по сравнению со средним и дальним.

Различные материалы по-разному адсорбируют ИК энергию. Различают четыре условия передачи ИК энергии телу: отражение, непрозрачность, прозрачность и полупрозрачность. В первом случае вся ИК энергия отражается от поверхности тела, которое не нагревается. Во втором — ИК энергия тормозится на его поверхности, которая в основном и нагревается. В прозрачном материале ИК энергия проходит через него, не вызывая нагрева, в полупрозрачном — энергия проникает на определенную глубину, вызывая на этой глубине нагрев тела. В связи с особенностями ИК излучения возникли проблемы в практическом применении его в технологии пайки:

- неравномерность нагрева различных компонентов на поверхности платы из-за разной степени поглощения энергии;
- невоспроизводимость режимов нагрева вследствие рассогласования спектра излучения источника и спектров поглощения компонентов и платы;
- необходимость подбора режимов нагрева плат различной геометрии и массы;
- наличие затененных участков платы, где отсутствует прямое ИК излучение;
- необходимость защиты поверхности ИК излучателей от испаряющихся флюсов.

Первые разработки в области применения ИК нагрева для пайки основывались на использовании в качестве излучателей инфракрасных ламп с температурой излучающего тела, превышающей 800–1100 °С. Так как температура пайки обычно находится в диапазоне 210–215 °С, то режимы нагрева значительно отличались от равновесных, что приводило к возникновению перегрева участков на поверхности платы, связанных с различной степенью черноты, массой компонентов и другими причинами. Лампы ИК излучения представляют собой вольфрамовую спираль, размещенную внутри герметичной кварцевой трубки, наполненной инертным газом. Чаще всего они устанавливаются внутри рефлектора, отражающего излучение на нагреваемый объект. Лампы и рефлекторы излучают в основном ИК энергию среднего, меньше ближнего и совсем мало дальнего спектра. Эта энергия составляет более 90% энергии, идущей на нагрев тела. Так как воздух практически прозрачен для ИК излучения, то он почти не нагревается, поэтому конвективная составляющая, также как и кондуктивная, минимальна. Основные достоинства нагрева лампами ИК излучения — высокая скорость нагрева, низкая инерционность нагревателей, возможность оперативного изменения температурно-временного профиля нагрева, относительная простота обслуживания и самого оборудования.

Атмосфера в зоне ИК пайки также оказывает влияние на ее качество. Чаще всего ИК установки работают в условиях воздушной атмосферы, однако присутствие кислорода в зоне пайки не всегда желательно, так как может происходить окисление припоя и разрушение органических материалов. Поэтому при пайке в воздушной атмосфере ограничивается длительность цикла нагрева, которая не должна превышать 100–150 с. Перспективно применение при ИК пайке инертной среды, азота с малым содержанием кислорода и водородно-азотной смеси. При этом улучшается качество пайки за счет исключения окисления припоя, повышения активности флюса, возрастает также краевой угол смачиваемости флюса, что уменьшает его количество, затекающего под корпуса элементов, остаточные ионные загрязнения на платах, упрощает очистку печатных плат.

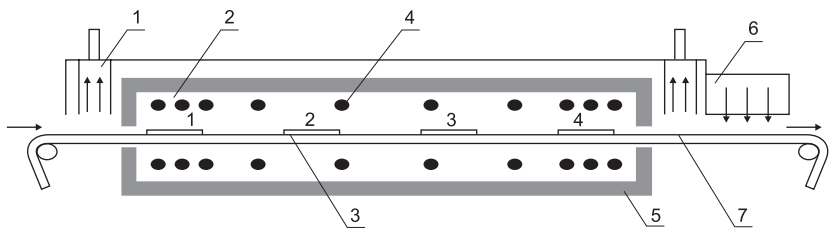

Рис. 1. Установка ИК лампового нагрева: 1 — вытяжная вентиляция, 2 — матрица ИК ламп, 3 — плата, 4 — ИК лампа, 5 — отражатель, 6 — устройство охлаждения, 7 — конвейер

Конструкции установок ИК пайки

В настоящее время в технологии ИК пайки применяют три разновидности конструкций установок, различающиеся видом излучателей: ламповые, панельные и комбинированные. Установки с ламповыми излучателями содержат несколько зон нагрева, где установлен ряд трубчатых ИК ламп снизу и сверху транспортера, на котором размещаются монтируемые платы (рис. 1).

