

«Умный» участок мелкосерийной сборки: максимум гибкости, быстрая переналадка, точный учет

Визит на сборочно-монтажное производство АО «НИИ ТМ»

Ю. Ковалевский, В. Мейлицев

Не секрет, что для отечественной электронной промышленности достаточно типичными являются сборочные производства, тесно связанные с разработкой. Эти производства занимаются изготовлением многочисленных прототипов и выпуском ограниченных партий изделий при том, что запуск новой партии данного изделия может произойти через месяцы и даже годы. Одним из производителей оборудования, ориентированного именно на опытные и мелкосерийные производства, является швейцарская компания Essemtec, которая развивает линию многофункциональных сборочных автоматов, совмещающих функции нанесения паяльного материала и установки компонентов на печатное основание.

В России такая техника пока встречается нечасто, и так же нечасто встречается опыт автоматизации взаимодействия между сборочным и складским оборудованием. Тем интереснее для нас было посетить Научно-исследовательский институт точной механики, где создана и функционирует линия поверхностного монтажа, в которой автоматизированный склад и сборочный центр Essemtec Puma интегрированы в решение СКЛАД 4.0, разработанное компанией «Остек-СМТ».

Разговор начался в кабинете главного инженера АО «НИИ ТМ» Максима Викторовича Вайнштейна.



Максим Вайнштейн

Максим Викторович, расскажите, пожалуйста, о предприятии, о продукции, для выпуска которой предназначена внедренная у вас автоматическая линия поверхностного монтажа.

Научно-исследовательский институт точной механики был образован 20 марта 1947 года для проектирования и производства радиоэлектронных устройств и систем в интересах оборонно-

го комплекса страны. Начиная с середины 1990-х годов предприятие освоило выпуск гражданской продукции. Сейчас основными направлениями в этом секторе являются комплексная система обеспечения

безопасности и автоматизированного управления движением поездов метрополитена «Движение» и автоматизированная система управления наружным освещением городов «Аврора», развиваемая в рамках проекта «Умный город».

Сейчас, в связи с задачами по диверсификации оборонно-промышленного комплекса, вы планируете наращивать гражданскую составляющую вашего производства?

Безусловно. Мы ведем работу практически во всех городах, где существует метрополитен, и не только в российских, но и в Минске, Ташкенте; наши системы управления наружным освещением работают и продолжают устанавливаться по всей стране.

Ваше предприятие занимается и разработкой, и производством?

Основная задача предприятия – разработка, а при тех объемах заказов, которые характерны для наших

систем, мы сами справляемся с их производством. У нас реализован полный производственный цикл – от механической обработки металлического проката до финишной прецизионной сборки, настройки, испытаний, а также гарантийного и постгарантийного сопровождения изделий.

Как вы пришли к выводу о необходимости автоматической линии поверхностного монтажа?

Мысль о том, что нам надо уходить от ручного монтажа, появилась примерно три года назад. Причины понятны: меняется компонентная база, расширяется функционал электронных устройств, их габариты уменьшаются, плотность компоновки растёт, и собирать их вручную становится всё труднее.

Первоначально в 2018 году был приобретен достаточно скромный комплект оборудования в составе системы дозирования Dispence Master, манипулятора Powatec и печи оплавления RO300FC. Получив первый опыт в технологии поверхностного монтажа, мы поняли, что нужен полноценный участок, на который приходят компоненты и печатные основания, а выходят собранные, функционально законченные, залакированные платы, готовые к дальнейшему монтажу.

В такой конфигурации мы его и создали в 2020 году. Начинается участок с автоматизированного склада, дальше по технологической цепочке идет загрузчик печатных оснований, сборочный центр (установщик компонентов плюс дозировщик паяльной пасты), печь оплавления, разгрузчик, модуль отмывки и установка нанесения влагозащиты. Рядом оборудованы рабочие места для ручного монтажа компонентов со штыревыми выводами, которые невозможно поставить на автомате, а в дальнейшем мы планируем установить систему селективной пайки, чтобы максимально исключить из процесса ручной труд, а также оснастить участок рентгеном

и автоматической оптической инспекцией для контроля качества продукции.

Наличие автоматизированного склада – это не совсем обычно для участка мелкосерийной сборки. Почему вы решили, что он вам нужен?

