

# «Бесвинцовые» автоматы установки компонентов, или Влияние бессвинцовой технологии на конструкцию автоматов

**В настоящее время ряд предприятий, производящих радиоэлектронную аппаратуру, либо освоили бессвинцовую технологию, либо проводят соответствующие исследования. Переход на бессвинцовую технологию стимулируется целым рядом факторов, и даже предприятия, производящие спецтехнику, осваивают ее, так как это дает гибкость в использовании современной компонентной базы. В частности, большинство компаний при выборе технологии учитывают возможность пайки по «бесвинцовому» температурному профилю, потому что микросхемы в корпусе BGA в большинстве своем бессвинцовые.**

Евгений Липкин

lines@ostec-group.ru

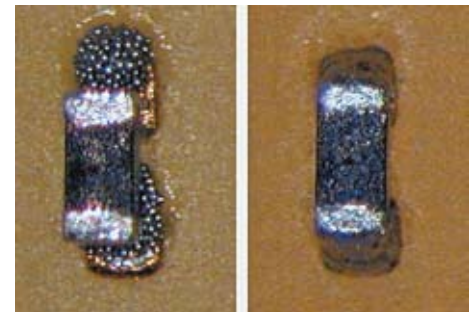
Введение

Очень часто важно и то, что работа по «бесвинцовой» технологии может помочь в привлечении дополнительных заказов.

Как правило, когда речь идет о подборе оборудования с возможностью работы по бессвинцовой технологии, вопрос сужается до выбора соответствующей системы пайки. Стоит признать, что пайка является действительно ключевой операцией с точки зрения освоения бессвинцовой технологии, однако не единственно важной.

В отличие от паяльных паст, содержащих свинец, бессвинцовые пасты в большинстве случаев характеризуются практически отсутствующим эффектом самоцентрирования компонентов при пайке (рис. 1).

Эти факторы оказывают существенное влияние на процессы нанесения пасты и установки компонентов на платы, так как для получения качественной продукции необходимо обеспечить новый уровень точности нанесения паяльных паст и установки компонентов. Эта статья посвящена изменениям,



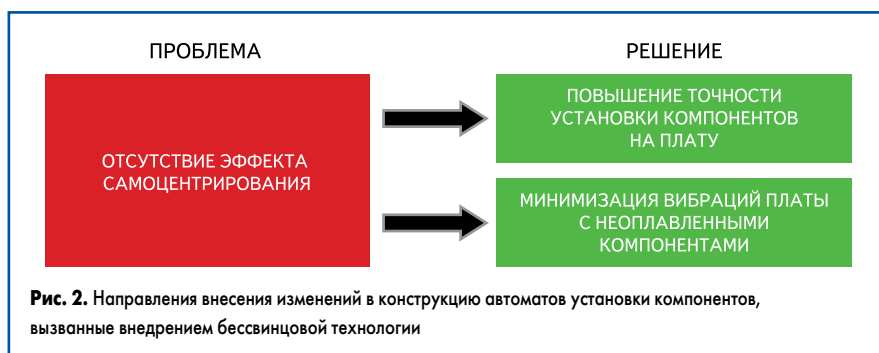
**Рис. 1.** Пример эффекта самоцентрирования компонента при пайке, характерного для традиционной (свинцовой) технологии

которые были внесены в автоматы установки компонентов производителями в связи с развитием бессвинцовой технологии.

В общем виде направление внесения изменений в конструкцию автоматов установки компонентов можно выразить простой схемой (рис. 2).

Приведенная схема демонстрирует вполне очевидные выводы: если компонент не может быть выровнен при пайке относительно контактных площадок, его нужно сразу ставить точно; если паста не позволяет удержать неоплавленный компонент на месте при вибрациях, то следует эти вибрации уменьшить.

Точность, приведенная в спецификации автоматов установки компонентов, замеряется в идеальных лабораторных условиях при температурах (помещение и агрегаты станка), близких к идеальным. При этих измерениях учитывается только точность позиционирования компонента относительно контактной площадки в соответствии с данными программы.



