

Сборка электронных модулей с поверхностным монтажом в мелкосерийном и опытном производстве

Владимир Ланин,
профессор

vlanin@bsuir.by

Игорь Петухов

petuchov@kbtcm.by

Александр Царюк

Введение

Современные электронные модули характеризуются широким применением поверхностно монтируемых элементов: «чиповых» резисторов и конденсаторов, миниатюрных корпусов интегральных микросхем (ИМС), пластмассовых и керамических кристаллоносителей и др., что позволяет отказаться от плат с металлизированными отверстиями, упростить установку элементов и повысить надежность электронных блоков. Технология поверхностного монтажа (SMT) имеет значительные конструктивные и технологические преимущества: повышение плотности компоновки элементов в 4–6 раз; снижение массо-габаритных показателей в 3–5 раз; повышение быстродействия и помехозащищенности за счет отсутствия выводов компонентов; повышение виброустойчивости и вибропрочности модулей; повышение надежности за счет уменьшения количества металлизированных отверстий, являющихся потенциальным источником дефектов; автоматизация сборки, монтажа элементов и повышение производительности труда в десятки раз; исключение операций подготовки выводов и соответствующего оборудования; сокращение производственных площадей на 50%; уменьшение затрат на материалы [1].

Процесс монтажа состоит из следующих основных операций: нанесение припойной пасты на контактные площадки платы через трафарет, установка элементов на плату, пайка расплавлением дозированного количества пасты и контроль качества монтажа. При организации технологических линий основными критериями являются: максимальная производительность при заданных объемах производства, минимальные капитальные вложения, быстрая перенастройка при смене типов модулей, обеспечение качества сборки и надежности изделий [2].

Важную роль при поверхностном монтаже играет оценка точности позиционирования компонентов. Применение многовыводных ИМС требует проектирования печатных плат с узкими коммутационными дорожками и контактными площадками. При этом могут возникнуть проблемы, связанные с обеспечением необходимого диэлектрического зазора и образованием перемычек припоя между соседними контактными площадками и выводами.

Оценка точности позиционирования

Для позиционирования поверхностно-монтируемых элементов (SMD) на плату используют знакоместа (рис. 1), рекомендуемые размеры которых для чиповых резисторов и многослойных керамических конденсаторов при пайке методами расплавления дозированного припоя [3] приведены в таблице 1. Методика расчета размеров знакомест основана на необходимом для качественной пайки объеме припойной пасты.

Наибольшее распространение получили два метода нанесения паяльной пасты — дозирование и трафаретная печать. Метод дозирования используется при ремонте, в единичном или многономенклатурном мелкосерийном производстве. Достоинство метода — в быстром переходе с одного типа платы на другой. Метод трафаретной печати предпочтителен в серийном и крупносерийном производствах,

Таблица 1. Размеры знакомест резисторов, конденсаторов и транзисторов

Тип корпуса	Размеры, мм	A, мм	B, мм	C, мм	D, мм	E, мм
0603	1,6×0,8	0,9	2,1	0,6	0,9	–
0805	2×1,25	1,2	2,6	0,7	1,3	–
1206	4,25×2,25	4,6	1,8	1,4	1,7	–
1210	3,2×2,5	4,6	1,8	1,4	2,6	–
1808	4,5×2	6,2	2,8	1,7	2,1	–
SOT23	3×3,1	2,7	1,3	0,7	0,6	1,3

Таблица 2. Выбор толщины трафарета

Минимальный шаг выводов компонентов, мм	Рекомендуемая толщина трафарета, мкм	Рекомендуемый размер частиц припоя, мкм
0,65	200	75–45
0,5	125–150	45–25
0,4	75–100	38–20

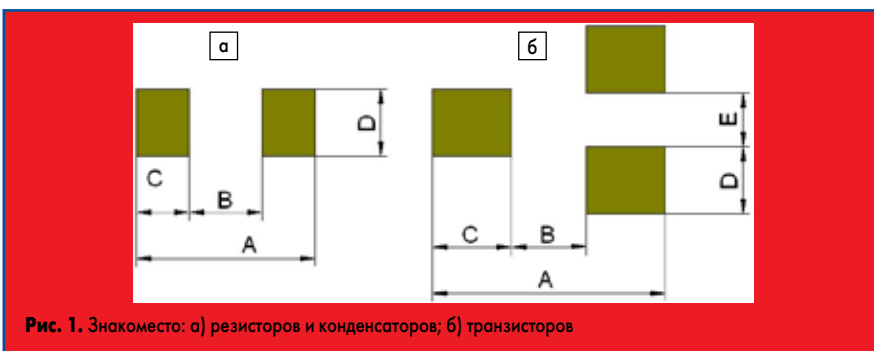


Рис. 1. Знакоместо: а) резисторов и конденсаторов; б) транзисторов

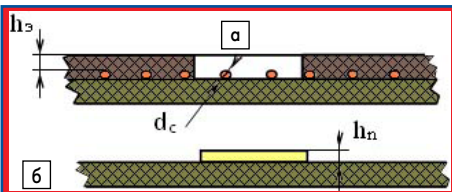


Рис. 2. Схема нанесения слоя пасты через сетчатый трафарет: а) до нанесения; б) после нанесения

