



Точность автоматов установки компонентов

Одна из основных характеристик автоматов установки компонентов поверхностного монтажа — точность, которая обеспечивается при установке компонентов на плату.

Геннадий Егоров

info@ostec-smt.ru

Что же такое точность установки? Ее можно определить следующим образом. Точность установки — это величина, характеризующая отклонение установленного компонента на плате от заданной позиции. Как следует из определения, точность установки учитывает влияние всех ошибок — ошибки позиционирования приводов, погрешности в изготовлении платы, погрешности размеров компонентов, погрешности алгоритмов распознавания реперных знаков и компонентов и т. д.

Отклонение положения компонента от заданного можно представить суммой систематической и случайной ошибок. Систематическую ошибку можно минимизировать путем калибровки. С помощью калибровки компенсируется влияние неточностей, связанных с отклонениями размеров деталей автомата, погрешностей монтажа — отклонение осей от перпендикулярности, отклонение установочной головки от вертикали, радиальное биение при вращении головки и т. д.

Случайная составляющая ошибки установки характеризует повторяемость (Repeatability). Для изучения случайной составляющей можно воспользоваться методами теории вероятностей.

Как было отмечено выше, случайная составляющая ошибки установки — величина, на которую оказывает влияние большое количество факторов, не зависящих друг от друга. Из теории вероятностей

известно, что случайная величина характеризуется функцией распределения, которая определяет вероятность попадания случайной величины в определенный интервал. Доказывается, что если на случайную величину оказывает влияние большое количество взаимонезависимых факторов, и никакой из факторов не имеет решающего влияния, то эта случайная величина имеет нормальное распределение. По этой причине случайную составляющую ошибки установки можно считать распределенной нормально.

Нормальное распределение можно описать функцией плотности распределения, которая выражается следующей формулой:

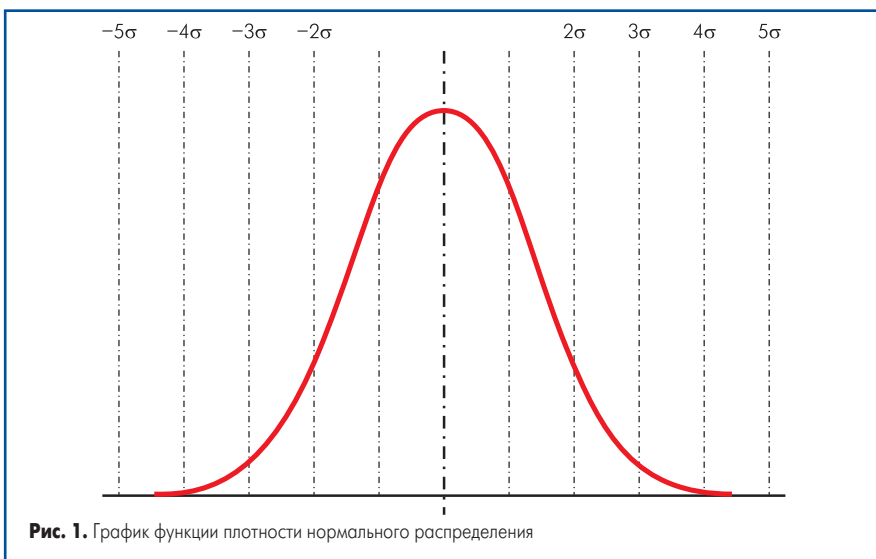
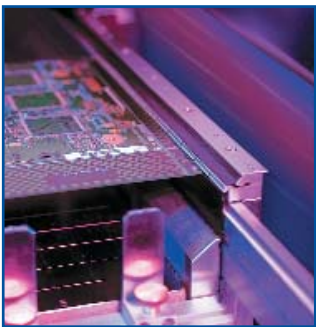
$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

Функция плотности нормального распределения характеризуется математическим ожиданием (средним значением μ) и среднеквадратическим отклонением (σ), определяющим рассеяние случайной величины относительно среднего значения. Вероятность попадания случайной величины, распределенной нормально, в определенный интервал характеризуется площадью, которую занимает область, ограниченная этим интервалом, под кривой плотности нормального распределения.

