



«БЕССВИНЦОВЫЕ» АВТОМАТЫ УСТАНОВКИ КОМПОНЕНТОВ ИЛИ ВЛИЯНИЕ БЕССВИНЦОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ НА КОНСТРУКЦИЮ АВТОМАТОВ

Евгений Липкин

lines@ostec-group.ru

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 её, так как это дает гибкость в использовании современной компонентной базы. В частности, большинство предприятий при выборе технологии учитывают возможность пайки по «бессвинцовому» температурному профилю, потому что микросхемы в корпусе BGA в большинстве своем бессвинцовые. Очень часто важно и то, что работа по «бессвинцовой» 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. Данная

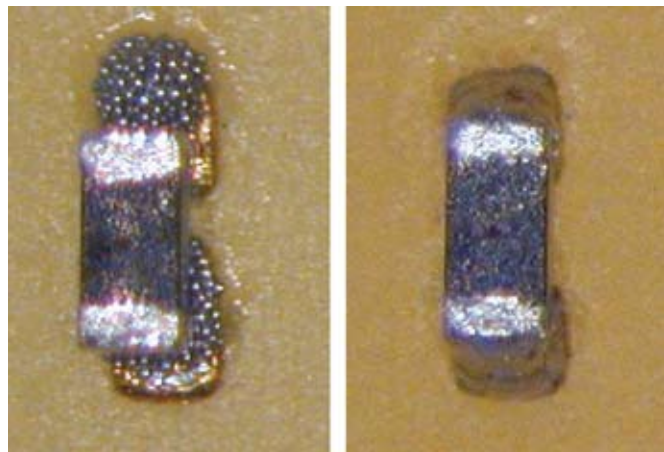


Рис. 1 Пример эффекта самоцентрирования компонента при пайке, характерного для традиционной (свинцовой) технологии

статья посвящена изменениям, 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 надо сразу ставить точно; если паста не позволяет удержать неоплавленный компонент на месте при вибрациях, то надо 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. В реальных условиях компоненты подвергаются вибрациям в процессе сборки, и при транспортировке уже после установки станок подвергается различным видам деформации, и фактическая точность позиционирования компонента после выхода из автомата может быть далека от ожидаемой и не соответствовать рекомендуемым критериям качества.



