



Окончание. Начало в № 1'2005.

Технология поверхностного монтажа step-by-step

Александр Вотинцев,
Игорь Зеленик

assmbby@nm.ru

Шаг 3. Оплавление припойной пасты

Методы нагрева

Основным механизмом передачи тепла, используемым в установках пайки с ИК-нагревом, является излучение. Передача тепла излучением имеет большое преимущество перед теплопередачей за счет теплопроводности и конвекции. Это единственный из механизмов теплопередачи, обеспечивающий передачу тепловой энергии по всему объему монтируемого устройства (за исключением затененных участков). Остальные обеспечивают передачу тепловой энергии только поверхности монтируемого изделия.

В процессе пайки ИК-излучением скорость нагрева регулируется изменением мощности каждого излучателя и скорости движения конвейера с ПП (для печей конвейерного типа). Основным недостатком пайки ИК-нагревом является то, что количество энергии излучения, поглощаемой компонентами и платами, зависит от поглощающей способности материалов, из которых они изготовлены: если не вдаваться в подробности механизма теплопередачи и теорию расчетов коэффициентов поглощения, можно сказать, что чем «чернее» нагреваемое тело, тем эффективнее его нагрев ИК-методом. Поэтому в пределах монтируемого устройства нагрев осуществляется неравномерно. Кроме того, не стоит забывать про теневые эффекты (невозможность пропайки выводов под корпусами микросхем).

Поэтому в современных печах применяют сочетание длинноволновых и коротковолновых излу-

чателей, что позволяет осуществить более равномерный прогрев поверхности сборки (хотя и в этом методе есть свои особенности: прогрев зависит от массы нагреваемых изделий и их распределения по плате). В таком варианте компоновки печи тепло ПП и компонентам передается как за счет излучения (70%), так и конвекцией (30% — при помощи принудительной вентиляции воздуха в рабочей камере).

В связи с вышесказанным печи для ИК-пайки изготавливают таким образом, чтобы на стадии предварительного нагрева изделие подвергалось воздействию длинноволновых нагревателей, обеспечивающих более высокую равномерность нагрева, а на стадии пайки — комбинированному действию ИК-излучателей и конвекционного нагрева. Наиболее эффективное сочетание нагрева: ИК-прогрев всей сборки плюс принудительная конвекция (длинноволновые нагреватели плюс принудительная циркуляция воздуха в зоне пайки).

В последнее время нередко используются печи с заполнением камер пайки азотом — такой подход позволяет устранить кислород из зоны пайки и значительно снизить окисление. Однако не стоит забывать и об экономической стороне процесса. Необходимо с учетом программы выпуска рассчитать, что дешевле: постоянный напуск азота в печь или использование флюсов и их последующая отмывка.

Требования, предъявляемые к печам пайки оплавлением

Основным требованием, предъявляемым к печи (помимо требуемой производительности), является точная выдержка температурного профиля изделия (рис. 13). На стадии 1 осуществляется предварительный нагрев платы, предотвращающий коробление изделия при температуре расплавления припоя. Практический опыт пайки показывает, что слишком высокая скорость нагрева изделия до температуры активации флюса может привести к такому дефекту, как припойный бисер, последствиями которого является разбрызгивание мелких шариков припоя по дну компонента и поверхности платы из-за повышенного газовыделения припойной пасты. Поэтому максимальная скорость предварительного нагрева не должна быть более 2–4 °C/с.

Главным моментом на втором этапе пайки является выдержка платы при температуре активации флюса в течение времени, необходимого для активации и полного испарения флюсовой составляющей припойной пасты. Кроме того, зона теплового

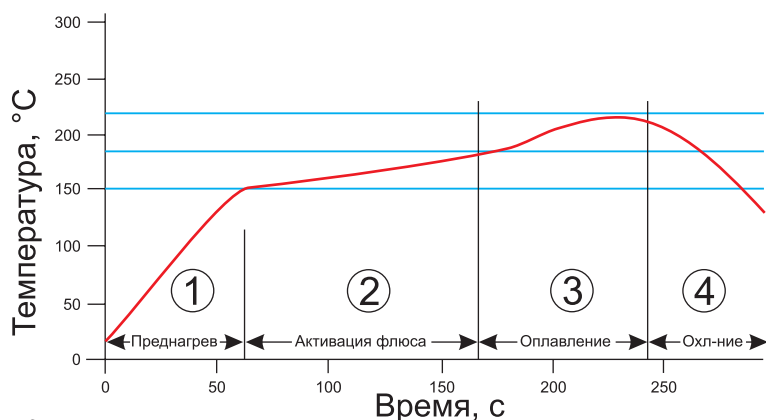


Рис. 13. Температурный профиль

насыщения (2) позволяет избежать смещения компонентов относительно контактных площадок платы вследствие разности коэффициентов температурного расширения корпусов и текстолита.