Автоматизированный склад, работая в составе решения СКЛАД 4.0, созданного компанией «Остек-СМТ», ускоряет и облегчает процессы, связанные с хранением и контролем расхода комплектующих, готовит комплектацию для автомата-установщика по правилу «раньше пришел – раньше ушел», формирует заявку на компоненты, запас которых скоро закончится, и во всем этом минимизирует человеческий фактор, то есть вероятность ошибки. И, конечно, в первую очередь этот склад – хранилище, в котором постоянно поддерживается температурно-влажностный режим, необходимый для длительного хранения электронных компонентов, в том числе чувствительных к влаге, с возможностью ведения истории хранения по каждому элементу – сколько времени и в каких климатических условиях находился и т. д.

Судя по условиям хранения, можно сделать вывод, что к выпускаемому вами оборудованию предъявляются высокие требования по надежности.

Требования, безусловно, очень высокие, ведь наше оборудование отвечает за безопасность движения. И не только в метрополитене, где наша система непосредственно управляет движением поездов. Освещение улиц, мостов, скоростных дорог, портов, терминалов – всё это тоже безопасность.

С другой стороны, условия эксплуатации весьма жесткие: туннели метро с их высокой влажностью, интенсивным воздействием внешних электромагнитных полей; городские улицы, где морозы, роса, дожди и снег...



Первый комплект оборудования для поверхностного монтажа: а – система дозирования Dispence Master DD-500 (DIMA, Нидерланды); б – манипулятор Powatec (Essemtec, Швейцария); в – конвекционная печь RO300FC с тремя зонами нагрева и одной зоной охлаждения (Essemtec)

Автоматизированный склад выдает компоненты под проект?

На диспетчерский компьютер поступает заказ-наряд, из которого извлекается спецификация изделия. В соответствии с ней склад проверяет, какие из требуемых компонентов в данный момент уже находятся в установщике, а какие надо выдать. Обмен данными между складом и установщиком идет постоянно. Как происходит роботизированная выдача компонентов, посмотрим непосредственно на участке.

Есть ли у вас система ERP, установлена ли связь склада с ней?

У нас внедрена система управления предприятием «Галактика ERP», и сейчас наши инженеры во взаимодействии со специалистами «Остек-СМТ» ведут отладку связи между ней и складом.

Почему вы выбрали для сотрудничества в проекте компанию «Остек-СМТ»?

«Остек-СМТ» – наш давний партнер. В реализации данного проекта компания оказалась для нас наиболее привлекательной потому, что помогла полностью сконфигурировать линию, отработать проектный материал в части компоновки производственного помещения, подробно осветила возможности предложенного оборудования. На этапе выбора оборудования мы не только ознакомились с документацией, но и смогли оценить его вживую в демонстрационном зале «Остек-СМТ». Плюс – мы получили весь комплекс необходимых услуг: техническое и технологическое сопровождение, гарантийные и постгарантийные обязательства, обеспечение расходными материалами. Также хотим отметить быструю и высококвалифицированную работу специалистов компании-партнера.

Как была построена работа – вы выдали сформированное ТЗ, или ваши пожелания были выражены в более общем виде?

Конкретных требований вначале было немного. Основными из них были мелкосерийность, высокая плотность монтажа и гибкость производственной линии – возможность быстрой, с небольшими простоями, переналадки оборудования на другое изделие.

Много времени потребовалось на пусконаладку?

На реализацию проекта ушел почти год. За это время мы закрыли участок ручного монтажа и восстановили его на новом месте, сделали ремонт в том помещении, которое освободили под линию. Сами пусконаладочные работы прошли в течение месяца.

Поставка оборудования и пусконаладочные работы велись четко по согласованному графику. Поставка

прошла в конце февраля, за март всё было расставлено, подключены необходимые инженерные коммуникации, завершён запуск. Всё это время на площадке находился сервисный инженер «Остек-СМТ», который провел инструктаж и обучение персонала, настроил линию и взаимодействие между складом и установщиком. В течение апреля мы уже сами налаживали свой технологический процесс, писали программы, обращаясь за консультациями к специалистам партнера по мере необходимости. С конца апреля линия выпускает продукцию в штатном режиме.

Как часто требовалась с тех пор помощь от «Остек-СМТ»?

