

Системный анализ 3D-MID технологий

© Э.Н. Камышная, А.Е. Курносенко, Ю.В. Иванов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Рассматриваются несколько уже реализованных и перспективных вариантов выполнения операции автоматизированной 3D-установки компонентов поверхностного монтажа на литые монтажные основания, изготовленные по технологии создания коммутационных структур 3D-MID (Molded Interconnect Devices). Рассмотрены подходы к решению задачи установки компонентов на поверхности, находящейся под произвольным углом к вертикальной оси перемещения сборочной головки автомата установки компонентов. Представлены конструкции соответствующих сборочных линий и отдельных автоматов по изготовлению изделий электроники на базе 3D-MID, а также их технологическое оснащение. Рассмотренное оборудование работает в серийном производстве или существует в качестве перспективных опытных образцов. Представлено сравнение приведенных концепций и рекомендации по выбору оборудования для различных условий производства.

Ключевые слова: *сборка электроники, 3D-MID технология, монтажный автомат, сборочный робот, производственная линия, монтажное основание, сборочная оснастка.*

Введение. Разработка современного изделия электроники практически всегда подразумевает рост функциональности и надежности при одновременном уменьшении массы и габаритов, удешевлении проектирования и производства по сравнению с изделием-предшественником. При этом конструктор часто сталкивается с необходимостью сочетания в рамках одного устройства электрических и механических элементов и узлов. Перспективным и активно развивающимся в настоящее время направлением, решающим такие задачи, является внедрение устройств 3D-MID — монтажных оснований, изготавливаемых из термопластиков методами литья с металлизацией проводящего рисунка на активированных участках трехмерной поверхности устройства. Наибольшее распространение на данный момент получили методы двухкомпонентного литья под давлением, а также однокомпонентного литья с последующим аддитивным или субтрактивным лазерным структурированием проводящего рисунка. Для некоторых устройств применяют формирование рисунка горячим тиснением металлической фольги [1, 2].

Основные сборочные операции для устройств 3D-MID аналогичны применяемым в традиционной технологии поверхностного мон-

тажа — это дозирование паяльной пасты/клея, установка компонентов и пайка оплавлением. Отличие их заключается в необходимости установки компонентов на криволинейные поверхности либо поверхности, располагающиеся под углом, отличным от угла 90° между осью Z сборочной головки и плоскостью расположения установленного компонента. В этом и состоит главная проблема.

Для того, чтобы качественно и надежно установить компонент, необходимо обеспечить перпендикулярность его монтажной плоскости к оси перемещения сборочной головки. Это же требование справедливо и для операции дозирования, однако здесь оно более жесткое: для надежного нанесения пасты допускается меньший угол между иглой дозатора и плоскостью монтажного основания, чем в случае установки компонентов [1].

Кроме того, требуется механическая фиксация компонентов на наклонных поверхностях, в противном случае весьма вероятно сползание компонентов с посадочных мест под воздействием собственной массы при изменении положения устройства 3D-MID, вибрациях, линейных ускорениях и пр. В особенности это свойственно компонентам с большой массой и малой областью контакта с паяльной пастой. Для фиксации рекомендуется установка таких компонентов в полость либо выполнение литых конструкций вокруг них (например, бортиков около их нижних краев). Другое решение — нанесение под компонент адгезива с отверждением в процессе удержания компонента насадкой, при этом автомат должен обладать возможностью установки головки дозирования адгезива [1]. Применение быстротверждаемых адгезивов или адгезивов с УФ-отверждением также потребует от сборочного автомата соответствующего оснащения.

Так как устройство 3D-MID может иметь произвольную форму и габариты по трем осям, важно предотвратить возможные взаимные столкновения собираемого устройства 3D-MID и технологического оснащения, служащего для его фиксации и манипулирования, со сборочной головкой и другими элементами оборудования. Достигается это расположением всех элементов технологического оснащения вне рабочей области перемещения головки по осям X , Y , т. е. в области над монтажным основанием, где перемещение головки осуществляется только по оси Z , а также в области под основанием (под конвейером автомата). Следует отметить, что рабочая зона современных автоматов очень компактна, отличается малыми осевыми перемещениями, поэтому место для размещения элементов технологического оснащения сильно ограничено.

При традиционной 2D-установке от сборочного автомата требуется обеспечить 4 распределенных между компонентом и монтажным основанием степени свободы — 3 линейных и одну вращательную,

при 3D-установке этих степеней свободы должно быть 6 [3]. Необходимо совершенствовать конструкции автоматов сборки изделий электроники, чтобы обеспечить возможность установки ими компонентов поверхностного монтажа, а также дозирования технологических материалов на поверхности монтажных оснований произвольной формы и ориентации. Такие усовершенствованные конструкции должны обеспечивать высокий уровень технологичности операции сборки и обладать экономической эффективностью в условиях мелких серий и широкой номенклатуры производимых изделий, что характерно для современного производства электроники.

Цель работы — провести анализ 3D-MID технологий по критерию установки компонентов для различной номенклатуры и программы выпуска изделий при наложенных ограничениях в виде текущих условий производства и различного состава уже имеющегося на производстве оборудования с учетом минимизации капитальных затрат, затрат на модернизацию и затрат на технологическую подготовку производства.

