

Как достичь высокого качества при сборке, влагозащите, а также при удалении покрытий

Визит на сборочное производство ООО НПП «Прима»

Ю. Ковалевский

Нижегородская компания НПП «Прима» в прошлом году отметила 30-летний юбилей. Данное предприятие специализируется на разработке и производстве оборудования, к которому предъявляются повышенные требования в отношении качества и надежности, такого как, например, системы радиосвязи и навигации авиационного и морского применения.

Сборочное производство компании отражает ее специфику. Оно ориентировано на изготовление как опытных образцов, так и небольших партий серийных изделий. В рамках процесса организован тщательный контроль качества, включающий 100%-ную автоматическую оптическую инспекцию (АОИ) поверхностного монтажа и рентгеновский контроль скрытых паяных соединений, а также пайки компонентов, монтируемых в отверстия.

Недавно на производстве появилась новая установка – «Борей» от компании «Остек-Интегра». Это оборудование предназначено для удаления с электронных сборок влагозащитного покрытия микроабразивным методом.

В начале нашего визита в компанию Максим Николаевич Клементьев, начальник производства ООО НПП «Прима», рассказал нам, в частности, какими преимуществами обладает этот метод и почему предприятие выбрало отечественное решение для данной операции.



Максим Клементьев

Максим Николаевич, когда на вашем предприятии было организовано сборочное производство по технологии поверхностного монтажа? Каковы были цели его создания?

Поверхностный монтаж у нас появился приблизительно 20 лет назад. Наша компания с самого начала делала ставку на создание инновационных изделий высокого

качества. Инновации уже тогда предполагали миниатюризацию, поскольку было необходимо обеспечить высокую функциональность при одновременном снижении массы и габаритов аппаратуры. А это, в свою очередь, приводило к необходимости применения миниатюрных компонентов поверхностного монтажа, устанавливать которые вручную становилось всё сложнее.

Задача автоматизации сборочных операций была первоочередной при принятии решения о внедрении технологии поверхностного монтажа в ее классическом виде – нанесение пасты, установка компонентов, групповая пайка оплавлением в печи. Хотя на первом этапе установка компонентов осуществлялась с помощью манипулятора, мы достаточно быстро

пришли к использованию автоматического установщика – ECM 700 FV Luna от компании MDC.

Сейчас на нашем производстве три автомата установки компонентов и две печи. Мы работаем с такими компонентами, которые уже в принципе невозможно монтировать вручную. Например, в наших серийных изделиях используются корпуса 0201. Без автоматизированного оборудования мы не смогли бы создавать такую продукцию.

Какие критерии вы предъявляли к оборудованию при его выборе?

Главной задачей, которую мы ставили перед собой, был выпуск продукции высокого качества, и его обеспечение стало основным требованием к оборудованию.

Еще одним важным фактором является производительность. Наше производство можно охарактеризовать как мелкосерийное многономенклатурное; возможно, с точки зрения некоторых других производителей наши партии небольшие, но для нас, как для научно-производственного предприятия, осуществляющего сборку как малых серий, так и опытных образцов, от скорости производства которых зависит, как быстро они будут проверены разработчиками, поступят на испытания и в конечном счете начнут производиться серийно, очень важно, чтобы изготовление печатных узлов занимало минимальное время.

Следует отметить, что качество продукции обеспечивается как высокой точностью и повторяемостью при выполнении основных операций процесса сборки, так и средствами контроля. У нас есть специализированный отдел неразрушающего контроля, где проводится инспекция собранных узлов на системах АОИ, а тех паяных соединений, проверка которых с помощью оптики невозможна, – на рентгеновской установке. Причем и тот и другой контроль – 100%-ный.

Недавно вы приобрели новую установку «Борей», которая предназначена для удаления влагозащитного покрытия. Это такая частая операция, что для нее целесообразно наличие специального оборудования?

Причины, по которым возникает необходимость в удалении влагозащитного покрытия, можно разделить на две большие группы.

Во-первых, как я уже говорил, на нашем производстве изготавливаются в том числе опытные образцы, которые проходят различные испытания, например на стойкость к внешним воздействиям. По результатам испытаний может быть выявлена необходимость в замене того или иного компонента, например, на другой номинал.

Во-вторых, замена компонента может потребоваться и на серийном изделии. К сожалению, 100%-ный контроль

с помощью АОИ и рентгена не позволяет выявить некоторые типы дефектов, которые могут быть связаны, в частности, с самими компонентами и которые проявляют себя уже на стадии испытаний, в том числе приработки.

Поскольку влагозащита наносится на все наши изделия, любая замена компонента на этих стадиях требует снятия покрытия.

Вопрос здесь не столько в том, как часто это происходит, сколько в скорости выполнения данной операции. До приобретения «Борея» мы удаляли покрытие с помощью растворителя, и этот процесс занимал от десятков минут до суток, даже если нужно демонтировать всего один компонент с одной платы из партии.