Сложностей у нас не возникало – партнеры отлично сделали свою работу. Мы периодически связываемся с ними для получения удаленных консультаций, необходимости в приезде сервисного инженера не было ни разу.

Одно из ваших требований состояло в быстрой переналадке оборудования. Как себя проявляет участник с этой точки зрения?

Проблем с переналадкой у нас нет. Что включает в себя переналадка? Необходимо загрузить программу сборки нового изделия; поместить в загрузчик печатные основания; заменить часть питателей компонентов. В наш сборочный автомат можно установить 180 номиналов компонентов. Плат с таким обширным перечнем элементов у нас нет, кроме того, на месте остаются питатели с наиболее употребляемыми компонентами – это заметно экономит время. Остается провести минимальную отладку процессов нанесения паяльной пасты и установки компонентов, и переналадка завершена.

У «Остек-СМТ» есть такие решения, как «Умная линия» и «Умное рабочее место». Задумывались ли вы о том, чтобы внедрить эти решения у себя?

Да, мы знакомы с этими продуктами, и мысли о внедрении есть, но это вопрос не сегодняшнего дня, а скорее недалекого будущего. Любое развитие должно идти поэтапно, иначе можно упустить, не учесть какие-то важные моменты. Мы убедились в этом в ходе установки линии: пришлось менять многие подходы, в том числе и перестраивать некоторые операции технологического процесса. Поэтому сначала мы закончим отработку взаимодействия с ERP, а после этого приступим к обсуждениям и формированию ТЗ на следующие этапы – «Умную линию» и «Умное рабочее место». Данные решения полностью вписываются в концепцию цифровизации нашего производства и позволят нам обеспечить рост эффективности производства и усилить контроль качества выпускаемой продукции.

У вас введена система менеджмента качества?

Да, введена СМК 9001, и теперь перед нами стоит задача полностью переработать стандарты, относящиеся к закупке и производственно-технологическому циклу. Раньше стандартами СМК были описаны бизнес-процессы, соответствующие ручному монтажу, но внедрение автоматической линии сопряжено с появлением технологических операций, которые требуют изменения бизнес-процессов – и закупки, и входного контроля, и контроля качества выполнения операций на этапе производства.

Далее экскурсию по новому участку поверхностного монтажа провел начальник цеха Сергей Александрович Мельников.

Сергей Александрович, участок поверхностного монтажа начинается с автоматизированного склада, расскажите о нем подробнее.

Склад состоит из двух интеллектуальных систем хранения, в которых каждая единица хранения имеет свою ячейку с уникальным номером. Первый шкаф, ISM500, используется для хранения компонентов в различных упаковках, как для поверхностного монтажа, так и выводных. Второй шкаф – ISM1800 ULTRAFLEX. Это роботизированная система хранения компонентов, упакованных в ленты. Катушки могут иметь диаметр от 7 до 12 дюймов; вместимость системы зависит от количества хранимых катушек разного диаметра и может достигать 1838 шт.

Каким образом компонент привязывается к ячейке при закладке на хранение?

Для идентификации компонентов служат этикетки со штрихкодом. У нас пока не до конца налажена связь с ERP, поэтому сейчас информация о компоненте вводится в базу данных через компьютер на рабочем

Автоматизированный склад:

а – интеллектуальная система хранения ISM500 компании Essegi Automation (Италия); б – ISM500, ячейки с индикаторами; в – роботизированный склад ISM1800 ULTRAFLEX того же производителя

месте склада. Управляющая программа присваивает упаковке уникальный номер и печатает этикетку, которая наклеивается на упаковку. При закладке в систему ISM500 оператор при помощи мобильного терминала сканирует этикетку на упаковке, затем штрихкод той ячейки, которую он собирается использовать, – таким образом компонент привязывается к ячейке, и вся



Сергей Мельников



система «об этом знает». Когда требуется извлечь тот или иной компонент, программа указывает оператору нужную ячейку при помощи светодиодных индикаторов.

С роботизированной системой ISM1800 работать еще проще. Она имеет встроенный считыватель штрихкодов, а главное – сама выбирает место хранения. Поэтому при закладке на хранение достаточно просто положить катушку в окно приема / выдачи, а при извлечении система сама выложит в то же окно катушку, «заказанную» программой.

Оба шкафа имеют антистатическое исполнение и могут поддерживать внутреннюю атмосферу с относительной влажностью менее 5%.