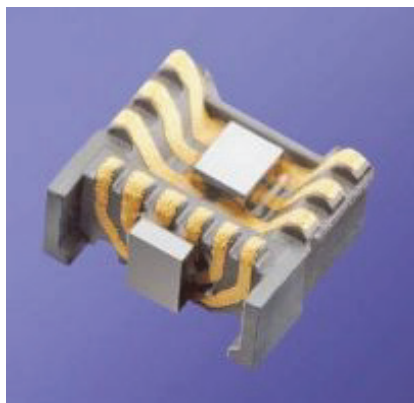
Актуальность исследований в области технологии 3D-MID определяется объективной необходимостью анализа 3D-MID устройств. Они обладают многочисленными достоинствами, среди которых следует отметить возможность реализации в рамках единого устройства монтажного основания с рисунком электрической схемы, а также таких элементов конструкции, как корпус, экран, теплоотвод, элементы фиксации, излучатели, соединители, переключатели и пр. Внедрение этих устройств означает упрощение и сокращение по времени сборочного процесса при увеличении надежности производства — прежде всего за счет меньшего числа механических деталей. Материал устройств 3D-MID — различные термопластики — дружелюбен к окружающей среде и пригоден для вторичной переработки.

Научная новизна заключается в качественном сравнении вариантов технической реализации технологий 3D-MID с позиции установки компонентов в конкретных условиях производства.

Результаты исследований могут быть использованы при переоснащении существующих и создании новых производств, выпускающих изделия электроники с применением технологий 3D-MID, для оценки вариантов и проведения технико-экономического анализа при модернизации производства электроники под технологию 3D-MID, а также могут быть полезны для технологов и руководителей производств, рассматривающих вопросы внедрения данной технологии на своем производстве.

Особенности устройств 3D-MID. Особенности конструкции устройств 3D-MID предопределили области их предпочтительного

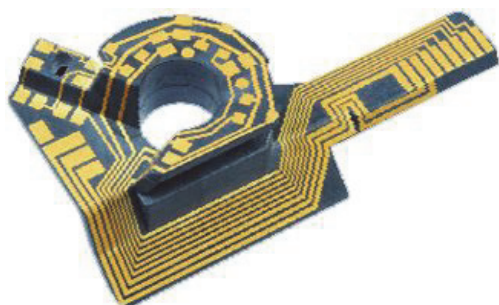
применения — в настоящее время это автомобильная электроника, промышленная автоматизация, телекоммуникации, медицинские технологии, потребительская электроника. Примеры устройств 3D-MID (различающихся по форме, размерам, расположению поверхностей монтажа) представлены на рис. 1 [4–7].



а



б



в



г

Рис. 1. Примеры изделий на базе технологии 3D-MID:

а — датчик магнитного поля на компонентах flip chip, установленных на непроводящий адгезив; *б* — концепт многофункционального автомобильного рулевого колеса; *в* — датчик радиолокатора для адаптивного круиз-контроля; *г* — датчик автомобильных систем климат-контроля

Мы остановимся на нескольких современных вариантах технической реализации операции автоматизированной 3D-установки компонентов поверхностного монтажа с точки зрения конструкции автоматов (как выпускаемых серийно, так и существующих в виде опытных образцов) и их оснащения.

Классификация трехмерных монтажных оснований по критерию расположения поверхностей установки компонентов представлена в таблице [2].

Классификация трехмерных монтажных оснований

Размерность	Характеристика и расположение поверхностей установки компонентов	Схема процесса установки компонентов	Области применения
2D	Плоская поверхность		Обычные печатные платы
2½D	Плоская поверхность, 3D-элементы на обеих сторонах		Простые корпуса
	Плоская поверхность, 3D-элементы на стороне установки		Простой монтаж, модульная конструкция
	Несколько параллельных поверхностей		Фиксация тяжелых компонентов
$n \times 2D$	Поверхности, располагающиеся под углом		Простые корпуса, компактные печатные платы
3D	Регулярные поверхности, например цилиндрические		Телекоммуникации, автомобилестроение
	Поверхности свободной формы		Камеры

Рассмотрим концепции автоматов с наиболее сложными размерностями установки — $n \times 2D$ и 3D, так как именно они реализуют полные возможности по производству устройств 3D-MID.

Концепции построения сборочных автоматов для 3D-MID. *Линия, оснащенная 6-осевыми промышленными роботами.* Установка компонентов на устройства 3D-MID имеет много общего с применяемыми в машиностроении традиционными и хорошо отлаженными за многие годы пространственными операциями обработки и сборки, поэтому неудивительно, что ряд компаний пошел по пути использования в качестве сборочной головки гибких, свободно программируемых 6-осевых промышленных роботов.

Примером может служить гибкая комплексная производственная линия (рис. 2) [8], служащая для выпуска трехмерных мехатронных сборок — переключателей для встраивания в руль мотоцикла (6 типов устройств с 50 различными вариантами установки компонентов) (рис. 3) [9], а также прочих устройств 3D-MID с габаритами вплоть до $100 \times 100 \times 100$ мм. Заявленное время цикла составляет 2...3 с на компонент.



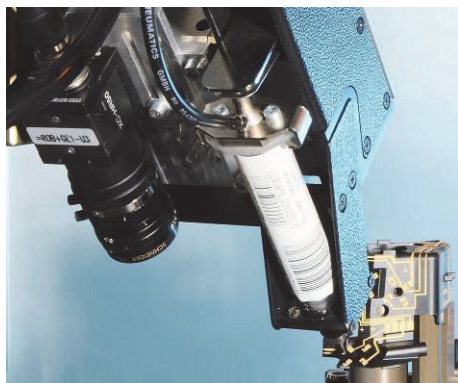
Рис. 2. Комплексная производственная линия сборки переключателей для мотоцикла на основе 3D-MID