В зоне оплавления располагается большее количество ламп, заключенных в отражающие рефлекторы, что позволяет создать большую плотность ИК излучения. В зоне предварительного нагрева лампы располагаются реже, что обеспечивает плавный режим нагрева и выравнивание температуры компонентов. Для удаления летучих соединений, образующихся при пайке, на выходе и входе из зоны нагрева используется система вытяжной вентиляции. На выходе также имеется система принудительного охлаждения плат.

Аналогичную конструкцию имеют установки с панельным ИК нагревом в виде керамических панелей различной мощности, что также позволяет осуществлять формирование необходимого температурно-временного профиля нагрева, но не с такой степенью гибкости. Конструкция ИК панельного нагревателя включает в себя три слоя. Лицевая сторона, обращенная к нагреваемой плате, изготавливается из стекла, керамики или металла, и в зависимости от применяемого материала она может выполнять функции вторичного излучателя или прозрачного окна. В первом случае излучающие свойства будут уже определяться не первичным нагревателем, а материалом лицевого слоя. Второй слой или первичный нагреватель обычно изготавливаются в виде фольги или спирали из резистивного материала. Третий слой является изоляционным и выполняется из тугоплавкой керамики.

Широкое применение нашли панельные излучатели Panel IR System, работающие в среднем и дальнем спектре излучения 3–10 мкм, которые конструктивно представляют собой нагреваемые керамические панели больших размеров, работающие при температуре 200–450 °С. Такие установки содержат воздушные камеры или камеры с инертным газом, поэтому 60% тепловой энергии к нагреваемым объектам доставляется за счет конвекции, а 40% за счет ИК излучения среднего и дальнего спектра. Малая разница температур излучателя и нагреваемого объекта обеспечивает нагрев в режиме, близком к равно-

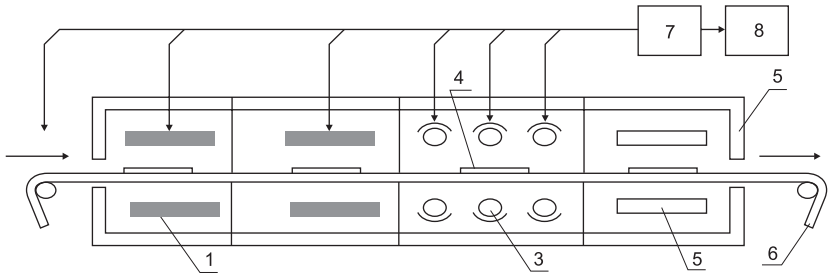

Рис. 2. Установка ИК нагрева комбинированного типа: 1 – панельные нагреватели; 2 – печатная плата, 3 – кварцевые ИК лампы, 4 – охлаждающее устройство, 5 – корпус, 6 – конвейер, 7 – микропроцессор, 8 – дисплей

весному. В данном случае теряются такие достоинства лампового ИК нагрева, как безынерционность, гибкость регулирования режимов, и другие.

В ИК установках панельного типа нагрев производится как за счет излучения, так и за счет конвекции, потому что ИК излучение в спектре 5–8 мкм хорошо поглощается воздухом. Установки такого типа могут содержать несколько зон предварительного нагрева с расположением нагревателей с одной или с двух сторон конвейера. Увеличение количества зон позволяет увеличивать скорость конвейера. Панельные нагреватели обеспечивают более равномерный нагрев плат, кроме того, средний и дальний ИК спектр не чувствителен к цвету нагреваемых объектов (при температуре ниже 600 °С). Такие нагреватели также меньше чувствительны к загрузке зоны нагрева. Недостатками этих установок является их инерционность к изменению режимов и профиля зоны нагрева, так как каждая из панелей имеет неравномерное температурное поле по площади поверхности. В частности, панели с металлической лицевой частью имеют более низкую температуру по краям, в то время как панели с прозрачной для ИК излучений лицевой поверхностью, наоборот, имеют большую температуру в зоне кромок.