Почему вы называете вашу систему хранения «умным складом»?

Решение СКЛАД 4.0 обеспечивает полную информационную интеграцию системы хранения и автомата-установщика в реальном времени. По завершении цикла монтажа склад обращается к установщику и собирает информацию по каждому из питателей: сколько компонентов взято, сколько установлено, сколько сброшено. На основании этих данных автоматически происходит обновление информации об остатке компонентов на складе. В процессе сборки контролируется остаток компонентов в питателях, и, когда он становится ниже заданного значения, оператор получает указание, какой питатель нужно дозарядить, а шкафы подготавливают выдачу компонента. Когда же к концу подходит запас компонента на самом складе, программа извещает службу закупки о необходимости его пополнения.

Таким образом, СКЛАД 4.0 обеспечивает сокращение простоев линии, точный учет наличия и движения комплектующих, поддержание необходимого для бесперебойной работы объема типонаименований в цеховом

хранилище и сведение практически к нулю ошибок операторов сборочной линии и персонала склада. По окончании интеграции с системой «Галактика ERP» функционал системы СКЛАД 4.0 будет реализован полностью, возрастет степень автоматизации и прозрачность оборота комплектующих.

Почему вы сделали такой выбор – многофункциональный автомат Essemtec Puma, совмещающий нанесение паяльной пасты и установку компонентов, – вместо традиционного сочетания трафаретной и сборочной машин?

У нас большая номенклатура, более 500 различных изделий, при этом в месяц мы делаем 10–15 изделий, в сумме примерно 100 плат. При таком сочетании номенклатуры и серийности приобретать оборудование для трафаретной печати и потом делать трафарет для каждого вида платы – это и плохая экономика, и затягивание сроков изготовления.

Не является ли производительность дозатора «узким горлом» всей сборки?

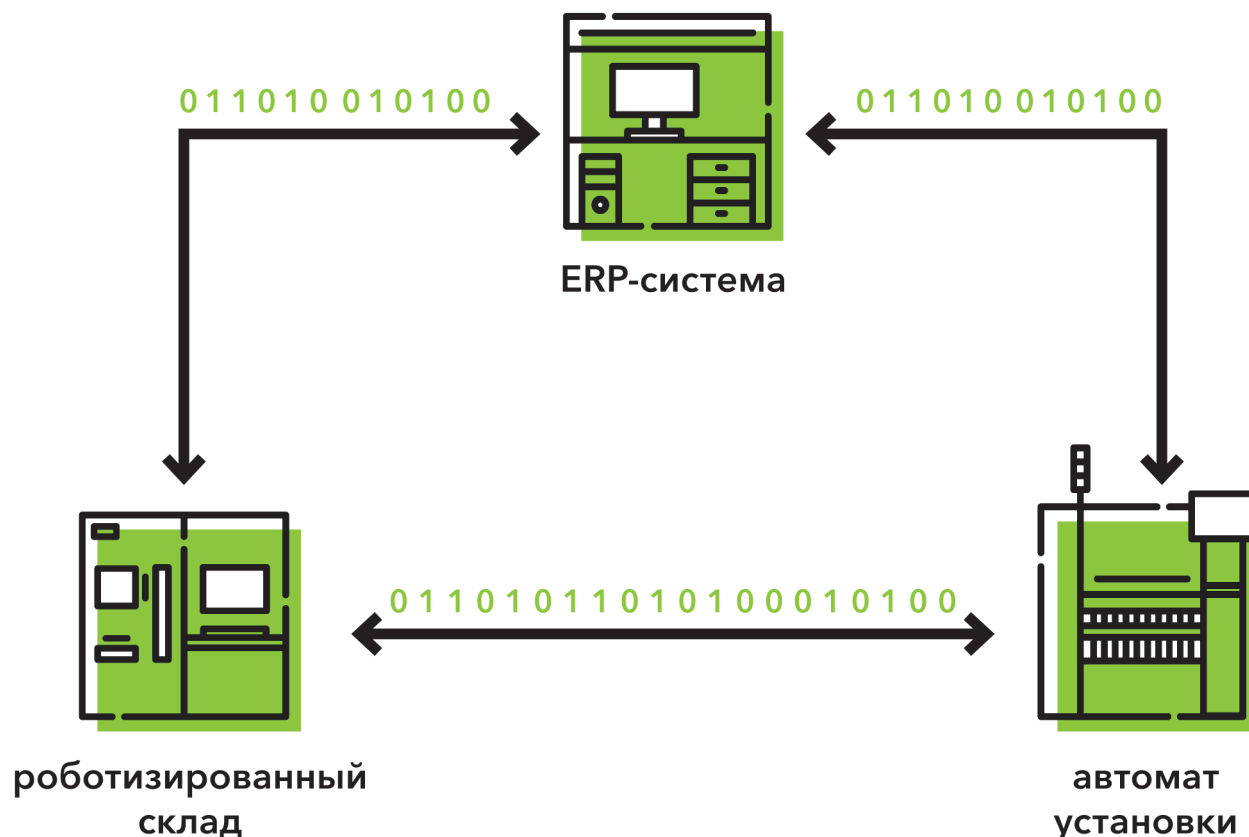
Производительность процесса дозирования, действительно, сравнительно невелика: две монтажные головы автомата с двумя инструментами каждая обеспечивают практическую скорость установки 11 тыс. комп. / ч, а дозатор – порядка 8 тыс. доз в час. Мы используем шнековый дозатор – каплеструйный работает быстрее, но у шнекового лучше точность. Сегодня мы устанавливаем компоненты типоразмера 0402, и это не предел возможностей дозатора. Этим, кстати, объясняется и сравнительно большая длительность процесса дозирования: насадка, способная работать с компонентами 0201, при необходимости заполнения больших контактных площадок, а тем более полигонов, должна