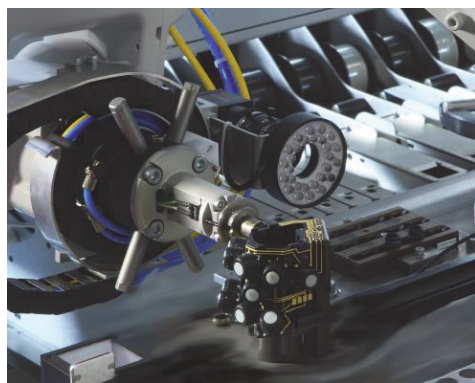
Рис. 3. Собираемое устройство 3D-MID — переключатель для мотоциклов

Техпроцесс состоит из следующих основных этапов:

- входной контроль деталей 3D-MID;
- 3D-дозирование паяльной пасты с последующей оптической инспекцией областей нанесения (рис. 4, а);
- 3D-установка компонентов поверхностного монтажа (рис. 4, б);
- пайка с последующей трехмерной автоматической оптической инспекцией (АОИ);
- установка контактных штырьков;
- нанесение защитного покрытия;
- окончательная сборка и монтаж кабелей;
- окончательный функциональный контроль: тактильный, оптический и электрический;
- упаковка готовых изделий.



а



б

Рис. 4. Операции на роботизированной линии:
а — 3D-дозирование паяльной пасты; б — установка компонентов

Модульный автомат, оснащенный 3D-держателем монтажных оснований. Еще одной реализацией сборки устройств 3D-MID является автомат, оснащенный в качестве модуля расширения 3D-держателем монтажных оснований.

Примером может служить система трехмерной микросборки VICO 520 M от компании Häcker Automation GmbH (рис. 5) [10]. Это модульное оборудование обладает различным гибко конфигурируемым оснащением для решения задач микросборки, нано- и микродозирования и оптической 3D-инспекции.



Рис. 5. Система трехмерной микросборки VICO 520 M

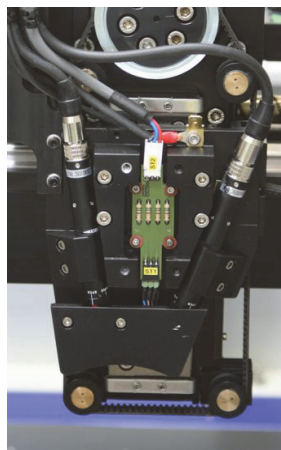


Рис. 6. Стереоскопическая система трехмерного технического зрения оборудования VICO 520 M

Стандартным оснащением VICO 520 M является стереоскопическая система трехмерного технического зрения (СТЗ) (рис. 6) [11].

Для компенсации возникающих погрешностей изготовления и позиционирования СТЗ определяет положение монтажного основания в пределах рабочей зоны автомата не только в горизонтальной плоскости, но и по вертикали, а также оценивает состояние поверхности. Областью поиска 3D СТЗ является куб со стороной 2,5 мм. Точность распознавания элемента ± 2 мкм. Система оснащена алгоритмом компенсации дефектов структуры поверхности с размерами вплоть до 250 мкм и обладает возможностью проводить АОИ готовых сборок [10–12].

3D-оснастка для фиксации монтажных оснований — модуль расширения для модели VICO 520 M. Управление по двум осям модуля осуществляется независимо друг от друга. Рабочая область может поворачиваться на 360° вокруг оси Z и наклоняться на 90° по оси X , что добавляет две недостающие степени свободы к четырем, обеспечиваемым сборочной головкой. Таким образом, можно управлять положением устройства 3D-MID, устанавливая его выпуклую или вогнутую поверхность в требуемую для установки компонентов позицию с помощью поворота и наклона. При этом головки дозирования и установки могут достигать каждой точки всего полупространства над монтажным основанием. Само устройство 3D-MID крепится на держателе при помощи специального адаптера. Два варианта реализации модулей оснащения приведены на рис. 7 [11].

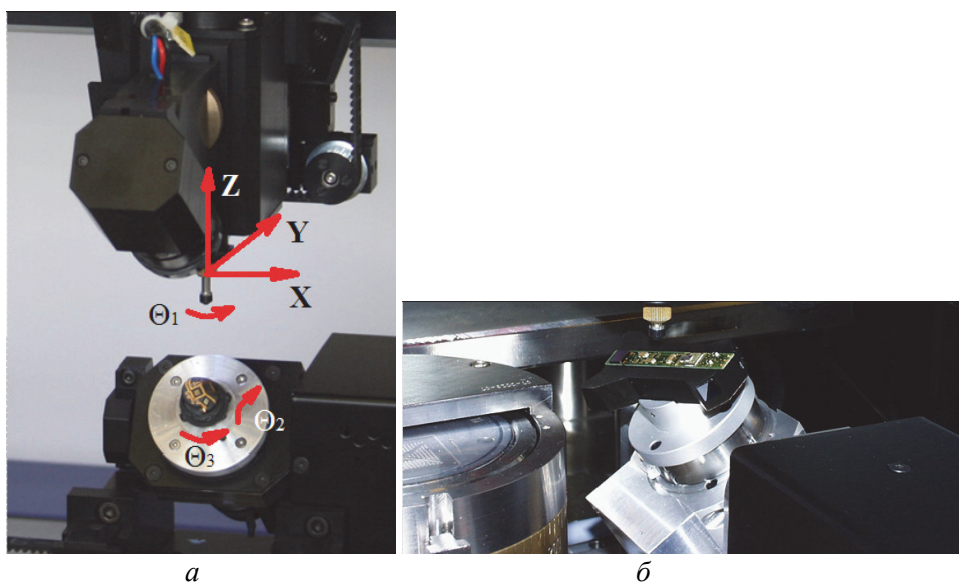


Рис. 7. Два варианта реализации 3D-держателей монтажных оснований: *a* — для миниатюрных оснований; *б* — держатель с адаптером для удлиненных оснований

Одна головка оснащается автоматически сменяемыми насадками для установки различных компонентов, вторая выполняет дозирование материала из картриджей объемом 5...10 мл.