**Рис. 2.** Направления внесения изменений в конструкцию автоматов установки компонентов, вызванные внедрением бессвинцовой технологии



В реальных условиях компоненты подвергаются вибрациям в процессе сборки и при транспортировке уже после установки, станок также подвергается различным видам деформации, и фактическая точность позиционирования компонента после выхода из автомата может быть далека от ожидаемой и не соответствовать рекомендуемым критериям качества.

Дальнейший анализ и исследования более детально обозначили направления конструктивных изменений в области разработки и производства автоматов установки компонентов (рис. 3). Можно легко заметить, что все современные разработки отличаются от предшествующих.

### Уменьшение габаритов станка

Специалисты в области станкостроения прекрасно знают: чем станок компактней, тем легче обеспечить его точность. Это объясняется в первую очередь тем, что относительные величины искажения и деформации при меньших габаритах установки выливаются в меньшую ошибку в абсолютном выражении.

Одним из наиболее «проблемных» видов деформации является температурное расширение конструкции автомата установки компонентов. Подобные изменения определяются изменением температуры в рабочем помещении, нагреванием узлов автомата в процессе работы, расположением источников тепла и холода в рабочем помещении, особенностями выделения тепла разными узлами автомата и системой их вентиляции, различиями в степени расширения узлов станка при нагревании и другими факторами.

Основной закон теплового расширения гласит, что тело с линейным размером  $L$  в соответствующем измерении при увеличении его температуры на  $\Delta T$  расширяется на величину  $\Delta L$ , равную:

$$\Delta L = \alpha L \Delta T,$$

где  $\alpha$  — коэффициент линейного теплового расширения.

Основным материалом, используемым при изготовлении большинства станин автома-

тов установки компонентов, является чугун. Для расчетов влияния размера установки на ошибку, возникающую при температурных деформациях станины, мы учитываем, что коэффициент линейного температурного расширения чугуна в среднем равен  $10^{-5}$  град<sup>-1</sup>, коэффициент расширения в диапазоне эксплуатации автоматов установки компонентов постоянен и материал станка имеет свойства изотропности (однородности) при расширении. Идеальная температура эксплуатации автоматов установки компонентов, рекомендуемая большинством производителей, составляет 24 °С.

В результате мы можем построить графики зависимости линейных расширений конструкции автоматов установки компонентов от размера установки при разных избыточных температурах (рис. 4).

График расширения для избыточной температуры 5 °С характеризует линейные расширения станка в выключенном состоянии, так как в подавляющем большинстве случаев на отечественных предприятиях колебания температуры в помещении, вызванные изменениями погоды, сменой времени суток и режима отопления помещения, могут составить  $\pm 5$  °С.

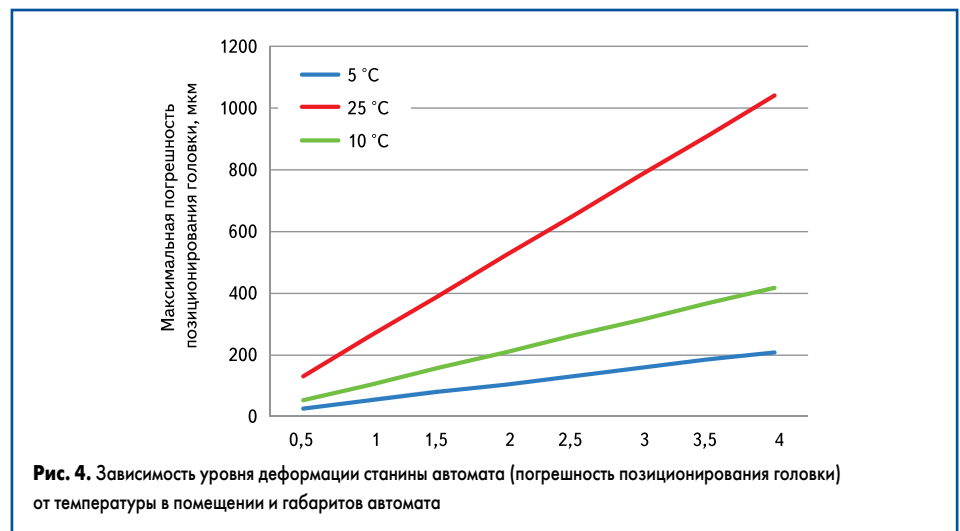
На графике видно, что при длине станины в два метра в выключенном состоянии изменения линейных размеров автомата, а соот-