так как обеспечивает высокую производительность и повторяемость процесса. Для большинства применений используют трафареты толщиной 150–200 мкм в зависимости от минимального шага выводов компонентов (табл. 2).

Для снижения вероятности образования шариков припоя за счет выдавливания паяльной пасты за пределы контактных площадок при установке чип-компонентов можно использовать специальную конструкцию окон в трафарете. Общее правило для интегральных микросхем: размер окон в шаблоне должен быть на 0,1 мм меньше размера контактных площадок, но не меньше 0,5 шага выводов компонента.

Припойная паста на контактные площадки печатной платы наносится через трафарет, который представляет собой металлическую фольгу (латунь, нержавеющая сталь) толщиной 0,2–0,35 мм с отверстиями (прямоугольными или круглыми), соответствующими контактным площадкам печатной платы. Трафарет закрепляется на устройстве трафаретной печати, под ним на базовых штырях устанавливается печатная плата, затем отверстия трафарета совмещаются с контактными площадками платы. Припойная паста, нанесенная на трафарет, с помощью ракеля (металлического, резинового или полиуретанового) продавливается через окна трафарета на контактные площадки платы. Толщину слоя припойной пасты (рис. 2) рассчитывают как [4]:

$$h_n = kd_c + h_3, \quad (1)$$

где h_n — толщина нанесенного слоя пасты; d_c — диаметр провода сетки; h_3 — толщина эмульсии; k — коэффициент прозрачности сетки (табл. 3).

Таблица 3. Параметры сеток для трафаретов

Материал сетки	Число ячеек на 25 мм	Диаметр провода d_c , мкм	Размер окна, мкм	Коэффициент прозрачности k	Толщина слоя, мкм
Полиэстер	45	50	210	0,68	74
Нержавеющая сталь	80	45	265	0,71	110

Точность позиционирования компонентов на плату при поверхностном монтаже зависит от следующих основных факторов:

- Точностные характеристики автоматов-укладчиков, которые имеют допуски на установку компонентов (0,0508–0,127 мм); на центровку корпуса — 0,0254 мм; на воспроизводимость укладки — 0,0254 мм; на позиционирование платы — 0,0254 мм.

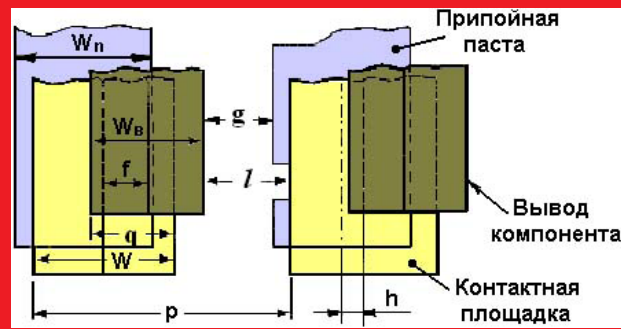


Рис. 3. Схема для расчета точности позиционирования компонентов:

- p — шаг выводов; W — ширина контактной площадки; W_B — ширина вывода;
- l — минимальный зазор исходя из требований изоляционной прочности;
- q — ширина перекрытия выводом контактной площадки;
- f — погрешность позиционирования вывода (в направлении X); W_n — ширина площадки, занимаемая пастой;
- g — расстояние от вывода до следующей площадки пасты; h — погрешность позиционирования припойной пасты

- Допуск на изготовление печатной платы, включая изготовление фотошаблонов; погрешность механической обработки; изменение механических свойств и размеров платы за счет внешних воздействий (тепловое расширение, коробление во время пайки).
- Допуск на смещение выводов компонентов относительно корпуса (0,0254–0,1016 мм).

Сложение этих допусков может привести к суммарной погрешности позиционирования в пределах 0,254–0,3048 мм, что приемлемо для монтажа простых SMD. Для установки более сложных корпусов (SO, PLCC, QFP и др.) такой точности оказывается недостаточно при шаге выводов 1,25 или 0,635 мм. Компоненты с большим количеством выводов очень чувствительны к угловым смещениям. Например, поворот на один градус корпуса PLCC с 84 выводами приводит к смещению крайнего вывода на величину 0,254 мм.