Ниже представлены некоторые технические характеристики системы VICO 520 M:

Точность позиционирования при 3σ , мкм.....	± 10
Точность дозирования при 6σ , нл.....	$\pm 0,1$
Время наладки, мин.....	< 5
Показатель возможностей техпроцесса C_{pk}^*	$> 2,0$
Коэффициент готовности, %.....	> 97

$*C_{pk} = \min(C_{pk}^+, C_{pk}^-)$, где $C_{pk}^+ = \frac{\delta x^+ - \mu}{3\sigma}$; $C_{pk}^- = \frac{\mu - \delta x^-}{3\sigma}$; μ — систематическая ошибка позиционирования (математическое ожидание); δx^+ , δx^- — верхнее и нижнее отклонения поля допуска позиционирования соответственно.

Интеграция многоосевого робота в существующий автомат 2D-установки компонентов. Одним из перспективных направлений является расширение кинематических возможностей обычного автомата 2D-установки компонентов с помощью интеграции в его структуру многоосевого робота, манипулирующего держателем с закрепленным на нем устройством 3D-MID.

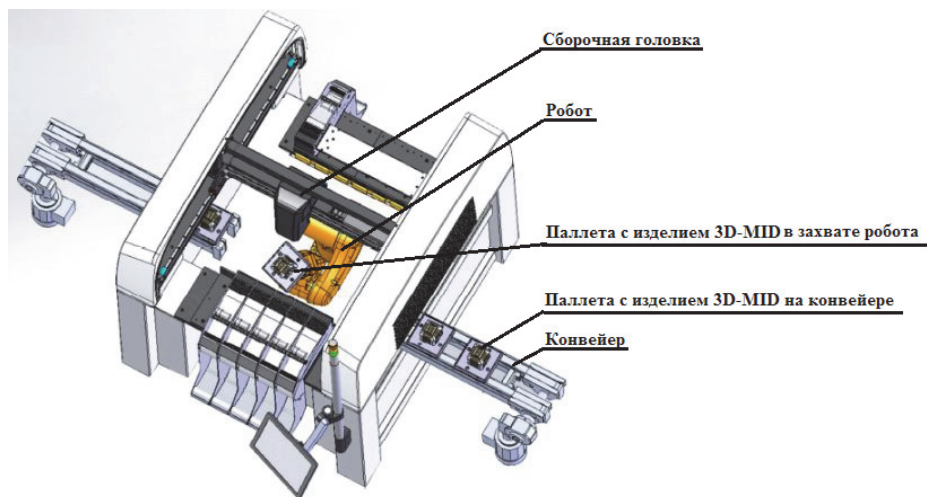
Примером такого подхода служит реализация автомата 3D-установки компонентов в компании Essemtec на основе платформы автоматов Paraquda в сотрудничестве с известной компанией-производителем роботизированных систем KUKA [3]. Схема построения автомата приведена на рис. 8, а.

Устройство 3D-MID устанавливается на паллету, которая перемещается по конвейеру технологической линии и далее — по конвейеру сборочного автомата. Робот, закрепленный на станине автомата и располагающийся под зоной сборки, захватывает паллету с конвейера и подает ее в рабочую зону под головкой дозирования пасты (установки компонентов), поворачивая паллету таким образом, чтобы установочная поверхность была перпендикулярна оси Z перемещения насадки с компонентом или оси наконечника дозатора.

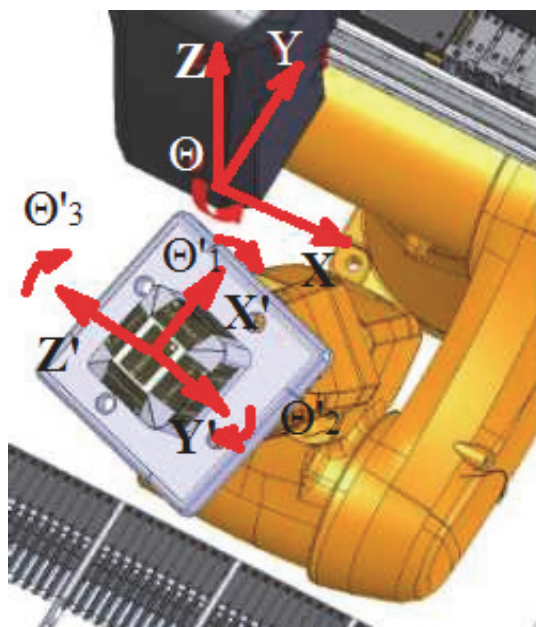
При этом 4 степени свободы (по осям X , Y , Z , θ) обеспечивает традиционная система установки компонентов, а 6 осей — робот, в результате чего появляется возможность реализовать для устройства 3D-MID все степени свободы — поступательное движение по осям X , Y , Z и вращение вокруг них (рис. 8, б) [6, 7, 13, 14].

Система оснащена пневматическим дозатором нанесения паяльной пасты и струйным дозатором нанесения клея, материалов для заливки сверху, покрытий и пр. На одной головке можно установить до двух систем дозирования. Вместо пневматического дозатора может

устанавливаться дозатор шнекового типа. После установки компонента осуществляется отверждение адгезива встроенным в сборочную головку светодиодным устройством УФ-отверждения. Устройство обеспечивает самое большое перемещение по оси Z среди автоматов установки SMD-компонентов — вплоть до 50 мм [3].