Универсальный сборочный центр Essemtec Puma: а – общий вид; б – рабочая зона и питатели

Склад 4.0

Комплексное решение
для цифрового сборочного производства



Узнать больше

Соответствие концепции «Индустрия 4.0»

- 100% учет и контроль комплектующих
- Управление запасами Just-in-Time
- Сокращение простоев линии до 70%
- Сведение к нулю числа ошибок оператора
- Исключение брака из-за нарушений при хранении

выполнить множество циклов, чтобы нанести требуемый объем материала.

Производительность автомата Essemtec Puma нас вполне устраивает и, думаю, будет устраивать достаточно долго. Кроме того, у этой машины есть целый ряд полезных особенностей. Так, она оснащена системой контроля электрических параметров пассивной компонентной базы. Ее LCR-метр, построенный на базе контроллера измерителя иммитанса Rohde & Schwarz HM8118, способен измерять сопротивление, емкость, индуктивность, а также проверять полярность диодов, что существенно снижает вероятность ошибки при установке компонентов.

Можно еще отметить, что сборочный центр Essemtec Puma интересен своей модульностью. На его подвижной платформе имеются три посадочных места, в которые может быть установлен любой набор из трех агрегатов – дозаторов различного типа и монтажных блоков с двумя захватами каждый. Эта гибкость может сыграть свою роль в будущем, при дальнейшем развитии нашего сборочно-монтажного производства.

Наконец, очень удобно то, что этот многофункциональный автомат управляется единой программой, и оператору не нужно отдельно обучаться работе с дозатором и монтажным автоматом.

Чем определяется порядок перемещений дозатора между точками нанесения, величина доз для различных типов корпусов?

Маршрут движения дозатора Essemtec Puma строит автоматически. При желании можно запрограммировать свой вариант, однако практика показывает, что маршрут, формируемый автоматом, оптимален.

Дозы мы программируем сами, и чем больше работаем, тем лучше понимаем, как это надо делать. Подтвержденные опытом дозы привязываются к типу корпуса и сохраняются для последующего применения.

Как организована система технического зрения установки Essemtec Puma?

Одна камера установлена на подвижной платформе, ее задача – считывание реперных знаков. В установке компонентов принимают участие три неподвижных камеры. Две из них предназначены для центрирования «на лету» компонентов размером до 33×33 мм, третья – для центрирования крупных компонентов с размерами либо до 80×80 мм, либо до 33×150 мм. Выбор камеры машина производит автоматически.

Применяется ли клей при установке компонентов на платах двухстороннего монтажа?