Требуемую точность позиционирования можно оценить исходя из геометрических размеров контактных площадок, выводов компонентов и возможных их отклонений. В методике расчета учитывается позиционирование припойной пасты и вывода компонента относительно контактной площадки с соответствующими индексами. На схеме (рис. 3) площадка припойной пасты смещена влево, а вывод — вправо. При расположении их по центру контактной площадки эти погрешности будут равны 0, то есть $f = h = 0$.

Для оценки точности позиционирования используют три критерия:

- 1) Минимальное расстояние по прочности изоляции:

$$f_X \leq p - 1/2 W_B - 1/2 W - l. \quad (2)$$

- 2) Минимальная ширина зоны перекрытия:

$$f_X \leq 1/2 W_B + 1/2 W - l. \quad (3)$$

- 3) Точность нанесения припойной пасты:

$$f_X \leq p - 1/2 W_n - 1/2 W_B - h - l. \quad (4)$$

Уравнение (4) имеет смысл, когда припойная паста выступает за пределы контактной

площадки, то есть $h > 1/2(W - W_n)$, $W > W_n$; смещения вывода компонента и припойной пасты происходят в разных направлениях.

Каждый из приведенных выше критериев вносит различный вклад в обеспечение требуемой точности позиционирования. Величины W , W_B , W_n в значительной степени зависят от применяемых компонентов и печатных плат, поэтому требуемая суммарная точность позиционирования будет различной для каждого типа компонентов. На практике вводят упрощения:

$$W = W_B = W_n = 0,5p, \quad q \geq 0,5W_B, \\ h \leq 0,05 \text{ мм}, \quad g \geq 0,1 \text{ мм}, \quad l \geq 0,1 \text{ мм}.$$

Исходя из упрощений, критерии можно записать в следующем виде:

$$f_X \leq 0,5p - 0,1; \quad f_X \leq 0,25p; \\ f_X \leq 0,5p - 0,15. \quad (5)$$

В таблице 4 приведены составляющие значения точности и суммарная точность позиционирования компонентов в зависимости от шага выводов.

Таблица 4. Составляющие значения точности позиционирования компонентов, мкм

Шаг выводов	650	500	400	300
Машинная точность	120	90	60	25
Точность компонентов	70	50	40	25
Точность платы	50	40	30	25
Точность пайки	70	60	50	25
Суммарная точность	162	125	100	50

Манипуляторы для поверхностного монтажа

В мелкосерийном и опытно-производстве электронных модулей с поверхностным монтажом для установки элементов на плату используют вакуумные пинцеты (рис. 4), которые с помощью шланга подключают к пневмосети.

Пинцет с помощью шланга 3 подключается к общей магистрали. В магистрали компрессор создает разрежение до 10 Па, за счет которого элементы удерживаются на игле 1 пинцета.

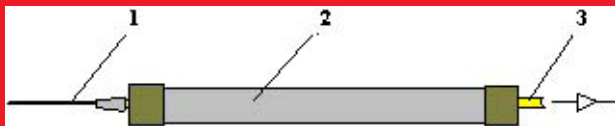


Рис. 4. Вакуумный пинцет: 1 — игла; 2 — рабочий объем; 3 — шланг



Рис. 5. Сборочный участок микромоделей с ручной установкой SMD

Работа с вакуум-пинцетом требует определенной сноровки, при этом точность позиционирования невысока и во многом зависит от обученности монтажника. Темп сборки — невысокий и не превышает 50–80 компонентов/ч. Поэтому даже при малой серийности производства (до 10 000 шт./год) необходимы сборочные участки с количеством работающих 15–20 чел. (рис. 5).

Настольная установка SURFACE MOUNT 201 для установки и пайки чиповых элементов горячим газом фирмы Funk & Meier AG снабжена стереомикроскопом для работы оператора по сборке плат размером 250×450 мм и с высотой элементов до 25 мм и манипулятором типа «мышь» (рис. 6). Это позволяет повысить точность позиционирования элементов, а за счет дополнительной головки термофена выполнить их пайку. Воздух под давлением 4–8 бар и с регулируемой температурой в пределах 150...450 °С от термофена подается в зону пайки.



Рис. 6. Установка поверхностного монтажа SURFACE MOUNT 201

Установка снабжена блоком микропроцессорного управления или персональной ЭВМ.