а



б

Рис. 8. Автомат 3D-установки компонентов с интегрированным роботоманипулятором:

а — схема автомата; б — система установки компонентов и робот

Для составления управляющих программ автомата предлагается соответствующее программное обеспечение, автоматически создающее программу на основе данных, полученных от специализированного MID-модуля САПР NEXTRA® (рис. 9) [3].



Рис. 9. Модель устройства 3D-MID в САПР NEXTRA (а) и разработанная по данным САПР управляющая программа на экране монитора автомата (б)

Ниже представлены некоторые технические характеристики концепта автомата от компании Essentec:

Производительность:

максимальная скорость установки, компонентов/ч 1000–2500
 время переналадки, мин..... < 15

Точность при 3σ, мкм:

Робота..... ± 20
 системы рагаquda..... 45
 результирующая..... 60

Максимальные размеры монтажного основания, мм..... 300 × 160 × 50

Для обеспечения точности в каждом монтажном слое основания следует предусматривать реперные знаки, как и на традиционных печатных платах.

Активный держатель монтажных оснований, устанавливаемый в стандартный автомат 2D-установки компонентов. Наконец, четвертым из рассматриваемых вариантов является активный держатель монтажных оснований, оснащенный многоосевыми манипуляторами. Он предназначен для модернизации существующих автоматов установки компонентов и устанавливается на конвейер подобно обычной ПП (печатная плата). Манипулятор содержит одну или несколько отдельных позиций для размещения и фиксации устройств 3D-MID при сборке.

Примером такого манипулятора может служить устройство для автомата Siplace HF, спроектированное группой разработчиков из немецкого Университета Александра Фредерика городов Эрланген-Нюрнберг в рамках исследовательского проекта, финансируемого

Ассоциацией 3D-MID e. V. [1]. Схема установки манипулятора на конвейер автомата представлена на рис. 10.

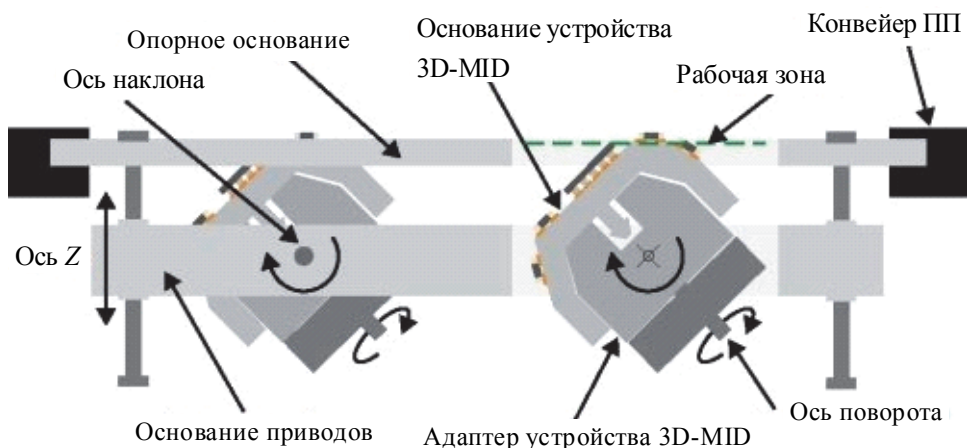


Рис. 10. Схема установки манипулятора на конвейер автомата

Конструкция манипулятора включает два основания — одно перемещается и фиксируется на конвейере автомата, второе служит для размещения приводов (рис. 11) с зубчатыми передачами.

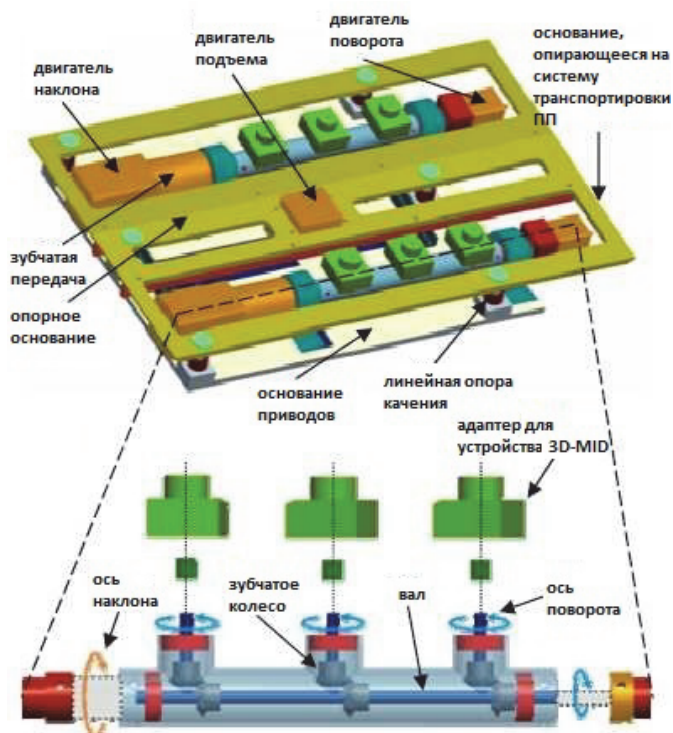


Рис. 11. Конструкция манипулятора

Исполнительная часть манипулятора, таким образом, размещается под конвейером и реализует три степени свободы: наклон вокруг оси X , поворот вокруг оси Z и подъем по оси Z . Реализуемые манипулятором степени свободы обеспечивают сборку на внешней поверхности полусферы без возникновения проблем, связанных со столкновениями с элементами сборочной головки. Манипулятор оснащен контроллером для управления приводами и связи с системой управления автомата. Во время позиционирования манипулятора автомат находится в режиме ожидания либо может осуществлять захват компонентов из питателей.