Время нагрева изделия на первых двух этапах пайки рассчитать точно обычными методами тепловой техники практически невозможно из-за большого количества вариантов сборок печатных плат (в одном случае поверхность текстолита может быть полностью оптически открыта, в другом поверхность платы может закрываться корпусами интегральных компонентов до значения коэффициента перекрытия 50–80%). Однако обобщение экспериментальных данных позволяет говорить о том, что время всего цикла предварительного нагрева колеблется от 1 до 2 минут независимо от скорости нагрева (естественно, при условии, что она не будет превышать 2–4 °C/c).

По завершении цикла преднагрева начинается цикл пайки изделия (3-й участок на рис. 13). При пайке скорость роста температуры до значения t расплавления припоя должна быть по возможности высокой, для того чтобы избежать перегрева компонентов печатной платы. На практике рост температуры от 120 до 200–220 °C производится в течение 10–15 с, после чего осуществляется выдержка температуры пайки в течение времени, необходимого на самоустановку компонентов (10–15 с).

После выполнения цикла пайки нагреватели печи выключаются (в случае камерных печей) либо плата перемещается на конвейер в зону охлаждения (для конвейерных печей).

Далее следует этап охлаждения платы, который, в зависимости от типа печи и требований по производительности, может осуществляться двумя вариантами:

1. Естественное охлаждение в печи до времени отвердевания припоя, затем на воздухе.
2. В блоке принудительного охлаждения.

В условиях крупносерийного и массового производства время охлаждения не рассчитывается, так как печатная плата с напаянными компонентами охлаждается принудительно в блоке охлаждения после транспортировки из блока пайки. Процесс пайки одной платы и остывания и выгрузки другой ведется параллельно, что значительно повышает производительность.

В условиях мелкосерийного и единичного производства время охлаждения также не учитывается, так как можно утверждать, что время охлаждения печи до температуры затвердевания припоя гораздо меньше времени всего цикла пайки и незначительно влияет на производительность печи. Обычно время естественного охлаждения припоя до температуры отвердевания меньше 20 с. Сравнительно быстрое падение температуры в печах подобного класса обусловлено конструктивными особенностями: печи представляют собой стационарную камеру нагрева с большими тепловыми потерями через окно загрузки, которое, как правило, остается открытым в течение всего цикла пайки.

Таблица 4. Брак оплавления

№	Вид брака	Причина возникновения	Устранение
1	Непроялы 	Недостаточная температура оплавления припойной пасты.	Локальный брак устраняется вручную с помощью термофенов. В случае непроялы всей платы допускается повторное оплавление пасты в печи.
2	Трещины и расслоения корпусов 	Неверно сформирован термопрофиль работы печи: на этапе оплавления происходит резкий скачок температуры.	Подобный дефект может не проявиться внешне на других корпусах, но при этом возможен их выход из строя. После функционального теста необходима замена сгоревших компонентов.
3	Излом корпуса 	Подобные повреждения имеют механическую природу и происходят на этапе установки компонентов на печатную плату с помощью автоматических систем размещения.	Корректировка высоты установки компонентов.
4	Излом контакта 	Полное или частичное повреждение паяного соединения возможно при изгибах печатной платы после пайки.	Повторное оплавление контакта термофеном.
5	Эффект опрокидывания 	Причины данного дефекта могут скрываться во всех этапах технологического процесса сборки плат. Кроме того, возможно неверное проектирование печатной платы. Более подробно данный дефект рассмотрен ниже.	Необходима выпайка компонента, очистка контактных площадок и локальная пайка нового компонента.
6	Опрокидывание интегральных компонентов 	Опрокидывание интегральных многовыводных компонентов возникает из-за некачественной подготовки поверхности контактных площадок перед пайкой (сильные окисления, загрязнения)	Платы необходимо хранить в соответствии с существующими стандартами.
7	Плохая смачиваемость компонента 	Причиной ухудшения смачиваемости выводов компонентов является их сильное окисление. Такой брак может быть не выявлен электрическим тестом; подобные контакты ненадежны в эксплуатации.	Необходимо хранение компонентов в специальных шкафах (например, шкафы для хранения SMD японской фирмы Tabai Espes)
8	«Открытые» выводы 	Типичный вид брака для транзисторов SOT89 — отрыв контактов от места пайки. Под массивный задний вывод всегда делают большую контактную площадку, однако при нанесении припойной пасты необходимо выдержать минимально достаточную высоту. Переизбыток пасты приводит к чрезмерному подъему компонента и отсутствию контакта выводов с припойной пастой.	Необходима выпайка компонента, очистка контактных площадок и локальная пайка.
9	Припойный бисер 	Припойный бисер — это шарики припойной пасты, разбрызгавшиеся по поверхности печатной платы во время пайки.	Дефект подробно рассмотрен в соответствующем разделе
10	Утолщение контактов 	Дефект возникает из-за плохой смачиваемости контактных площадок печатной платы.	Платы необходимо хранить в соответствии с существующими стандартами.
11	Растекание припоя 	Дефект вызван ошибкой проектирования платы. Переходное отверстие расположено слишком близко к контактной площадке. Минимальное расстояние должно быть равным 0,010" при толщине проводника 0,006–0,008". В противном случае паста будет «стекать» с контактных площадок в отверстия.	Исправление топологии печатной платы.