Для поверхностного монтажа электронных модулей в опытном и мелкосерийном производстве НПО «Планар» выпускает манипулятор ЭМ-4725-1 (рис. 7). С помощью манипулятора монтаж SMD на поверхность печатной платы осуществляется в такой последовательности:

- Наносится клей либо паяльная паста на поверхность печатной платы при помощи дозатора.
- Устанавливаются SMD на поверхность печатной платы вакуумным пинцетом.

Манипулятор состоит из следующих составных частей: вакуумного пинцета, привода XY вакуумного пинцета, дозатора, подлокотника, монитора и блока управления.

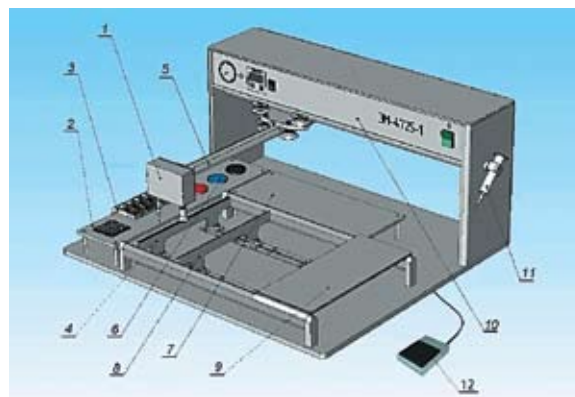


Рис. 7. Манипулятор поверхностного монтажа кристаллов ЭМ-4725-1:

- 1 — вакуумный пинцет; 2, 7 — предметный столик;
3 — держатель отрезков блистер-лент; 4, 8 — рабочий столик; 5 — привод X, Y;
6 — чашка; 9 — подлокотник; 10 — блок управления; 11 — дозатор; 12 — педаль

Дозатор включает в себя колбу (11), педаль (12) и органы управления. Расположение органов управления манипулятором в блоке показано на рис. 8. Для того чтобы начать работу с дозатором, включают манипулятор клавишей (5), затем включают дозатор клавишей (4). Регулятором (2) устанавливают необходимое для дозирования давление воздуха, а с помощью таймера (3) — необходимое время дозирования. По желанию заказчика манипулятор может быть дополнительно снабжен термофеном для пайки и демонтажа электронных компонентов.



Рис. 8. Блок управления манипулятора:

- 1 — манометр; 2 — регулятор давления; 3 — таймер;
4 — клавиша включения дозатора; 5 — клавиша включения манипулятора



Рис. 9. Нанесение дозы клея на плату

С помощью дозатора наносят дозы клея или паяльной пасты на поверхность печатной платы, нажимая ногой на педаль (12) (рис. 9).

Перед сборкой плата электронного модуля крепится на рабочем столике. Захват элементов осуществляется вакуумным инструментом с предметных столиков, многоядерных ячеистых кассет и блистер-лент. Все они могут в различных сочетаниях и количествах быть закреплены на предметных столиках (2, 7) (рис. 7). Перемещение компонентов и их ориентация в пространстве осуществляются при помощи вакуумного пинцета (рис. 10).

Для того чтобы захватить компонент, необходимо при помощи рукоятки (3) подвести вакуумный пинцет с инструментом (2) к компоненту и коснуться его, совершив небольшой перебег для включения вакуума. Далее рукояткой 3 переместить компонент в нужное место и, сориентировав его, установить на печатную плату, совершив небольшой перебег

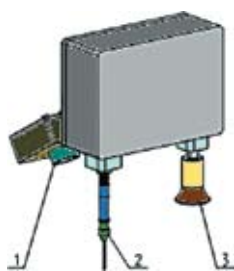


Рис. 10. Вакуумный пинцет:

- 1 — TV-камера;
- 2 — вакуумный инструмент;
- 3 — рукоятка



Рис. 11. Установка ИМС вакуумным пинцетом



Рис. 12. Контроль совмещения выводов на мониторе

для выключения вакуума (рис. 11). Контроль совмещения выводов элементов с контактными площадками платы осуществляют с помощью монитора (рис. 12). Пример сборки электронного микро модуля по технологии двустороннего поверхностного монтажа приведен на рис. 13.

Для контроля качества сборки используются бинокулярные стереомикроскопы: DUET 1030 Carton Optical Industries (Япония) и МБС-10 (рис. 14), технические характеристики которых приведены в таблице 5.