Манипулятор перемещается по конвейеру автомата установки компонентов и закрепляется в пространстве рабочей зоны автомата с помощью его механизмов фиксации (рис. 12) [1]. Установка устройств 3D-MID в гнезда манипулятора требует применения специальных адаптеров.

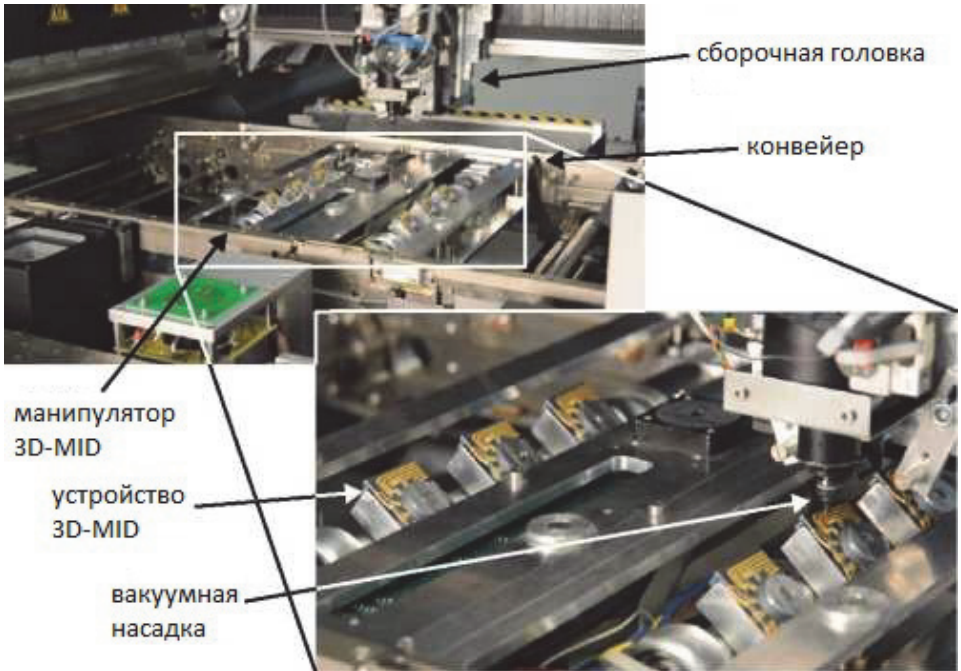


Рис. 12. Манипулятор, зафиксированный на конвейере автомата Siplace HF

Погрешности расположения контактных площадок на монтажном основании, а также погрешности позиционирования устройства 3D-MID с помощью манипулятора могут компенсироваться при наличии реперных знаков на каждом рабочем слое устройства 3D-MID. Разработчики предлагают две различные стратегии применения своего устройства [1].

Стратегия 1. Предварительно на манипулятор устанавливаются адаптеры, в которых размещаются устройства 3D-MID. Затем производится дозирование паяльной пасты и установка компонентов. После этого необходимо вынуть устройства 3D-MID из адаптеров, так как манипулятор не приспособлен к операции пайки оплавлением. Поэтому требуется размещение устройств 3D-MID на дополнительном неактивном держателе, выдерживающем высокие температуры пайки, вплоть до 260 °С. При этом наладка, установка и съем устройств 3D-MID может осуществляться при помощи 6-осевого робота, а увеличение производительности может достигаться использованием нескольких манипуляторов. Недостатком данной стратегии является дополнительный этап манипулирования объектами с использованием роботов, необходимость применения нескольких манипуляторов для совмещения временных циклов наладки и сборки, что влечет за собой значительные затраты.

Стратегия 2 предусматривает наличие многофункционального автомата, выполняющего все перечисленные выше функции, вследствие чего необходим только один манипулятор, располагающийся в автомате. Однако установка и съем устройств 3D-MID должны осуществляться в этом случае с помощью самого сборочного автомата, что в большинстве случаев потребует наличия в его конструкции механического захватного устройства для манипулирования деталями сложной формы, которым можно оснастить далеко не каждый стандартный автомат установки компонентов.

Вместе с тем для реализации обеих стратегий необходимо наличие инструментальной среды CAD/CAM, которая автоматически бы составляла управляющую программу для автомата на основе данных о монтажном основании 3D-MID, адаптере и компонентах.

Сравнение рассмотренных вариантов. Несомненными достоинствами варианта с применением 6-осевых роботов в составе производственной линии являются высокая гибкость при сборке изделий однородной номенклатуры, комплексный подход к реализации техпроцесса, единая система фиксации и транспортировки изделий.

Вместе с тем следует отметить, что при выпуске широкой номенклатуры изделий гибкость линии может оказаться недостаточной, в результате чего потребуются ее длительная и затратная переналадка. Также необходимо принимать во внимание сравнительно малую производительность и точность роботов относительно специализированных автоматов установки компонентов [15, 16].

При данной реализации техпроцесса робот дозирует пасту и устанавливает компоненты в общем случае под углом к вертикали, вследствие чего на точность как дозирования, так и установки компонентов начинает оказывать влияние гравитация. Это затрудняет

качественную сборку вследствие возможного смещения доз пасты и уже установленных компонентов, если они не устанавливались на клей с последующим его отверждением [17].

Помимо этого, эксплуатация и программирование многоосевых роботов имеют свои особенности и могут быть непривычны для специалистов, работающих по традиционным технологиям.

Рекомендовать такой вариант можно производителям, которые собирают относительно крупные партии изделий с небольшими вариациями конструкции и не планируют организацию многономенклатурного мелкосерийного производства. Вариант с 6-осевыми роботами будет особенно выгоден при наличии операций механической сборки, монтажа разъемов и кабелей, а также контроля, которые можно реализовать в составе этой же производственной линии.