ветственно, и погрешность установки компонента при колебании температуры в помещении  $\pm 5$  °С составит  $\pm 100$  мкм. Если к этому прибавить погрешность установки, которая измерена в идеальных условиях и указана в спецификации (как правило, она составляет  $\pm 30$  мкм), то мы получим погрешность установки  $\pm 130$  мкм. Если учесть требования стандарта IPC 610 по точности позиционирования компонента на контактных площадках, которые рекомендуют смещение не более 25% от линейных размеров компонента, то очевидно, что при длине станины в два метра монтаж компонентов меньше 0402 (размеры  $1 \times 0,5$  мм) будет под вопросом в помещении с переменной температурой. Разумеется, это относится к автоматам установки компонентов, не оснащенным средствами компенсации температурных и других деформаций. Такие автоматы, к сожалению, присутствуют на рынке.

При этом в расчетах мы не учитывали нагрев узлов автомата и их деформацию в процессе работы, когда избыток температуры будет существенно выше 5 °С. Что произойдет в этом случае, видно на других зависимостях, приведенных на графике (рис. 4).

Подобные ошибки неприемлемы и несовместимы с качественной сборкой сложной современной техники, когда используются компоненты с малым шагом и небольшими габаритами.

Кто-то может сказать, что точные приводы и высокое разрешение энкодеров являются решением проблемы. Но ошибочность этих выводов легко доказать простым примером. Так как конструкция автомата неоднородна и выполнена из различных материалов с разными свойствами, то взаимное изменение расположения точек автомата при температурных деформациях может происходить в различных осях и направлениях. Распространены случаи, когда в результате подобных деформаций станины опоры, на которых крепятся направляющие привода, смещаются относительно друг друга и сборочного стола. Происходит отклонение направляющей привода на угол  $\pm 0,001^\circ$ . Это может привести к погрешности позиционирования установочной головки относительно сборочного стола, на котором располагается плата, вплоть до  $\pm 17$  мкм с каждого метра длины на-





**Рис. 5.** Реперные точки для калибровки автомата в режиме реального времени автомата SM-421

правляющей. То есть при длине направляющих приводов станка в один метр ошибка составит до  $\pm 17$  мкм, при длине два метра —  $\pm 34$  мкм. При этом показания энкодера, расположенного на самих направляющих приводах, не могут отразить или помочь скомпенсировать ошибку, так как относительно сборочного стола сместилась сама система координат, в которой перемещается установочная головка.

Именно по этой причине конструкторы современных автоматов делают все возможное, чтобы уменьшить габариты установок без потери функциональности.

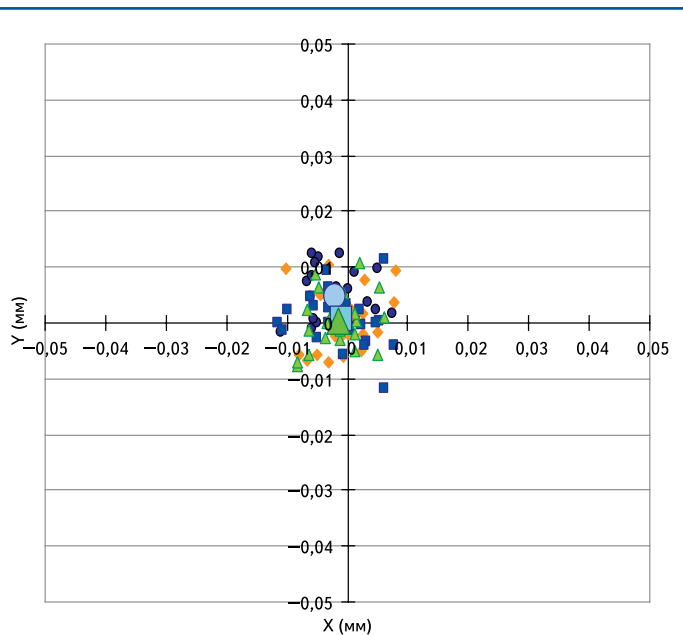
Сегодня невозможно встретить автомат установки компонентов с датой разработки позднее 2005 года, габариты станины которого по длине и ширине превышают 1,5–1,8 м. Более того, уже встречаются установки и меньшего размера.