Нанесение клея мы производим на дозаторе Dispence Master, и эта операция требует паузы в процессе монтажа на линии: она проводится после нанесения паяльного материала, так что плату надо извлекать из автомата-установщика, ставить в дозатор, а потом возвращать в линию для сборки и оплавления. Наши разработчики уже достаточно вникли в технологические тонкости поверхностного монтажа и стараются свести к минимуму использование массивных компонентов на двусторонних платах. Однако приклеивать компоненты всё же приходится, поскольку есть случаи, когда этого прямо требует конструкторская документация.

Как много времени занимает подготовка к запуску нового, ранее не изготовлявшегося изделия?

От конструктора документация поступает в отдел производства печатных плат, где готовятся Gerber-файлы. Полученные файлы pick and place мы проверяем, выявляем ошибки; на это, конечно, уходит время. Что же касается собственно подготовки к запуску в изготовление, то весь процесс от получения файла pick and place до старта машины занимает не более 2,5–4 ч, в зависимости от сложности и плотности печатного монтажа.

Расскажите о печи оплавления.

Конвекционная печь ERSA Hotflow 4/14 имеет семь зон нагрева, две зоны охлаждения, в каждой зоне температура устанавливается отдельно над конвейером и под ним. Точность



Конвекционная печь ERSA Hotflow 4/14

установки температуры составляет 1° между зонами, стабильность температурного режима также $\pm 1^\circ$, есть возможность управлять мощностью конвекторов, регулируя поток воздуха независимо в каждой зоне. Это дает возможность выстроить гибкий температурный профиль и не иметь проблем с его поддержанием. Термопрофили отработаны и предустановлены производителем, при этом есть возможность создания своего уникального профиля, если возникает такая необходимость.

Выполняете ли вы бессвинцовую пайку?

Да, мы используем такой режим для установки компонентов в корпусах BGA. Они паяются без использования паяльной пасты, а остальная плата паяется свинецсодержащим материалом – такова специфика элементной базы изготавливаемых устройств. Применяемые у нас свинецсодержащие пасты позволяют повысить температуру до значений, необходимых для пайки BGA, не ухудшая качества остальных соединений, которые оплавляются в том же цикле.

Какое финишное покрытие применяется на ваших платах?

Иммерсионное олово. Это обусловлено как раз применением дозатора, для которого критична неровность поверхности. Наиболее распространенный тип покрытия – горячее лужение – в данном случае не подходит: для него ГОСТ допускает наплывы высотой до 0,2 мм, и игла дозатора может просто разрушиться, натываясь на них.

Чтобы покрытие не окислялось, мы храним платы в шкафу ISM500. При том, что в документации производителя указана гарантированная минимальная относительная влажность не более 5%, на практике удается поддерживать ее уровень в пределах 1%.

Следующий процесс – отмывка

Мы используем модуль струйной отмывки miniSWASH. Модуль имеет два подогреваемых резервуара. Первым к рабочей зоне подключается резервуар с промывочной жидкостью Vigon, после отмывки жидкость сливается, с платы сдуваются ее остатки. Затем рабочая зона переключается на второй резервуар – с дистиллированной водой. Производится ополаскивание, вода также сдувается, и на выходе мы получаем чистую сухую плату.

Важной особенностью модуля является встроенный контур деионизации воды перед подачей в рабочую камеру. Контур включается в работу,

когда измеренная проводимость воды превышает 5 мкСм. Для поддержания чистоты жидкостей служит система фильтров. Когда концентрация загрязнений достигает предела допустимых значений, жидкости сливаются и утилизируются. Это очень удобно: нет необходимости подключаться к внешним системам водоснабжения, водоотведения и водоподготовки – кроме электричества и сжатого воздуха, этой установке ничего не нужно.

Как вы осуществляете влагозащиту своих изделий?

Установка селективной влагозащиты ASYMTEK SL-940 оснащена тремя инструментами. Один из них – распылитель для покрытия целиком всей платы. Второй, обладая четырьмя степенями свободы, выполняет функцию выборочного напыления, обходя зоны, в которых покрытие наносить не нужно. Третий инструмент формирует защитную маску, нанося материал покрытия на заданные точки и контуры.

Все процессы полностью автоматизированы, вытяжка удаляет вредные пары и взвеси. Фольга, которой закрыты некоторые элементы конструкции внутри рабочей зоны, – это, как сейчас говорят, лайфхак, причем от производителя: лак иногда разбрызгивается, расплескивается, и без фольги рабочая зона машины через несколько месяцев стала бы похожей на стол лакировщика в мебельной мастерской.