Расстояние между центрами линз должно точно соответствовать расстоянию между

Таблица 5. Технические характеристики стереомикроскопов

Параметры	DUET 1030	МБС-10
Кратность увеличения	10 или 30	От 50 до 100
Поле зрения, мм	23 или 7,6	От 39 до 1,2
Рабочее расстояние, мм	82,5	25 или 95
Межзрачковое расстояние, мм	От 52 до 75	От 56 до 75
Диапазон коррекции на левом окуляре	От +5,6 до -7,2 диоптрии	-

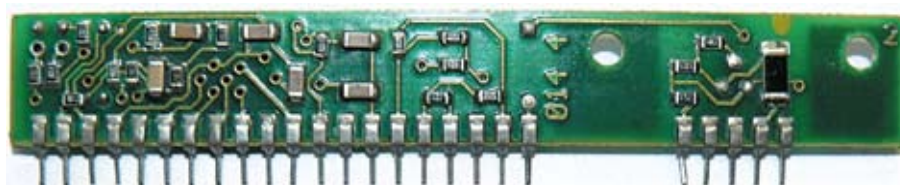


Рис. 13. Электронный микро модуль с поверхностным монтажом



Рис. 14. Бинокулярные стереомикроскопы DUET 1030 и МБС-10

зрачками оператора: в противном случае проявляются недостаточная четкость изображения, неадекватное световое восприятие и геометрические искажения. Для подстройки диоптрий необходимо:

- поместить исследуемый объект в центр поля зрения и смотреть на него правым глазом через правый окуляр;
- вращая ручку фокуса, добиться максимальной четкости изображения;
- в зафиксированной позиции фокуса посмотреть на объект через левый окуляр левым глазом и, вращая подстроечное кольцо диоптрий на левом окуляре, добиться максимальной четкости изображения.

Оценка качества установки компонентов на контактные площадки и погрешности позиционирования SMD компонентов на плате может быть выполнена при помощи окулярного микрометра, который представляет собой окуляр с механизмом диоптрий наводки, в фокальной плоскости которого установлена миллиметровая шкала с ценой деления 0,1 мм.

Для определения истинной линейной величины объекта необходимо воспользоваться переводной таблицей. Для перевода необходимо подсчитать число делений окулярной шкалы, накладываемых на измеряемый участок объекта, и умножить на число, указанное в переводной таблице, соответствующее тому увеличению, при котором производится измерение.

Для более точной оценки можно использовать большой инструментальный микроскоп (БИМ), для чего измерить величины смещения элементов по осям X, Y; (Δx , Δy). Для этого необходимо:

- совместить один из углов SMD с перекрестием микроскопа и отметить позиции на лимбах;
- с помощью продольного лимба установить перекрестие микроскопа в точку, соответствующую противоположному углу SMD (по горизонтали или по вертикали);

- отметить величину перемещения по продольному лимбу δ_1 , мкм;
- совместить перекрестие микроскопа поперечным лимбом с ближайшим углом SMD и отметить величину перемещения δ_2 , мкм;
- рассчитать угол отклонения элемента по формуле:

$$\Delta\varphi = \arctg(\delta_1/\delta_2). \quad (6)$$

Результаты контроля точности позиционирования SMD при сборке электронных модулей представлены в таблице 6.

Таблица 6. Результаты контроля позиционирования SMD

Обозначение элемента	Манипулятор			Вакуумный пинцет		
	Δx , мкм	Δy , мкм	$\Delta\varphi$, град	Δx , мкм	Δy , мкм	$\Delta\varphi$, град
C1	300	200	0°30'	400	300	1°35'
C2	250	200	0°53'	300	250	1°58'
C3	100	200	1°00'	200	300	1°35'
R1	150	100	0°35'	250	300	0°50'
R2	200	100	0°55'	500	400	1°15'
R3	150	200	0°40'	300	200	0°46'

Анализ данных таблицы 6 показывает, что установка SMD вакуумным пинцетом имеет значительную погрешность (от 200 до 500 мкм). Применение манипулятора ЭМ-4725 позволяет уменьшить эту погрешность за счет более точного перемещения по координатам X, Y.

Заключение

Применение простых и недорогих манипуляторов для поверхностного монтажа электронных модулей в опытном и мелкосерийном производстве может обеспечить приемлемую точность при сборке и повысить производительность по сравнению с обычным вакуумпинцетом.

Литература

1. Нинг Ченг Ли. Технология пайки оплавлением, поиск и устранение дефектов: поверхностный монтаж, BGA, CSP, Flip-Chip технологии. М.: ИД «Технологии», 2006.
2. Медведев А. М. Сборка и монтаж электронной аппаратуры. М.: Техносфера, 2005.
3. IPC-SM-782 А. Стандарт по конструированию печатных плат с применением технологии поверхностного монтажа, 2002.
4. Кундас С. П. и др. Технология поверхностного монтажа. Минск: Армита-Маркетинг-Менеджмент, 2000.