Большую гибкость и возможность использования преимуществ лампового и панельного нагрева обеспечивают комбинированные системы (рис. 2), в которых панельные и ламповые ИК нагреватели образуют необходимое количество зон нагрева. В первой и второй зонах осуществляется предварительный нагрев изделия с помощью панельных нагревателей, обеспечивающих равномерный нагрев и заданную температуру. Расплавление припойной пасты происходит в третьей зоне с помощью кварцевых ИК ламп, после чего изделие охлаждается в четвертой зоне. Печатные платы транспортируются через установку на ленточном конвейере.

Установки снабжены встроенной микропроцессорной системой для программного управления режимами нагрева плат, контроля всех систем с отображением результатов на дисплее. В памяти компьютера хранится библиотека типовых режимов оплавления для печатных плат различных типоразмеров.

Одним из наиболее известных производителей оборудования, использующих технологию сфокусированного ИК излучения в своих системах, с 1986 г. является фирма PDR из Великобритании, которая является одним из ведущих производителей оборудования для пайки поверхностного монтажа. Оптическая система паяльной станции фирмы PDR (рис. 3) формирует коротковолновое ИК пятно с красной подсветкой для удобства наведения. Размер пятна устанавливается с большой точностью системой оптических линз. Цифровой контроллер управления с бесконтактным датчиком температуры обеспечивает температурный профиль. В нижней части устройства расположен набор кварцевых нагревательных элементов средневолнового диапазона излучения, осуществляющий подогрев платы. Управление мощностью верхнего (150 Вт) и нижнего ИК излучения (600–1200 Вт) производится согласно тепловому профилю [4].

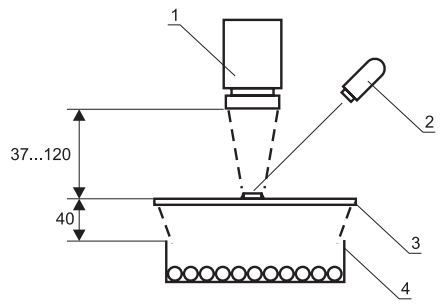

Рис. 3. Устройство паяльной станции фирмы PDR: 1 – ИК оптическая система, 2 – пирометр; 3 – печатная плата; 4 – кварцевый подогреватель

Одной из разработок фирмы PDR (рис. 4) является паяльно-ремонтный центр IR-X410 для монтажа или демонтажа любых SMD, включая как соединители, так и чип-компоненты, а также BGA микросхем с размерами от 25 мм до 70 мм.

Прецизионный вакуумный установщик микросхем гарантирует точность позиционирования. Контроль нагрева микросхемы осуществляется в реальном времени. Программное обеспечение позволяет установить любой температурный профиль с возможностью контроля температуры в восьми точках. Для равномерного нагрева платы нижний подогреватель увеличен до 240 × 300 мм.

Примером оборудования среднего класса могут служить полуавтоматические паяльные станции серии PDR 1500, оснащенные персональным компьютером для управления процессом пайки и имеющие нижний нагреватель мощностью 500 Вт и верхний фокусируемый нагреватель мощностью 150 Вт, установленный

Рис. 4. Паяльная система IR-X410

на штативе. В верхнем нагревателе могут использоваться различные сменные линзы, обеспечивающие фокусировку ИК излучения на пятне диаметром от 4 до 70 мм. Область нагрева нижнего нагревателя имеет размер 120 × 120 мм. Станции серии PDR 1500 идеально подходят для монтажа и демонтажа компонентов в корпусах BGA, Micro BGA, QFP, PLCC, SOIC, SMD компонентов, а также разъемов [5].

ЗАО ЦНИТИ «Техномаш-Трасса» выпускает установку ИК пайки SMD-TRASSA-5609, которая имеет пять зон нагрева. В зонах предварительного двустороннего нагрева плата нагревается до 100–270 °С, имеется возможность отключения нижних нагревателей. Установка снабжена микропроцессорной системой управления, позволяющей поддерживать заданные режимы пайки, сохранять в памяти до 9 температурных профилей, отображать значения всех параметров на жидкокристаллическом индикаторе, а также конвейером с регулируемой скоростью движения 1,0–3,0 м/мин. Время пайки 20–30 мин.