Вероятность попадания случайной величины в интервал, ограниченный определенным количеством сигм (плюс-минус одна сигма, две сигмы и т. д.), — величина стандартная и приводится в справочниках (табл.). Соответственно, вероятность выхода из указанного интервала равна разности 1 и вероятности попадания в этот интервал.

Таблица. Вероятность попадания и выхода нормально распределенной случайной величины из интервалов, кратных среднеквадратическому отклонению σ

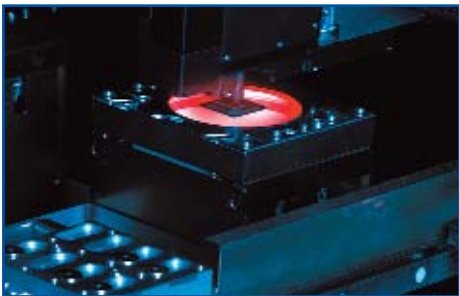
Интервал	Вероятность попадания в интервал	Вероятность выхода за пределы интервала
$\pm 1\sigma$	68,26%	31,74%
$\pm 2\sigma$	95,44%	4,56%
$\pm 3\sigma$	99,73%	2700 ppm
$\pm 4\sigma$	99,994%	60 ppm
$\pm 5\sigma$	99,99932%	0,6 ppm
$\pm 6\sigma$	99,999998%	0,002 ppm



Вероятность выхода за пределы интервала, если она очень мала, часто выражается в ppm (parts per million — число исходов на миллион возможностей; в русскоязычной литературе — млн⁻¹).

Итак, чем большему количеству сигм соответствует интервал, тем с большей вероятностью мы попадаем в данный интервал, и, соответственно, с меньшей вероятностью выходим за пределы этого интервала.

Производители автоматов характеризуют их точность, указывая предельно допустимое отклонение в функции сигм. Этот метод имеет право на существование, если допустить, что систематическая ошибка установки равна нулю или представляет собой величину, малую по сравнению со случайной ошибкой. (Заметим в скобках, что в функции сигм определяется на самом деле не точность, а повторяемость.)



Итак, допустим, что систематическая ошибка путем проведения калибровки автомата сведена практически к нулю. Что же означает для пользователя автомата установки, например, такая характеристика точности: 30 мкм (3σ)?

Это означает, что допустимое отклонение ±30 мкм соответствует интервалу ±3σ кривой плотности нормального распределения (1σ = 10 мкм). А это в свою очередь означает, что вероятность выхода за пределы интервала ±30 мкм составляет 2700 ppm (табл.). То есть, из миллиона установленных компонентов не более 2700 компонентов выйдут за пределы интервала ±30 мкм. Такой подход позволяет оценивать вероятность выхода за пределы любого интервала. Данный автомат, например, выйдет за пределы интервала ±60 мкм с вероятностью 0,002 ppm.

Из всего сказанного выше следует, что указание точности автомата без привязки к сигмам не имеет смысла. Можно указать любой интервал, и, предположим, из миллиона установок обязательно найдется некоторое их количество, которое в этот интервал попадет. Если же точность привязана к сигмам, то в этом случае можно судить о том, насколько точно будет работать автомат в вероятностном смысле.

Подчеркнем еще раз, что точность, указанная в технической спецификации автомата с привязкой к сигмам, относится большей ча-



$$C_p = \frac{\text{верхнее отклонение} - \text{нижнее отклонение}}{6\sigma} \quad (2)$$

стью к случайной составляющей погрешности установки. Если автомат не откалиброван, то есть если систематическая ошибка сравнима или превышает случайную, то результат может оказаться гораздо хуже ожидаемого.