Кроме того, некоторые типы камерных печей, применяющихся в мелкосерийном и единичном производстве, оснащаются механизмом автоперемещения плат в камеру пайки и на открытое пространство для охлаждения.

Эффект опрокидывания

Эффект опрокидывания также известен под названиями «эффект гробовой плиты» и «манхэттенский эффект».

Небольшие пассивные компоненты (обычно типоразмеры меньше 0805) имеют тенденцию смещаться при пайке как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении. Опрокидывание компонентов приводит к разрыву соединения контактной площадки платы и контакта компонента.

Основные причины возникновения дефекта:

- Размерные погрешности контактных площадок платы: площадки одного компонента сильно отличаются друг от друга.
 - Различное смачивание припоем одноименных контактных площадок платы и контактов элемента (разная степень окисления).
 - Повышенная шероховатость контактной площадки, на которую наносится припойная паста.
 - Недостаточная металлизация контактных площадок корпуса электронного компонента, излишки припоя на них.
 - Большие растягивающие напряжения между контактными площадками и припойной пастой (чаще всего при пайке в парогазовой фазе).
 - Неправильное размещение компонентов.
- Физическую природу эффекта опрокидывания поясняет рис. 14.

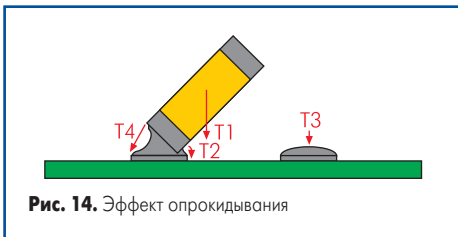


Рис. 14. Эффект опрокидывания

Показанные на рис. 14 силы представляют:

- T1 — вес компонента.
- T2 — силы поверхностного натяжения расплавленного припоя с внутренней стороны контакта.
- T3 — сила «склеивания» припоя.
- T4 — сила поверхностного натяжения расплавленного припоя с внешней стороны контакта.

Эффект опрокидывания опасен при следующем соотношении: $T_4 > T_1 + T_2 + T_3$.

Предотвращение дефекта опрокидывания

Избежать этого дефекта можно на этапе проектирования печатной платы. Необходимо выдержать одинаковые размеры одноименных контактных площадок, обеспечить одинаковые габариты проводников, подходящих к одноименным площадкам. Эти меры позволяют обеспечить одинаковый теплоотвод от них во время пайки.

Полностью устранить возникновение дефекта на этапе сборки позволяют адгезивы.

Припойный бисер

Припойный бисер представляет собой разбрызганные шарики припоя на нижней части компонентов и печатной плате. Чаще всего такие шарики наблюдаются под Chip-резисторами и конденсаторами, а также под компонентами типа SOT.

Основные причины возникновения дефекта

Причинами появления припойного бисера чаще всего являются: неаккуратное нанесение припойной пасты, повышенное газовыделение пасты на этапе предварительного нагрева, либо комбинация этих причин.

Предотвращение дефекта

Скорость предварительного нагрева обычно не должна превышать 2–4 °C/с. В противном случае начинается закипание жидкой составляющей припойной пасты и повышенное газовыделение, что приводит к разбрызгиванию пасты.