Фирмой Harotek AG (Швейцария) выпускается камерная печь ИК нагрева ECOSOLD 350 SUPERIOR (рис. 5) с комбинированной ИК и конвекционной системой нагрева, где используются два типа нагревателей: четыре ИК лампы по 1000 Вт сверху и шесть керамических нагревателя по 400 Вт снизу. Сочетание двух видов излучения — коротковолнового и длинноволнового, а также вентиляторов для подачи горячего воздуха в зону пайки позволяет уменьшить неравномерность нагрева платы и устранить эффект затенения компонентов с большими корпусами. Время предварительного нагрева 4 мин, оплавления – 3 мин. Подача плат в зону пайки автоматическая, производительность – до 40 европлат/ч. Установка имеет программное обеспечение компьютерного контроля режимов, графическое отображение термопрофиля и времени пайки на мониторе.

Наибольшую популярность получило технологическое оснащение фирмы ERSA, в част-

Рис. 5. Камерная печь ИК нагрева ECOSOLD 350 SUPERIOR.

Рис. 6. Конвекционно-инфракрасная настольная печь ТТ-500А.

ности конвекционно-инфракрасная настольная печь камерного типа для мелкосерийных производств ТТ-500А (рис. 6) [6], которая имеет 28 термопрофилей с возможностью их перепрограммирования.

Размер плат, помещаемых в печь, до 330 × 400 мм с высотой компонентов на плате до 40 мм. Печь укомплектована двумя контактными термосенсорами для отладки термопрофилей, в дополнение к штатному измерителю температуры воздуха в центре камеры все показания режимов отображаются на ЖК-дисплее.

Универсальный центр ИК локального нагрева IR550A фирмы ERSA позволяет вести пайку и демонтаж SMD, в том числе в корпусах BGA, средствами встроенного модуля Digital2000A с опционными расширениями (MicroTool, Pincette40, PowerTool, CU100A, MIC608A) [7]. Центр оснащен верхним ИК излучателем 800 Вт, интегрированным вентилятором охлаждения и нижним ИК излучателем 800 Вт для предварительного нагрева печатных плат. Поле верхнего ИК излучателя — 60 × 60 мм, нижнего — 135 × 260 мм. Имеются возможность регистрации термопрофиля в ПК, а также бесконтактное инфракрасное измерение температуры в рабочей зоне и конструкционная совместимость с видеоустановщиком PL550AU и системой RPC для визуального контроля процесса пайки в реальном времени.

ИК установки типа «Радуга», предназначенные для оплавления припойных паст при сборке плат с применением поверхностно-монтируемых компонентов, позволяют осуществляют пайку как с одной стороны, так и одновременно с двух сторон печатной платы. Установка для пайки «Радуга-10» состоит из нагревательной камеры с регулируемой температурой плоских нагревателей 100–300 °С и пульта управления (рис. 7). Конструкция установки предусматривает ручную подачу печатных плат на специальном подплатнике.

Конструктивно электрооборудование установки реализовано в виде отдельных блоков нагревателя и управления. Измеритель температуры, регулирующий (ТРМ-10), совместно с микропроцессорным управлением обеспечивают точность поддержания температуры. Значения температуры на поверхности нагревателей измеряются при помощи термопары ХК и используются в качестве входных параметров системы регулирования. Временной интервал пайки задается цифровым таймером МТЦ 3501. Контрольный измеритель температуры ИТ 2511 определяет температурный режим печи и интервал времени пайки.

Рис. 7. Установка для пайки «Радуга-10»

Конвейерная установка ИК пайки «Радуга-21» (рис. 8) состоит из 5-зонной нагревательной камеры с регулируемой по зонам температурой пайки инфракрасных нагревателей; конвейера с регулируемой скоростью для подачи печатных плат с установленными элементами в нагревательную камеру; пульта управления; загрузочного и разгрузочного устройств; электрооборудования. Установка имеет: ширину конвейера 400 мм, длину нагревательной камеры 1100 мм, регулировку скорости конвейера от 0,015 до 2 м/мин, равномерность нагрева платы шириной 350 мм — ±2 °С в направлении, перпендикулярном движению платы.