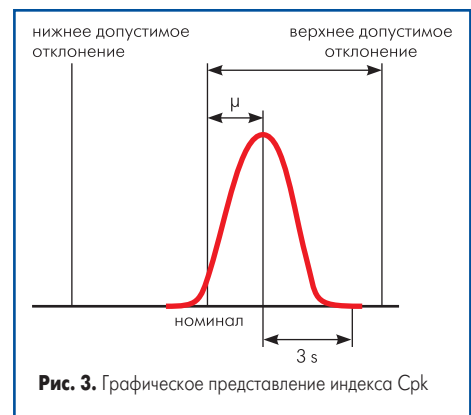
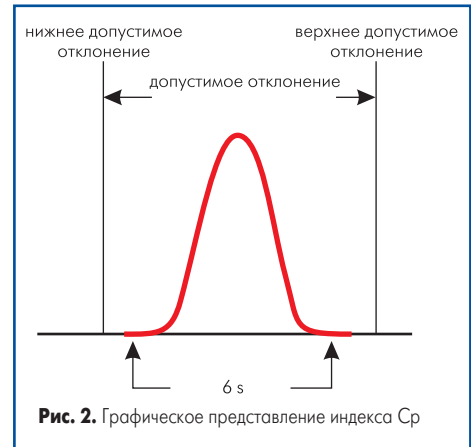
В связи с этим возникает вопрос: насколько автомат способен в реальных производственных условиях устанавливать реальные компоненты в пределах заданных допусков и, если способен, насколько велика вероятность выхода за пределы допуска? Иными словами, насколько процесс установки воспроизводим? Существуют коэффициенты, которые определяют воспроизводимость процесса. Это индексы Cp и Cpk. Индекс Cp характеризует воспроизводимость процесса и определяется отношением допустимых отклонений к естественному разбросу, определяемому как 6 сигм (±3σ) (формула (2)).

В случае симметричного допуска Cp вычисляется следующим образом:

$$C_p = \frac{\text{отклонение}}{3\sigma} \quad (3)$$

Процесс признается воспроизводимым, если Cp = 1,0. На практике воспроизводимым считается процесс с Cp > 1,33. Это дает некоторую гарантию того, что по крайней мере сохранится Cp = 1,0, если в процессе возникнут какие-либо дополнительные вариации, связанные, например, с раскалибровкой автомата.

Очевидно, что Cp характеризует потенциальную воспроизводимость процесса, так как только разброс процесса соотносится с допустимыми границами (рис. 2). Положение среднего не учитывается. В этом случае даже при высоком значении Cp можно получить большое количество выходов за пределы допуска, если среднее значение расположено близко к заданным границам.



Для оценки воспроизводимости процесса с учетом среднего значения процесса (то есть работоспособности процесса) используется индекс Cpk (рис. 3). Cpk определяется по формуле (4), где μ — среднее значение.

Процесс считается работоспособным, если величина Cpk > 1,33. Чем больше значение Cpk, тем меньше вероятность того, что процесс выйдет за заданные границы допуска. На рис. 4 приведен пример расчета Cpk для автомата ACM фирмы Assembleon

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{\text{верхнее отклонение} - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - \text{нижнее отклонение}}{3\sigma} \right\} \quad (4)$$