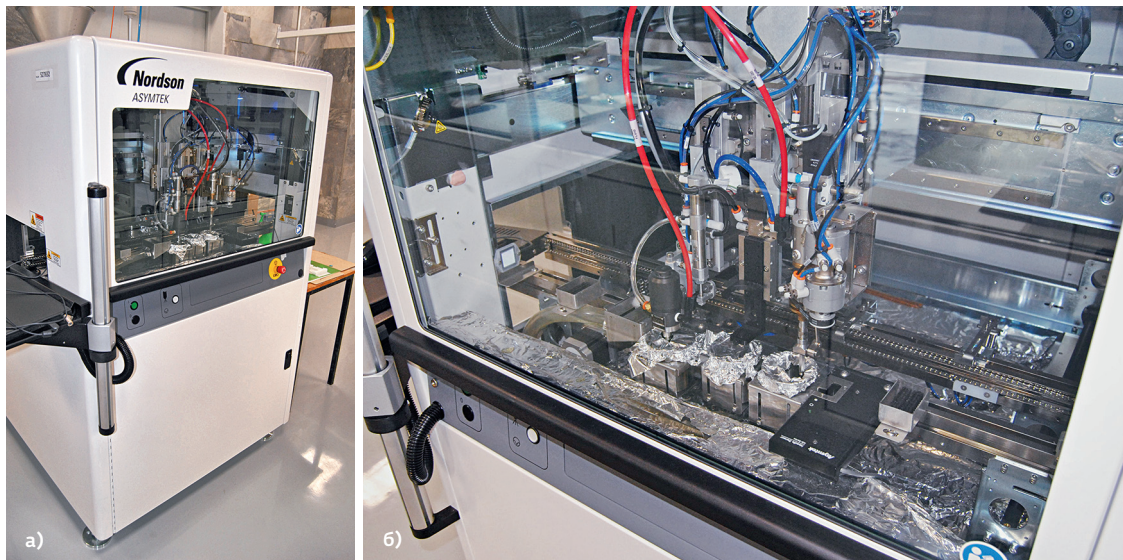
Полимеризация лака производится в сушильных шкафах Binder.

Много ли в ваших изделиях остается компонентов со штыревыми выводами?

Если говорить о той продукции, изготовление которой переводится на линию поверхностного монтажа, то немного, и в основном это разъемы. Необходимость использования крупных разъемов со штыревыми выводами обусловлена требованиями надежности, простоты сборки



Модуль струйной отмывки miniSWASH компании PBT Works (Чехия): а – общий вид; б – рабочая зона



Установка селективной влагозащиты ASYMTEK SL-940 компании Nordson (США): а – общий вид; б – рабочая зона

и ремонтпригодности – при сборке шкафа в цеху и тем более при замене модулей в месте эксплуатации должен быть гарантирован хороший контакт при максимальной простоте самой операции.

На участке ручного монтажа, где распаиваются компоненты со штыревыми выводами, производится также и ремонт, и другие операции, не выполняемые на автоматизированной линии. Ремонтный центр, который установлен на участке, предоставляет широкие возможности для выполнения самых тонких работ. Он оборудован системой нижнего сегментированного ИК-нагрева, нагрев сверху – комбинированный, конвекционный и/или инфракрасный. Контроль термопрофиля осуществляется двумя термометрами и ИК-датчиком, имеется лазерная головка для измерения расстояния до печатного основания.

Центр позволяет производить операцию реболлинга, но такой необходимости у нас пока не было.

Подводя итог, можно констатировать, что установленная сборочная линия наилучшим образом соответствует задачам сегодняшнего дня и прогнозируемого будущего?

Да, это так. Опыт работы показывает, что состав оборудования линии оптимален по совокупности основных критериев – по производительности, гибкости, точности и качеству сборки, стоимости основных фондов и эксплуатационным расходам. Намеченное на перспективу доукомплектование участка производственным и контрольным оборудованием и продолжение процесса цифровизации на основе решений, предлагаемых нашим проверенным партнером – компанией «Остек-СМТ», – будет способствовать дальнейшему повышению качества продукции и улучшению экономических показателей производства.

Спасибо за интересный рассказ.



Участок ручного монтажа: а – рабочие места; б – ремонтный центр HR550 компании ERSA