Рис. 8. Конвейерная установка ИК пайки «Радуга-21»

Таким образом, для поверхностного монтажа все большое применение получают ИК паяльные установки, которые различаются по своим функциональным возможностям и способны эффективно выполнять монтаж и демонтаж компонентов в корпусах типа BGA, CSP, PGA, SOIC, QFP, PLCC. ИК нагрев выгодно отличается тем, что имеет более простое оборудование, которое намного экономичнее и более целесообразно для поверхностного монтажа современных изделий.

Оптимизация температурных профилей ИК нагрева

В устройствах ИК пайки, состоящих из нижнего нагревателя, размещенного под платой и предназначенного для предварительного нагрева ее до температуры 100 °С, и верхнего излучателя с системой фокусировки теплового излучения для нагрева монтируемых компонентов до температуры оплавления припоя в пределах 220–260 °С, необходима оптимизация температурных профилей (рис. 9).

Оптимизируются такие технологические параметры, как скорость нагрева в рабочей зоне

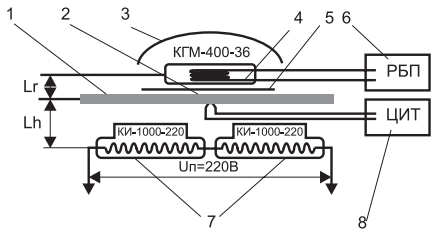

Рис. 9. Схема оптимизации профилей ИК нагрева:
1 – плата, 2 – термопара, 3 – рефлектор,
4 – верхний нагреватель, 5 – маска,
6 – регулируемый блок питания,
7 – нижний ИК нагреватель,
8 – цифровой измеритель температуры

в зависимости от мощности нагревателей и их расстояния до платы, интенсивность и локальность нагрева. В качестве образцов паяемых изделий используют печатные платы, в металлизированные отверстия которых закрепляют микротермопары типа ХК, соединенные с цифровыми измерителями температуры, либо платы с установленными SMD, такими, как чип резисторы, диоды, стабилитроны, конденсаторы, микросхемы.

Скорость нагрева верхнего нагревателя мощностью 500 Вт с рефлектором составляет 3–5 °С/с; верхнего и нижнего нагревателя мощностью 500 Вт до 10 °С/с. Рост температуры в рабочей зоне пропорционален мощности нагревателя. Применение защитной маски повышает скорость нагрева до 15 °С/с за счет отражения, увеличивая степень локализации нагрева. Дальнейшее увеличение скорости нагрева возможно за счет улучшения качества параболических рефлекторов и повышения их отражающей способности.

Скорость роста температуры в зоне пайки снижается с увеличением расстояния от ИК нагревателя до платы: для верхнего с 6,4 °С/с при 15 мм до 3,2 °С/с при 35 мм (рис. 10), и с 12 °С/с при 10 мм до 3 °С/с при 40 мм (рис. 11). Скорость роста температуры медленно убывает при увеличении расстояния до нагревателя.

Исследуется равномерность тепловых полей зоны нагрева верхних и нижних ИК нагревателей. Изотермические зоны: центральная со скоростью нагрева >5 °С/с имеет форму круга, последующие зоны – овальные, что обусловлено прямоугольной формой рефлектора (рис. 12а). На рис. 12б изображены зоны теплового поля ИК нагревателя с маской прямоугольной формы

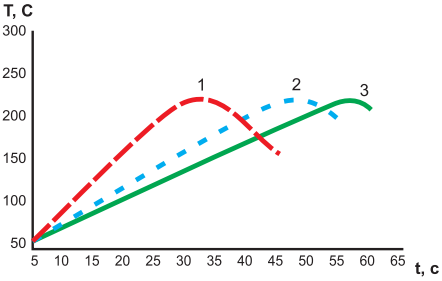

Рис. 10. Температурные зависимости в зоне нагрева верхнего ИК излучателя при расстояниях до платы: 1 – 15 мм, 2 – 25 мм, 3 – 35 мм