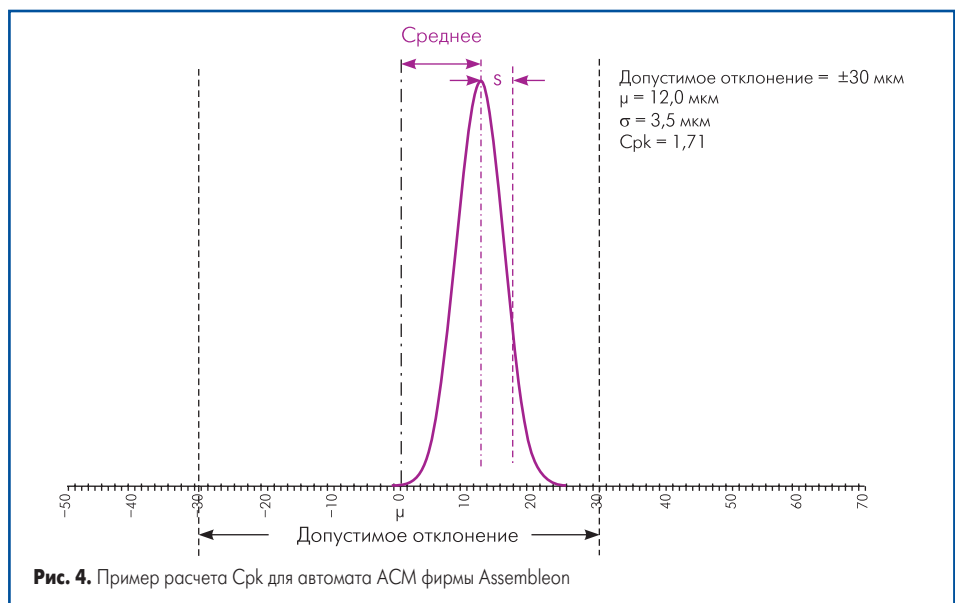




Рис. 5. Высокоточный сверхгибкий автомат установки компонентов ACM Micro

автомата ACM фирмы Assembleon. Допустимое отклонение принято равным ± 30 мкм — величина, установленная для микросхем в корпусе Flip chip.

Вернемся к оценке точности автоматов. Разработан стандарт IPC9850, который содержит рекомендации для фирм-производителей по единой методике оценки точности автоматов. Для оценки точности используются стандартные стеклянные платы и стеклянные компоненты QFP100, QFP208 или BGA228. Стеклянные компоненты и платы используются, с одной стороны, по причине малого линейного расширения стекла, что позволяет исключить влияние колебаний температуры на точность. С другой стороны, с прозрачными материалами проще работать на измерительных микроскопах, с помощью которых определяется отклонение компонентов от заданных позиций. Для оценки точности используется измери-

тельное оборудование, обладающее существенно большей точностью, чем ожидаемая точность автомата.

Прежде всего, в стандарте приведено четкое определение повторяемости — она определяется как одно среднеквадратическое отклонение ошибки установки.

Стандарт рекомендует производителям характеризовать точность автоматов одним из следующих способов.

Первый способ предполагает расчет допустимых отклонений отдельно для каждой оси (X, Y и углу θ) при $C_{pk} = 1,33$ и $C_{pk} = 2$. $C_{pk} = 1,33$ соответствует вероятности выхода за пределы допуска 60 ppm, $C_{pk} = 2$ — вероятности 0,002 ppm.

Этот способ позволяет учесть как систематическую, так и случайную ошибку установки, и лишает производителей соблазна иметь высокий C_{pk} за счет нереально широких пределов допуска.

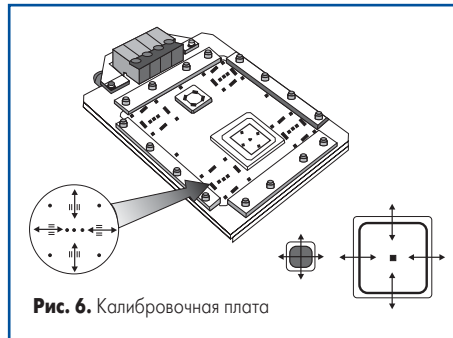


Рис. 6. Калибровочная плата

Второй способ предусматривает расчет C_{pk} для четко установленных границ, соответствующих перекрытию контактной площадки выводом в 50 и 75%. Указанные величины перекрытия контактной площадки выводом выбраны исходя из предельно допустимых смещений для изделий электроники класса 1,2 (перекрытие 50%) и класса 3 (перекрытие 75%) в соответствии со стандартом IPC-A-610. Этот способ учитывает совместное влияние ошибок по всем осям, так как смещение вывода относительно контактной площадки является результатом комбинации ошибок по X, Y и углу θ .

Подведем итог. Точность автоматов установки, указанная в технической спецификации с привязкой к сигмам, является величиной, полученной с идеальными платами и компонентами, с систематической погрешностью, близкой к нулю (на откалиброванной машине). В реальных производственных условиях на реальных компонентах и платах точность будет отличаться от заданной. Для поддержания точности необходимо регулярное техническое обслуживание и периодическая калибровка автоматов. ■