Ремонт после неудачной пайки

Припойные шарики диаметром, превосходящим минимальное расстояние, необходимое для изоляции выводов компонента друг от друга, аккуратно удаляются при помощи вакуумного термоотсоса. При этом необходимо убедиться, что ни один припойный шарик не остался на монтажной плате под компонентом. Маленькие припойные шарики, покрытые флюсом, можно оставить на поверхности платы или компонента при минимальном риске нарушения работоспособности изделия. Как показывает практический опыт, небольшие шарики припоя, расположенные на диэлектрической поверхности платы, смываются вместе с остатками флюса при отмывке в УЗ-ваннах.

Приемлемое количество и размеры припойного бисера рассмотрены в стандарте IPC-A-610 или EPF-R19.

Шаг 4. Контроль

В современных электронных модулях может проявляться огромное количество дефектов. В зависимости от развития технологии и техники диапазон дефектов постоянно меняется, что вызывает необходимость в новых методах контроля. Типичные доли распределения дефектов для современного производства приведены на рис. 15.

Внутрисхемный контроль

Данный метод является единственным, позволяющим оценить качество и работоспособность изделия (в отличие от остальных методов, которые нацелены на определение качества пайки). При этом можно не только оценить, насколько хорошо пропаяно соединение, но и оценить место дефекта, проверить работоспособность сложных интегральных компонентов.

Установки внутрисхемного контроля выполняются как в варианте ручных тестеров (с набором тестовых щупов и клипс, а также с возможностью подключения зондового стенда «ложе гвоздей»), так и в виде автоматических тестеров с перемещающимися щупами либо с настраиваемой матрицей щупов.

Автоматический оптический контроль

Данный метод позволяет оценить качество пайки, точность расположения компонентов, а некоторые системы, благодаря возможности анализа маркировки корпусов компонентов, позволяют оценить верность расположения того или иного компонента (проверка полярности).

Кроме того, поскольку в данном случае исключается человеческий фактор (распознавание графического изображения осуществляется в автоматическом режиме и качество тестирования не зависит от опыта оператора), вероятность ошибки в результатах теста минимальна.

Автоматический рентгеновский контроль

Рентгеновский контроль является наиболее эффективным методом оценки качества пайки компонентов с матричным расположением выводов. Естественно, нельзя забывать и о том, что существуют системы оптического контроля, способные «заглянуть» под корпус микросхемы, однако рентгеновский контроль дает большую информацию о качестве. Кроме того, в зависимости от конфигурации платы и собранного устройства этот метод может оказаться единственно возможным, поскольку осуществить электрический контроль узла иногда просто невозможно.

Шаг 5. Отмывка

Для обеспечения высокого качества готового изделия процесс отмывки необходимо разделять на 5 этапов.

1. Первый этап заключается в определении целей отмывки. Во многом это определяется качеством сборки на предыдущих этапах: либо нужно удалять остатки флюса и, частично, припойный бисер, либо осуществлять косметическую отмывку изделия.
2. Второй этап имеет своей целью четкое определение отмывочной жидкости: это может быть обычная дистиллированная вода либо специальное технологическое моющее средство.



Рис. 15. Дефектность процесса

- Третий этап — выбор отмывочной системы. На данном этапе нужно знать объем отмываемых партий и метод отмывки: статические ванны (для прототипного производства) либо полуавтоматические и автоматические линии ультразвуковой или струйной отмывки.
- На четвертом этапе необходимо осуществить тестирование выбранного метода отмывки с помощью специальных тестовых купонов. Цель — проконтролировать поверхностное сопротивление и добиться оптимального результата. Нередко на этом этапе выясняется ошибочность предварительного выбора. Перед покупкой оборудования и выбором отмывочных жидкостей проконсультируйтесь сначала с опытными специалистами!
- Последним этапом является интеграция системы контроля процесса: необходимо добиться воспроизводимости результатов отмывки и достичь стабильности процесса при переходе на новые типы отмывочных жидкостей.

Шаг 6. Ремонт модулей

Замена поверхностно монтируемых компонентов в большинстве случаев невозможна без специального оборудования. Во многом это определяется малым шагом между выводами компонентов, а иногда и подкорпусной разводкой матричных компонентов (BGA, CSP и т. д.).

Наибольшее распространение в сервисных и ремонтных центрах получила технология пайки горячим воздухом.