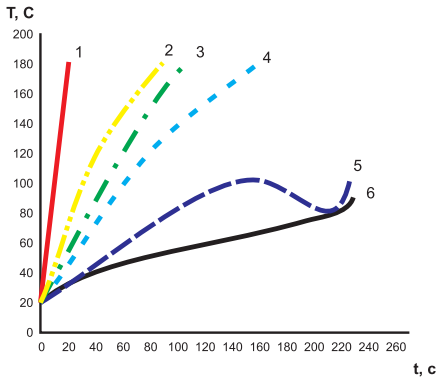

Рис. 11. Температурные зависимости в зоне нагрева нижнего ИК излучателя при расстояниях до платы, мм: 1 – 10, 2 – 20, 3 – 30, 4 – 40, 5 – 50, 6 – 60

4 × 4 мм. Изотермы имеют квадратную форму со стороной: 6 мм при V>3 °С/с, 12 мм при V=2,2 °С/с и 18 мм при V <1 °С/с. Применение экранов различной формы позволяет увеличить локальность нагрева без снижения ее скорости. Наибольшая скорость нагрева 15 °С/с достигается при снижении расстояния от платы до верхнего ИК нагревателя. Применение качественного отражающего рефлектора для ИК источника позволяет при той же интенсивности нагрева вдвое уменьшить потребляемую мощность и заменить водяное охлаждение воздушным принудительным.

Повышение локальности ИК нагрева за счет светоотражающей маски не оказывает существенного влияния на скорость нарастания температуры, уменьшая в целом только нагрев паяемой платы.

Оптимальные режимы ИК пайки следующие: предварительный нагрев нижним нагревателем платы до 90–110 °С со скоростью 6–8 °С/с, нагрев платы верхним и нижним нагревателями до температуры пайки со скоростью 10–14 °С/с. При необходимости локализации нагрева при пайке термочувствительных элементов может быть применена светоотражающая маска. Режимы пайки изделий оплавлением паяльных паст определяются температурным профилем, который оптимизирован для ИК печей (рис. 13).

Стадия предварительного нагрева снижает тепловой удар на электронные компоненты и печатные платы. В процессе предварительного нагрева происходит испарение растворителя из паяльной пасты при скорости роста температуры не более 1–3 °С/с. Высокая скорость нагрева может приводить к преждевременному испарению растворителя, входящего в состав паяльной пасты, и к целому ряду дефектов: повреждению компонентов за счет теплового удара, разбрызгиванию шариков припоя и возникновению перемычек припоя. Разница температуры предварительного нагрева и температуры оплавления не должна превышать 100 °С.

Стадия стабилизации активизирует флюсующую составляющую и удаляет избыток влаги из паяльной пасты. Повышение температуры на этой стадии происходит очень медленно для нагрева всех компонентов на плате до одинаковой температуры. На стадии активации флюса происходит удаление оксидной пленки с паяемых поверхностей. Время прохождения платой этапа активации флюса составляет 60–120 с. Если стадия стабилизации проводится недостаточное время, результатом могут быть дефекты типа «холодная пайка» и эффект «надгробного камня». Скорость роста температуры не должна превышать 0,6 °С/с.

На стадии оплавления температура повышается до расплавления паяльной пасты и происходит формирование паяного соединения. Для образования надежного паяного соединения максимальная температура пайки должна на 30–40 °С превышать точку плавления паяльной пасты и составлять 205–225 °С. Для предотвращения таких дефектов, как холодная пайка или перемычки припоя, необходимо выдержать температуру корпусов электронных компонентов выше температуры расплавления припоя в течение 60–150 с. На этапе пайки максимальная температура корпусов может держаться 10–30 с. Скорость ее роста от момента достижения платой температуры плавления припоя до максимальной температуры не должна превышать 1–3 °С/с.

Быстрое охлаждение уменьшает образование интерметаллидных соединений, однако нельзя забывать о термических напряжениях, приводящих к повреждению компонентов при слишком большой скорости охлаждения. Скорость охлаждения платы не должна превышать 6 °С/с. Окончательный выбор режимов производится исходя из конструкции печатной платы, типа и размеров компонентов, количества компонентов на печатной плате, особенностей используемого оборудования, результатов экспериментальных паек, типа паяльной пасты.