Для того чтобы соответствовать современным требованиям, производители переходят к модульным конструкциям автоматов установки компонентов. В этом случае линия собирается из нескольких небольших автоматов (модулей), размещенных на короткой станине.

Разумеется, можно обеспечить высокую точность гораздо более габаритных станков и машин, но для этого необходимы специальные средства компенсации погрешностей и калибровки. Такие решения, как правило, дорогостоящие, и не все производители оснащают станки этими средствами. Когда речь идет об автоматах установки компонентов, далеко не все модели оснащаются полным арсеналом необходимых средств обеспечения точности, а в результате страдает функциональность.

#### **Автоматическая калибровка автомата установки компонентов в режиме реального времени**

Как уже было сказано, одной из основных причин деформации конструкции станка в процессе работы и, как следствие, ухудшения точности являются деформации, возникшие по причине температурных расширений. Они возникают вследствие нагрева узлов автомата установки компонентов в процессе работы, изменения температуры в помещении и под воздействием других факторов.



**Рис. 6.** Результаты измерения точности и повторяемости установки компонентов (SM-421) с включенными функциями автокалибровки и термокомпенсации

Кроме температурной, существуют и другие виды деформации конструкции автомата, которые могут повлиять на точность монтажа. В частности, деформация конструкции автомата, вызванная установкой на неровный пол.

Как было описано выше, в результате деформации узлов автомата происходит взаимное смещение друг относительно друга системы координат установочной головки и стола, на котором расположена плата.

Для того чтобы обеспечить высокую точность установки компонентов на плату при различных негативных факторах, в современных автоматах установки компонентов применяются средства калибровки в режиме реального времени.

Например, для того чтобы исключить проблему снижения точности, в автомате SM-421 используются специальные реперные точки (рис. 5), позволяющие совместить системы координат головки и платы. С установленной периодичностью камера чтения реперных знаков на платах, расположенная на одном суппорте с установочной головкой, считывает координаты этих специальных реперных точек на станине, сравнивает с эталонными координатами и при необходимости вносит поправку в систему позиционирования установочной головки.

Данная система позволяет обеспечить максимально возможную точность и повторяемость установки компонентов. Результаты измерения точности и повторяемости установки компонентов с помощью автомата SM-421, оснащенного функциями автоматической калибровки и термокомпенсации, приведены на рис. 6. По результатам измерений фактическая точность оказалась в диапазоне  $\pm 11$  мкм при  $3\sigma$ .

#### **Уход от подвижного сборочного стола. Фиксированный сборочный стол**

Большинство автоматов установки SMT-компонентов, разработанных в 1980-х годах, имели подвижный сборочный стол. При такой конструкции печатная плата фиксировалась на подвижной платформе, которая пошагово перемещалась в процессе сборки по одной или двум осям по заданной программе.

Применение подобной технологии существенно упрощало систему приводов и снижало ее стоимость. Именно поэтому такая конструкция была популярна в течение длительного времени.

Однако со временем большинство компаний отказались от производства подобных автоматов по двум основным причинам (рис. 7). Во-первых, такие автоматы характеризуются большой длиной, как правило, не менее 3 м, что, как известно, не способствует высокой точности установки компонентов. Во-вторых, в процессе перемещения сборочного стола перемещается и плата вместе с установленными на нее неоплавленными компонентами. А так как мы говорим о при-

менении бессвинцовой технологии, то при пониженной клейкости пасты любые вибрации могут быть критичны для смещения компонентов в процессе монтажа.

Современной альтернативой подвижному сборочному столу является фиксированный сборочный стол. В этом случае плата неподвижна в течение всего цикла сборки и не подвергается избыточным вибрациям и ускорениям.