В общем случае, ручной демонтаж компонентов с линейным расположением выводов состоит из следующих операций:

- Если на контакты нанесено влагозащитное покрытие, требующее удаления при оплавлении олова, — необходимо очистить плату вокруг микросхемы отмывочной жидкостью (типа ПРОЗОН).
- «Запайка» выводов (рис. 16). Операция заключается в огибании трубчатым припоем выводов компонента. Цель — исключить появление зазора между выводами и губками термопинцета для равномерной теплопередачи.
- Лужение губок термопинцета (рис. 17). На разогретые губки ($t \sim 450^\circ\text{C}$) наносится максимальное количество олова по периметру будущего теплового контакта. Как и в предыдущем случае, цель — избежать зазора при захвате.

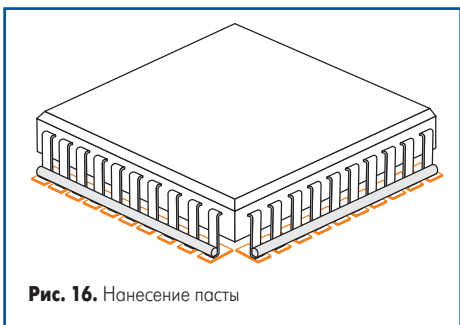


Рис. 16. Нанесение пасты

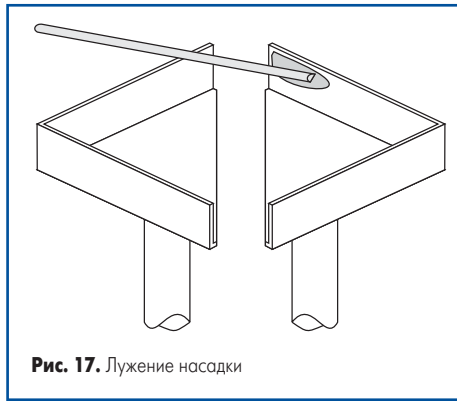


Рис. 17. Лужение насадки

- Захват компонента (рис. 18). Губки термопинцета позиционируются над компонентом. Захват осуществляется до упора губок без значительных механических напряжений. Удержания термопинцета в течение 3–5 секунд вполне достаточно для выпайки компонента. Если этого не происходит — либо неравномерно осуществляется теплопередача, либо температура губок недостаточна для работы.

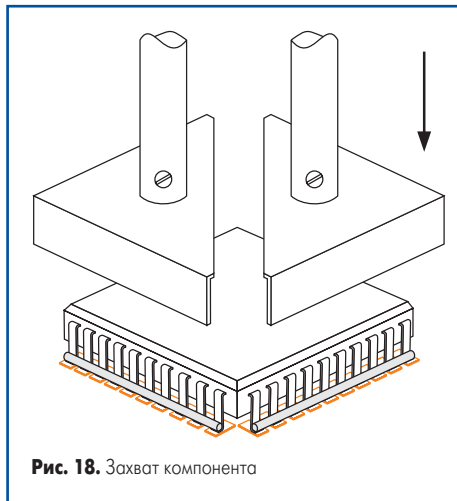


Рис. 18. Захват компонента

- Подъем компонента (рис. 19). Демонтированный компонент поднимается над поверхностью печатной платы и отводится по траектории наименьшего пути до периферии платы. При этом не должно быть резких толчков и тряски: излишки расплавленного припоя могут капнуть на поверхность платы, закоротив выводы близлежащих компонентов.

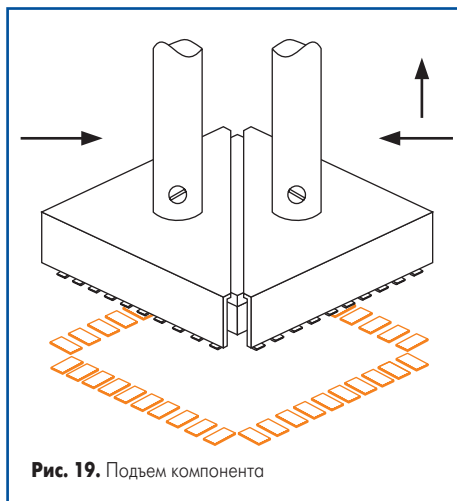


Рис. 19. Подъем компонента

- Удаление остатков припоя с контактных площадок осуществляется вакуумным отсосом. Жало отсоса нагревается до температуры около 400°C (в зависимости от типа используемого припоя) и посредством разрезания в канале откачки остатки расплавленного припоя засасываются в накопительную камеру отсоса.