Модульный автомат с опциональным 3D-держателем может с успехом применяться для решения специализированных задач, включая, например, установку компонентов на гибкие платы, сборку многокристальных MEMS-модулей, установку компонентов flip chip и пр. [7]. Системы такого рода имеют высокую производительность и точность установки. Однако для реализации этого решения необходимы инвестиции в достаточно дорогое и сложное оборудование.

Наиболее полно такое оборудование проявит себя на высокотехнологичном производстве. Оно сочетает разнообразные операции микросборки изделий электроники и оптоэлектроники, вплоть до работы непосредственно с бескорпусными кристаллами и полупроводниковыми пластинами, где одной из задач будет высокоточная установка компонентов поверхностного монтажа на устройства 3D-MID.

Основные преимущества варианта со встроенным в стандартный 2D-автомат многоосевым роботом заключаются в следующем:

- эксплуатация и программирование 3D-автомата сходны с обычным 2D-оборудованием;
- могут использоваться те же самые питатели компонентов, запасные части, СТЗ, оснащение и программное обеспечение по установке компонентов;
- сохраняется вертикальная ориентация головок установки компонентов и дозирования, вследствие чего существующие решения могут быть перенесены на новую операцию;
- высокая производительность.

Главным недостатком варианта является необходимость инвестиций в новое оборудование — модифицированное по конструкции и с доработанной системой управления. Это может оказаться затруднительным для небольших компаний-производителей с ограниченным бюджетом.

Потребителем таких решений видится достаточно крупная компания, которая может позволить себе приобрести дополнительное оборудование для реализации своего портфеля проектов/заказов на сборку исключительно устройств 3D-MID, либо компания, модернизирующая или заменяющая свой парк устаревшего оборудования и параллельно с этим желающая расширить его функциональные возможности под новое направление сборки или на возможную перспективу.

Преимущества варианта с активным держателем оснований заключаются в использовании существующего оборудования, относительно низких капитальных вложениях, малом вмешательстве в конструкцию автомата, поддержании заявленного для 2D-установки уровня производительности.

Вместе с тем необходимо отметить зависимость системы управления манипулятором и его конструкции от конкретной модели оборудования, что, скорее всего, потребует различных исполнений манипулятора для разных моделей автоматов. Также возможны трудности при использовании типовых установок загрузки/выгрузки вследствие большей массы и высоты манипулятора по сравнению со сборками на печатных платах, большого объема ручных подготовительных операций.

Такой манипулятор может быть применен в небольших компаниях, которые не ставят во главу угла производительность и полную автоматизацию сборочного процесса, но обладают устраивающей их моделью автомата установки компонентов и желают расширить его функциональные возможности до сборки небольших партий изделий 3D-MID.

Заключение. Возрождающийся в последние годы интерес к технологии 3D-MID привел к развитию соответствующих технологий и сборочного оборудования. Уже выпускаются или готовятся к серийному производству устройства 3D-MID с самой современной элементной базой — светодиодами, бескорпусными кристаллами с разваркой проволочных выводов, компонентами flip chip со столбиковыми выводами (традиционными золотыми и полимерными литыми, выполненными на поверхности самого устройства 3D-MID) [18, 19]. Производители оборудования, видя растущий интерес разработчиков электроники к данной технологии, начинают предлагать новые сборочные решения и адаптировать существующие технологии сборки к новым задачам.

Среди современных концепций установки компонентов на трехмерные монтажные основания пока нет очевидного лидера. Далеко не для каждого производителя экономически оправданным будет решение по организации полноценной сборочной линии, оснащенной

промышленными многоосевыми роботами. Однако при серийном производстве решения с применением оснастки в виде устанавливаемых на конвейер манипуляторов могут не оправдать себя с точки зрения затрат времени на переналадку [20]. Приобретение нового специализированного оборудования может стать компромиссным решением между двумя описанными вариантами, но повлечет необходимость капиталовложений, которые могут оказаться значительными с учетом высоких технологий, заложенных в это довольно сложное оборудование.

Тем не менее вовлеченность большого числа научных и производственных компаний и их специалистов в работы над данной темой, а также быстрота появления новых решений позволяют надеяться на хорошее будущее технологии 3D-MID с точки зрения сборочного оборудования и дальнейшее расширение выбора гибких и производительных автоматов для сборки устройств 3D-MID.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Pfeffer M., Goth C., Craiovan D., Franke J. 3D-Assembly of Molded Interconnect Devices with standard SMD pick & place machines using an active multi axis workpiece carrier. *2011 IEEE Int. Symposium on Assembly and Manufacturing (ISAM)*. May, 2011, pp. 1–6. URL: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=5942362 (дата обращения 11.10.2011).
- [2] *MID-Technology*. Universität Stuttgart, Institut für Zeitmeßtechnik, Fein- and Mikrotechnik. URL: http://www.imtek.de/avt/content/upload/vorlesung/2007/mid_technology.pdf (дата обращения 11.10.2011).
- [3] EssemSol. A Division of Essemtec AG. URL: http://www.fed.de/downloads/FED_Tagung_27.1.2011_-_3D_MID_Dispenser_Bestuecker.pdf (дата обращения 11.10.2011).
- [4] Dr. Jens Krause, Dr. David Moser, HARTING Mitronics AG. 3D-MID – Multifunctional Packages for Sensors in Automotive Applications. *10th Int. Forum on Advanced Microsystems for Automotive Applications*. Берлин, 25–27 апреля 2006 г. URL: http://www.amaa.de/previous/amaa_2006/Presentations_2006/2-3-03_Moser.pdf (дата обращения 11.10.2011).
- [5] *Manufacturing of Molded Interconnect Devices from Prototyping to Mass Production with Laser Direct Structuring*. URL: http://www.lpkf.cn/_media/files/1277-mechatronic-component-for-automatic-steering-wheel.pdf (дата обращения 11.10.2011).
- [6] Forschungsvereinigung 3-D MID e.V. e. V. Innovationen im Netzwerk forcieren. URL: http://www.3d-mid.de/cms/upload/aktuelles/informationen/Herzlich_Willkommen_in_unserem_Netzwerk.pdf (дата обращения 11.10.2011).
- [7] Vectra® LCP in new climate sensors from Hella. URL: <http://www.ticona.com/news-details?id=12320> (дата обращения 11.10.2011).
- [8] XENON Automatisierungstechnik GmbH. *3D-MID Onsertion and Assembly Lines*. URL: <http://www.xenon-dresden.de/index.php?iL=2&FNDLR=Flyer%203D%20MID%20Produktgruppen&PHPSESSID=79iear3gmm1va2r74mmu34lucp73nvtf> (дата обращения 11.10.2011).
- [9] XENON Automatisierungstechnik GmbH. *Modular Production Lines for Onsertion, Inspection and Final Assembly of MID Mechatronic Parts*. URL:

- http://www.xenon-dresden.de/index.php?iL=2&FNDLR=flyer_3d_mid&PHPSESSID=79iear3gmm1va2r74mmu34lucp73nvtf (дата обращения 11.10.2011).
- [10] Häcker Automation GmbH. *Multi Chip & 3D Micro Assembly System VICO 520 M*. URL: http://www.haecker-automation.de/fileadmin/user_upload/Datenblaetter/englisch/520M_e.pdf (дата обращения 11.10.2011).
- [11] Häcker Automation GmbH. *3D Micro Assembly of Molded Interconnect Devices (3D-MID)*. URL: http://media.nmm.de/70/haeckerautomationgmbh_24445970.pdf (дата обращения 11.10.2011).
- [12] Häcker Automation GmbH. 3D-MID. Application Note. URL: http://www.haecker-automation.de/fileadmin/user_upload/Datenblaetter/HaeckerAutomation_3D-MID.pdf (дата обращения 11.10.2011).
- [13] Willeck H. HSG-IMAT. A new method for directly determining the adhesive strength of conductors on micro structured MID. *Conference on Multi-Material Micro Manufacture*. Borovets, Bulgaria, October, 3–5, 2007. URL: <http://www.4m-net.org/files/papers/4M2007/363765/PID363765.pdf> (дата обращения 11.10.2011).
- [14] Нестеров Ю.И., Власов А.И., Першин Б.Н. Виртуальный измерительный комплекс. *Датчики и системы*, 2000, № 4, С. 12–22.
- [15] Hahn-Schickard-Institut für Mikroaufbautechnik (HSG-IMAT). SMD on MID. URL: http://www.imat.hsg-imit.de/fileadmin/hsg-imat/pdfs/Flyer_P07V080523_SMD.pdf (дата обращения 11.10.2011).
- [16] Курносенко А.Е., Иванов Ю.В. Программный комплекс «Контур» для проектирования роботизированных комплексов сборки электронной аппаратуры в многономенклатурном производстве. *«Инженерный вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана»*, 2013, № 03. URL: <http://engbul.bmstu.ru/doc/548375.html> (дата обращения 01.04.2013).
- [17] Mounting LEDs in all Directions and Angles. Assembly Technology for LEDs on 3D-MID. URL: <http://www.led-professional.com/products/led-production-test-equipment/mounting-leds-in-all-directions-and-angles>
- [18] Hahn-Schickard-Institut für Mikroaufbautechnik (HSG-IMAT). Bare Die Assembly on 3D-MID. URL: http://www.imat.hsg-imit.de/fileadmin/hsg-imat/pdfs/Flyer_P06V080523_Bare_Die.pdf (дата обращения 11.10.2011).
- [19] Курносенко А.Е. Точность и повторяемость автоматов поверхностного монтажа компонентов. *Труды X Международной молодежной научно-технической конференции учащихся, студентов, аспирантов и молодых ученых «Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы – 2008»*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008, т. 2, С. 125–129.
- [20] 3D-MID: области применения и технологии. Антон Нисан, ЗАО Предприятие Остек. URL: <http://www.ostec-group.ru/data/publication/item/51/3D-MID.pdf> (дата обращения 11.10.2011).

Статья поступила в редакцию 28.06.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Камышная Э.Н., Курносенко А.Е., Иванов Ю.В. Системный анализ 3D-MID технологий. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 11. URL: <http://engjournal.ru/catalog/it/hidden/1047.html>

Камышная Эмилия Николаевна — канд. техн. наук, доцент кафедры «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Специалист в области автоматизированного проектирования электронных средств. Ведет разделы курса «Основы автоматизированного конструкторско-технологического проектирования электронных средств». e-mail: mario7@inbox.ru

Курносенко Алексей Евгеньевич — старший преподаватель кафедры «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Специалист в области САПР и автоматизации производства электронных средств. Ведет курсы «Конструкторское проектирование электронных средств» и «Параметрические САПР». e-mail: a.kurnosenko@gmail.com

Иванов Юрий Викторович — д-р техн. наук, профессор кафедры «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Специалист в области автоматизации производства электронных средств. Ведет курс «Автоматизация проектирования электронной аппаратуры». Автор 5-томной фундаментальной монографии «Теория и практика автоматизации производства электронной аппаратуры». e-mail: ivanoviu4@yandex.ru