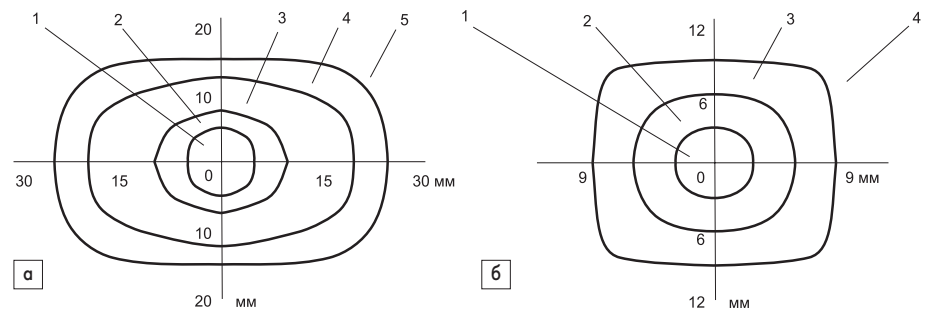

Рис. 12. Зоны теплового поля верхнего излучателя: а) 1 – V >5 °С/с, 2 – V=5 °С/с, 3 – V=3,8 °С/с, 4 – V=3,3 °С/с, 5 – V <2,2 °С/с; б) 1 – V >4 °С/с, 2 – V=2,2 °С/с, 3 – V=1,1 °С/с, 4 – V <0,5 °С/с

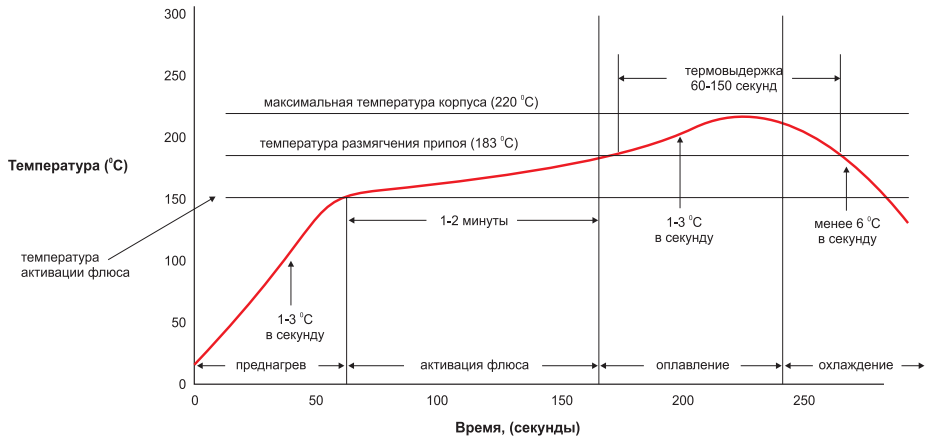

Рис. 13. Температурный профиль оплавления паяльных паст ИК нагревом

Литература

1. Мэнгин Ч., Макклелланд С. Технология поверхностного монтажа. М.: Мир. 1990.
2. Зворыкин Д. Б., Прохоров Ю. И. Применение лучистого инфракрасного нагрева в электронной промышленности. М.: Энергия, 1980.
3. Кундас С. П. , Достанко А. П., Ануфриев Л. П. и др.Технология поверхностного монтажа / Минск: Армита. 2000.
4. www.ersa.ru
5. www.ostec.ru/smt
6. Manko H. H. Solders and Soldering: Materials, Design, Production and Analysis for Reliable Bonding. N.Y. 2000.
7. Ланин В. Л., Капралов В. В. Инфракрасный нагрев в технологии поверхностного монтажа // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: Материалы III Международной научно-техн. конф. Т. 1. Новополоцк. 2004. С. 81–84.
8. Ланин В. Л., Хилькевич А. Н. Двусторонний поверхностный монтаж электронных модулей // Известия Белорусской инженерной академии. 2003. № 1(15)/4. С. 145–147.
9. Ланин В. Л. Эффективность нагрева концентрированными потоками энергии при пайке в электронике // Электронная обработка материалов. 2002. № 2. С. 17– 20.