Ручной монтаж SMD-компонентов может осуществляться двумя основными способами: пайка паяльником с «волновым» жалом в случае линейного расположения выводов (QFP, SO и т. д.) и конвекционная пайка горячим воздухом. Поскольку в большинстве случаев на печатной плате помимо компонентов с прутковым типом выводов присутствуют компоненты с J-образными выводами (SOJ, PLCC), наибольшее распространение получила технология пайки горячим воздухом. Она является универсальной для всех типов компонентов (за исключением матричного расположения выводов).

Ручной монтаж компонентов горячим воздухом состоит из следующих этапов:

- На предварительно очищенные контактные площадки диспенсером линейно наносится припойная паста (рис. 20).

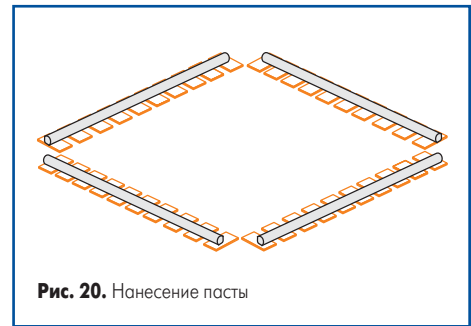


Рис. 20. Нанесение пасты

- С помощью вакуумного захвата позиционируется и устанавливается корпус электронного компонента (рис. 21).

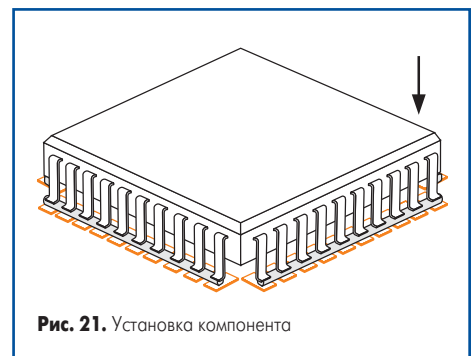


Рис. 21. Установка компонента

- Основная трудность, с которой встречаются технологи сборочно-монтажных производств, заключается в сдувании неоплавленной пасты с контактных площадок при использовании термофена. Это связано с неточностью его регулировки. При подготовке воздушного паяльника к работе необходимо провести регулировку воздушного потока. Давление воздуха должно быть таким, чтобы при температуре накопника паяльника около 400°C на расстоянии 0,5 см бумажная салфетка приобретала темно-коричневый оттенок и при этом не сдувалась со своего положения. Подне-

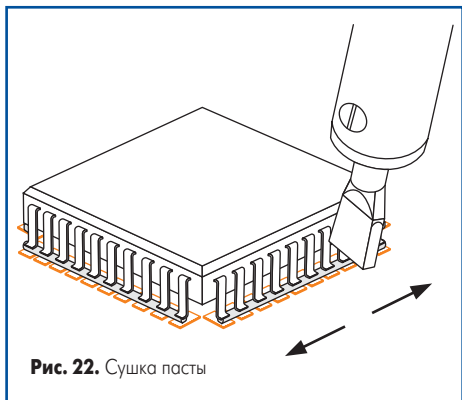


Рис. 22. Сушка пасты

сенный на 2,5 см к выводам микросхемы паяльник необходимо медленно и равномерно перемещать вдоль выводов каждой из сторон микросхем для сушки припойной пасты (рис. 22).

- Критерием окончания этапа сушки является испарение флюсовой составляющей, которое можно оценить визуально: припойная паста приобретет ярко выраженный зернистый вид. После этого паяльник придвигается к выводам на расстояние около 0,5 см и происходит оплавление пасты (рис. 23).

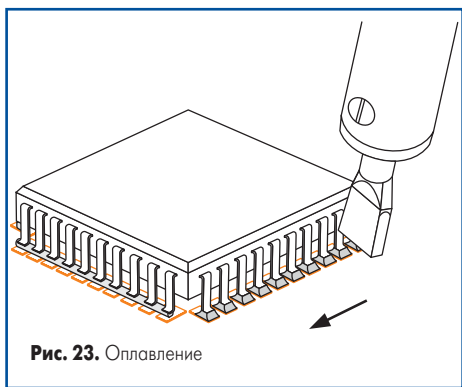


Рис. 23. Оплавление

В случае, когда инструмент отрегулирован верно, а частицы припоя после сушки сдуваются с поверхности контактных площадок, с большой долей вероятности можно диагностировать некондиционное состояние пасты — она либо просрочена, либо неверно хранилась.