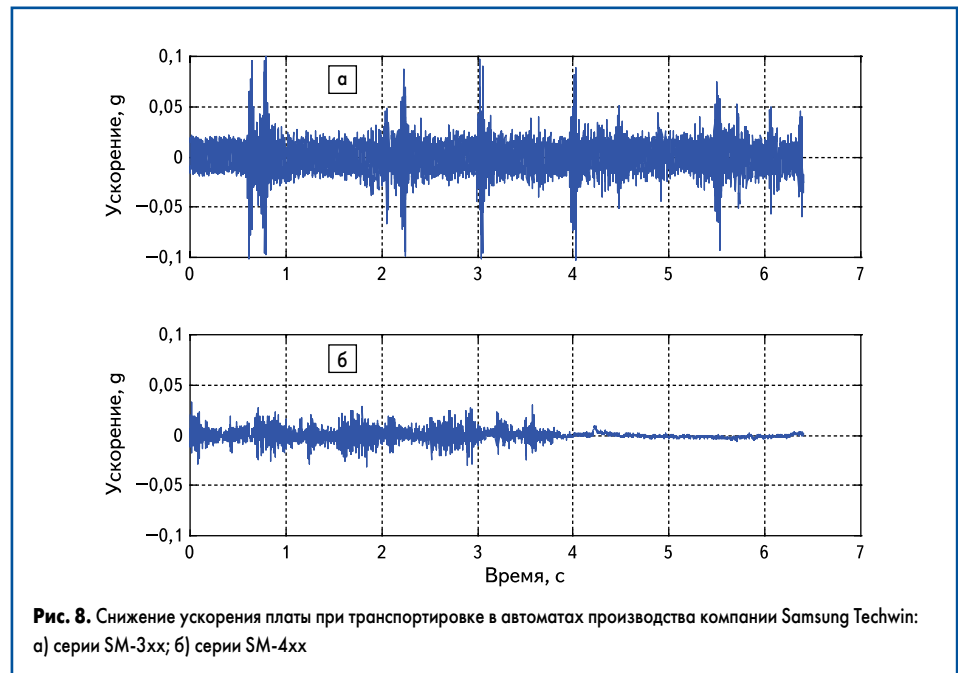
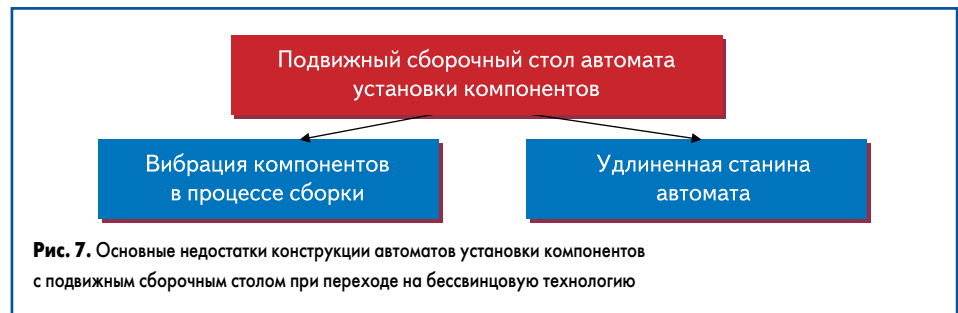
### Минимизация ускорений при транспортировке платы

Большое внимание разработчики современных автоматов установки компонентов уделяют снижению вибраций и ускорений платы с компонентами при транспортировке по конвейерной системе и сборочному столу. Несмотря на значения ускорения конвейера (и без того низкие), разработчики продолжают попытки уменьшить их в несколько раз (рис. 8).

К сожалению, не все автоматы установки компонентов в состоянии обеспечить такой низкий уровень ускорений при транспортировке по конвейеру, и это, как правило, приводит к смещению компонентов уже после установки на плату.

### Заключение

Переход на бессвинцовую технологию требует комплексного подхода к выбору технологического оборудования. Современные автоматы установки компонентов должны учитывать новые технологические требования, такие как более высокая точность монтажа и минимальная вибрация платы и компонентов при сборке. Учитывая приведенные кри-



терии, можно выбрать современный автомат установки компонентов, который позволит эффективно работать по двум технологиям —

бессвинцовой и свинцовой и осуществлять качественный и точный монтаж компонентов любой сложности и размеров.