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

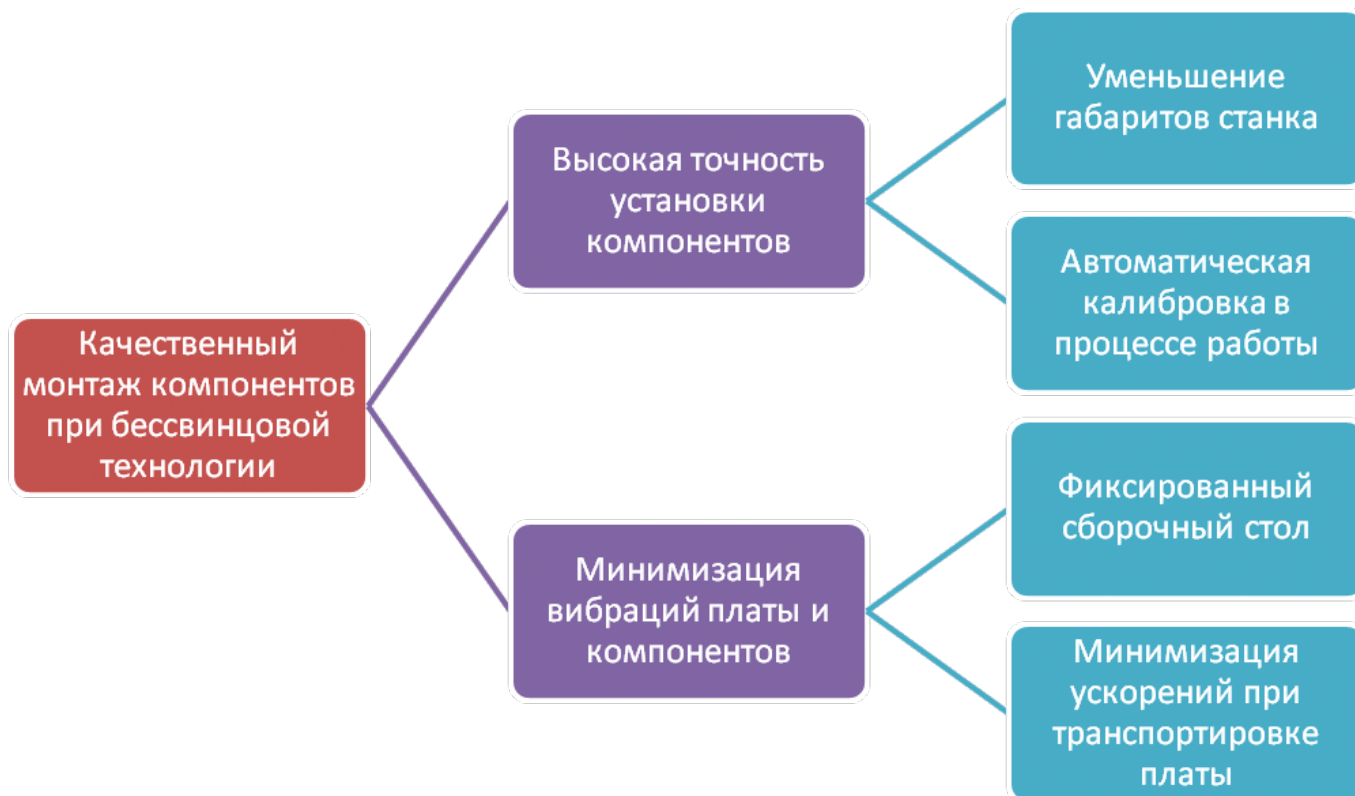


Рис. 3 Схема причинно-следственных связей между конструктивными особенностями автоматов установки компонентов и качеством сборки при бесвинцовой технологии

Одним из наиболее “проблемных” видов деформации является температурное расширение конструкции автомата установки компонентов

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 предшественников изменениями в особенностях, приведенных на рис. 3.

УМЕНЬШЕНИЕ ГАБАРИТОВ СТАНКА

Специалисты в области станкостроения прекрасно знают, что 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 ΔT расширяется на величину ΔL , равную:

$\Delta L = \alpha L \Delta T$, где α – коэффициент линейного теплового расширения. Основным материалом, используемым при изготовлении большинства станин автоматов установки компонентов, является чугун. Для расчетов влияния размера установки на ошибку, возникающую при температур-

ных деформациях станины, мы учитываем, что коэффициент линейного температурного расширения чугуна в среднем равен 10^{-5} град $^{-1}$, 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°C.

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 градусов 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 ± 5 градусов.

Из графика видно, что при длине станины в два метра в выключенном состоянии изменения линейных размеров автомата, а, соответственно,

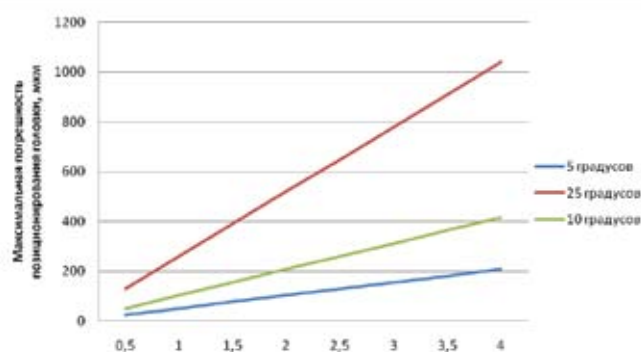


Рис. 4 Зависимость уровня деформации станины автомата (погрешность позиционирования головки) от температуры в помещении и габаритов автомата



и погрешность установки компонента, при колебании температуры в помещении $\pm 5^\circ\text{C}$ составляет ± 100 мкм. Если к этому прибавить погрешность установки, которая измерена в идеальных условиях и указана в спецификации (как правило, она составляет ± 30 мкм), то мы получим погрешность установки ± 130 мкм. Если учесть требования стандарта IPC 610 по точности позиционирования компонента на контактных площадках и рекомендуемое смещение не более 25% от линейных размеров компонента, то очевидно, что при длине станины в два метра монтаж компонентов меньше 0402 (размеры 1,0x0,5 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 наших расчетах мы не учитывали нагрев узлов автомата и их деформацию в процессе работы, когда избыток температуры будет существенно выше 5 градусов. Что произойдет в этом случае, видно на других зависимостях, приведенных на графике (рис. 4). Подобные ошибки являются неприемлемыми и несовместимыми с качественной сборкой сложной современной техники, когда используются компоненты с малым шагом и 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 ± 17 мкм с каждого метра длины направляющей. То есть при длине направляющих приводов станка в один метр ошибка составит до ± 17 мкм, при длине два метра - ± 34 мкм. При этом показание 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 метра. 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 это требует наличия специальных средств компенсации погрешностей и калибровки. Такие решения, как правило, дорогостоящие, и не все производители оснащают станки данными средствами. Когда речь идет об автоматах установки компонентов, далеко не все модели оснащаются полным арсеналом необходимых средств обеспечения точности, а в результате страдает функциональность.