Автоматизированная замена

Полуавтоматическая и автоматическая замена требуется либо в условиях серийного и массового ремонта, либо при ремонте компонентов с матричным расположением выводов. Принципиальное отличие автомата от полуавтомата заключается в наличии у последнего привода автоматического позиционирования микросхемы над контактными площадками. Выдержка термопрофиля при пайке и выпайке микросхем в обоих вариантах осуществляется автоматически.

В общем случае последовательность при замене компонентов на ремонтных комплексах следующая:

- Над корпусом микросхемы позиционируется насадка (в которую может быть встроена вакуумная присоска, рис. 24).
- При контроле системы управления осуществляется расплавление паяных соединений (рис. 25а). В случае, когда вакуумная

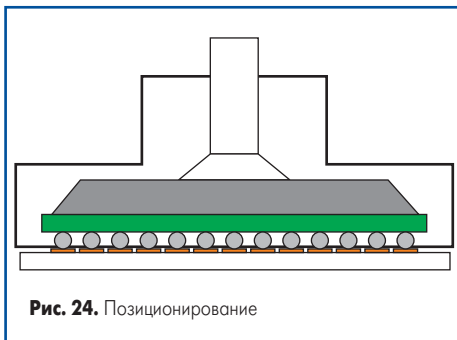


Рис. 24. Позиционирование

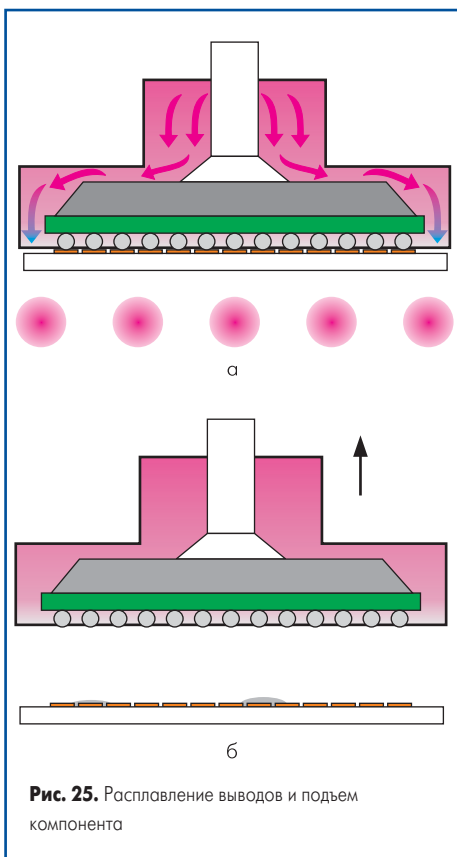


Рис. 25. Расплавление выводов и подъем компонента

присоска встроена в нагревательную насадку, немедленно осуществляется подъем компонента (рис. 25б). В других случаях насадка отводится в сторону, и на ее место подается вакуумный захват.

- Как и в случае ручной замены компонентов, осуществляется очистка контактных площадок от остатков припоя. Однако в случае компонентов с матричным расположением выводов используются специальное оборудование: термофен и вакуум-



Рис. 26. Расплавление выводов и подъем компонента

ный отсос с жаропрочным наконечником (рис. 26).

- На поверхность очищенных контактных площадок наносится жидкий флюс — как правило, флюс-карандашом. (Рекомендуется нанести диспенсером небольшое количество припойной пасты на поверхность печатной платы для улучшения смачиваемости выводов и контактных площадок во время оплавления.) Затем осуществляется позиционирование нового или восстановленного компонента.

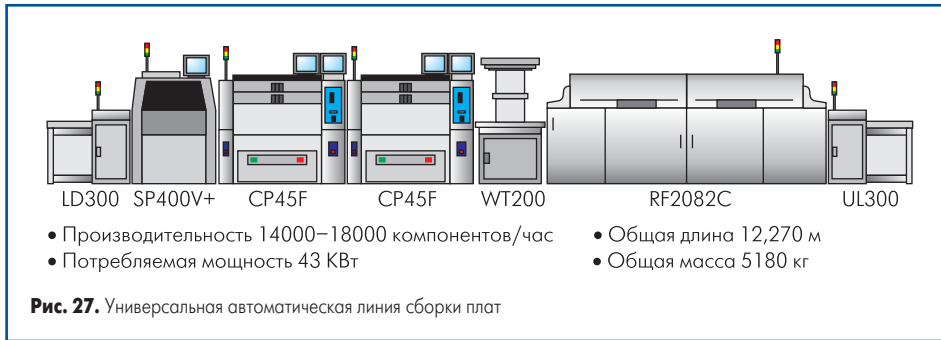
- На окончательном этапе ремонта выводы установленного компонента оплавляются горячим воздухом через специальную насадку под контролем автоматической системы регулировки температуры.

Антистатическая защита

С повышением плотности монтажа и снижением размеров кристаллов проблема повреждения микросхем (полное или частичное испарение дорожек проводников с полупроводниковой основы) посредством электростатического разряда становится все более реальной. Причем повреждения компонентов могут носить как катастрофический характер, то есть компонент полностью выходит из строя, так и приводить к частичной деградации характеристик схемы в процессе дальнейшей эксплуатации. Из десяти случаев повреждения микросхем за счет электростатических явлений только один случай приводит к полному отказу компонента. Остальные 90% нарушений остаются невыявленными при выходном контроле готовых изделий и в дальнейшем могут привести к непредсказуемым изменениям характеристик электрической цепи или полному выходу из строя компонента, а следовательно и электронного узла в целом.

Основной трудностью при защите электроники от электростатического разряда (ESD) является невидимость причин, приводящих к возникновению дефектов. Разряд в 2000 В приводит к слышимому треску, 3000 В — к появлению искры, но на данный момент существуют компоненты, чувствительные уже к 100 В.

Защиту своего производства от влияния электростатических явлений необходимо основывать на полном понимании и четком выполнении всех предписаний вашими сотрудниками. Оператор во время работы в основном находится в двух положениях: сидя и стоя. Если работник стоит или много двигается — наиболее целесообразно в качестве основной системы заземления выбрать напольное покрытие и специальную антистатическую обувь, через которую заряд, накапливающийся на человеке при ходьбе и в процессе работы, будет стекать на систему полов, которые должны обладать проводящими свойствами и быть заземлены. Если человек в основном сидит, то заземление производится через браслет и рабочие поверхности стола и стула. Применение систем заземления решает проблемы в 90% случаев, если же повреждения компонентов остаются, к организованной системе заземления следует добавить использование различных иони-



затворов для нейтрализации избыточного заряда на поверхности диэлектриков.

При обеих системах заземления должны выполняться общие правила: ношение специальной одежды с проводящими волокнами, отказ от применения в зонах с защитой от ESD запрещенных предметов (диэлектриков), использование специального инструмента, применение проводящего или защитного упаковочного материала для транспортировки чувствительных компонентов как внутри зоны, так и между цехами или производствами. Кроме того, каждое звено, из которого складывается основная цепь ESD-защиты, должно периодически контролироваться. Общий аудит всех производственных площадей, на которых организована защита от электростатического разряда, проводится один раз в год.

Заключение

Нужно особо отметить, что, какими бы совершенными ни были материалы технологического процесса и насколько совершенным и современным ни было оборудование, без грамотного контроля технологического процесса добиться его высокого качества практически невозможно.

После каждого из этапов сборки необходима операция промежуточного контроля качества технологического процесса (это не ошибка: именно качества самого процесса, а не продукции). Такой подход к управлению качеством (с использованием контрольных карт и графиков флуктуации параметров сборки) позволя-

ет исключить саму возможность возникновения брака — за счет поддержания на заданном уровне параметров сборки (разрежение в канале откачки вакуумного захвата установщика, скорость движения ракеля, температура в печи и т. д.). Только в этом случае можно предотвратить возникновение брака (который может проявиться только после финишной операции оплавления). Кроме того, постоянный межоперационный контроль позволяет устранить саму тенденцию к возникновению брака (за счет контроля флуктуации основных параметров сборки: количество и точность нанесения припойной пасты, точность установки компонентов, температура и т. д.).

К примеру, автоматические линии фирмы Samsung имеют встроенные системы контроля качества, обеспечивающие высокое качество собираемых модулей. Пример компоновки автоматической линии приведен на рис. 27.

Для ручных и автоматизированных мелкосерийных участков подойдут дискретные системы оптического, рентгеновского и функционального контроля.

Использование систем AOI (автоматические системы оптического контроля) позволяет проверить точность установки и качество пайки компонентов. Компоненты с матричным расположением выводов (такие, как BGA, CSP и т. д.) для проверки точности установки и качества паяных соединений требуют применения систем рентгеновского контроля. При этом оба описанных метода не дают 100% гарантии качества пайки, если не применялось функциональное тестирование. ■