Современные автоматы установки компонентов должны учитывать новые технологические требования - более высокую точность монтажа и минимальные вибрации платы и компонентов при сборке



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

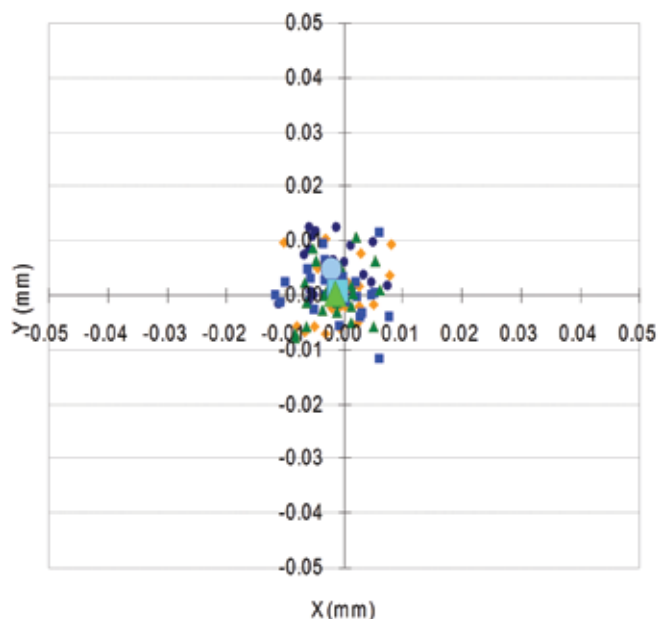


Рис. 6 Результаты измерения точности и повторяемости установки компонентов (SM-421) с включенными функциями автокалибровки и термокомпенсации



Рис. 7 Основные недостатки конструкции автоматов установки компонентов с подвижным сборочным столом в контексте перехода на бессвинцовую технологию

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.

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 ± 11 мкм при 3σ .

УХОД ОТ ПОДВИЖНОГО СБОРОЧНОГО СТОЛА И ФИКСИРОВАННЫЙ СБОРОЧНЫЙ СТОЛ

Большинство автоматов установки SMT-компонентов, разработанных в 80-х годах прошлого века, 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 её стоимость. Именно поэтому такая конструкция была крайне популярной в течение длительного времени.

Однако со временем большинство производителей автоматов компонентов отказались от производства подобных автоматов по двум основным причинам (рис. 7). Во-первых, такие автоматы характеризуются большой длиной, как правило, не менее 3-х метров, что, как известно, не способствует высокой точности установки компонентов. Во-вторых, в

процессе перемещения сборочного стола перемещается и плата вместе с установленными на неё неоплавленными компонентами. А так как мы говорим о применении бессвинцовой технологии, то при пониженной клейкости пасты любые вибрации могут быть критичными 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 и без того низкие значения ускорения конвейера, разработчики пытаются снижать и их в разы (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.

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 минимальные вибрации платы и компонентов при сборке. Учитывая приведенные критерии, 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. ■

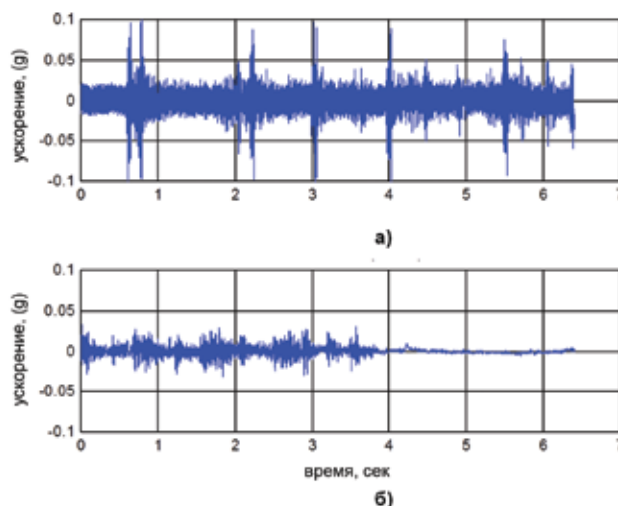


Рис. 8 Снижение ускорения платы при транспортировке в автоматах серии SM-4xx (б) по сравнению с серией SM-3xx (а) производства компании Samsung Techwin