Поэтому мы начали искать другие решения. Обратились к нашему партнеру, компании «Остек-Интегра», и они предложили нам решение собственной разработки – установку «Борей», предоставили нам ее для тестовой эксплуатации. Мы поработали с этим оборудованием несколько месяцев и остались довольны. В то же время мы сравнили «Борей» с решениями для микроабразивного снятия влагозащитных покрытий от зарубежных поставщиков. В сравнении с ними мы не увидели у установки от «Остек-Интегра» каких-либо недостатков. Напротив, у нее были свои достоинства. В частности, на наше решение повлияло то, что это оборудование отечественного производителя, который является нашим давним партнером. В этом году ГК Остек исполняется 30 лет. Наши компании – почти ровесники. Сотрудничаем мы около 20 лет. На протяжении всего этого периода Остек проявлял себя как надежный партнер, который в любое время дня и ночи готов оказать содействие в решении технологических вопросов либо прислать своих сервисных инженеров, которые помогут разобраться с возникшей проблемой на месте.

Поэтому, принимая решение о приобретении именно этой установки, мы были уверены, что всегда сможем обратиться к «Остек-Интегра», и они незамедлительно окажут нам поддержку в отношении данного оборудования.

«Борей» на практике помог сократить время, затрачиваемое на удаление покрытия?

Да, и это не единственная польза от этой установки. С ее вводом в эксплуатацию мы решили несколько проблем: и сокращения времени выполнения операции, и обеспечения безопасности работников – ведь растворитель мог негативно влиять на здоровье персонала, и устранения затрат на растворитель и его утилизацию. Микроабразивный порошок мы восстанавливаем, поэтому экономия на технологических материалах при применении микроабразивной обработки вместо растворителя весьма ощутима.



Елена Лебедева

Участок поверхностного монтажа нам показала начальник участка Елена Альбертовна Лебедева.

Елена Альбертовна, на вашем сборочном производстве работают три автомата установки компонентов, включая Fox от компании Essemtec. Эта машина позволяет осуществлять не только установку компонентов, но и нанесение паяльной пасты. Вы используете ее в качестве дозатора?

Безусловно, мы знаем о такой возможности, но пока ей не пользовались, прежде всего потому, что эта установка – совсем новая, мы ее запустили в феврале текущего года. Главными задачами ее приобретения были повышение общей производительности сборочного производства в связи с ростом объема заказов, а также необходимость монтажа современных компонентов, таких как BGA с малым шагом выводов и чип-корпуса 0201. С решением этих задач Fox хорошо справляется.

В то же время у нас закуплены комплектующие данного автомата для того, чтобы можно было выполнять с его помощью дозирование пасты, но с момента его ввода в эксплуатацию у нас не было в этом необходимости: все это время мы собирали серийные изделия в достаточно большом объеме, и было более целесообразно максимально использовать его как установщик компонентов.



Полуавтоматическая установка трафаретной печати A29 от компании PBT Works

В будущем мы обязательно будем применять данную установку и для нанесения пасты.

А на данный момент паста наносится у нас трафаретной печатью на двух принтерах – автоматической установке MPM Momentum и полуавтомате A29 от компании PBT Works.

Максим Николаевич упомянул, что корпуса 0201 применяются в том числе в ваших серийных изделиях. При этом на платах встречаются достаточно разнообразные по своим габаритам компоненты. Приходится ли вам использовать ступенчатые трафареты?

С нашими задачами вполне справляются одноуровневые трафареты. Кроме того, при проектировании ступенчатых трафаретов требуется соблюдение определенных расстояний между аперттурами, расположенными в областях с различной толщиной, а у плат с миниатюрными компонентами обычно высокая плотность компоновки, и эти расстояния выдерживать нецелесообразно. В случае необходимости мы изменяем – уменьшаем или увеличиваем – размеры апертур при заказе трафарета конкретной толщины.

Другой вопрос, что с уменьшением размеров корпусов и шага выводов применяется более тонкий материал трафарета, например 100 мкм.



Автомат трафаретной печати MPM Momentum

Оборудование на вашем сборочном производстве – отдельностоящее, не собранное в линию. Почему выбрана такая конфигурация?

Причина очень простая: на сегодняшний момент наши помещения не позволяют выстроить оборудование в линию. Но планы по организации конвейерной сборочной линии в дальнейшем у нас есть.

А автоматы установки компонентов используются каждый для своей партии, или же одна партия может собираться на нескольких автоматах?

Каждый тип изделия собирается только на одном автомате, который работает как универсальный установщик – и чип-шутер, и прецизионный автомат. Конечно, это оборудование разных поколений, их возможности сильно отличаются. Поэтому мы выбираем, на каком автомате будет осуществляться сборка, в зависимости от сложности платы, ее компоновки и применяемой компонентной базы. Luna – самый старый установщик, на нем мы собираем только относительно простые изделия, а более сложные, с большим количеством типонаименований, миниатюрными корпусами и т. п. – на SM421 от компании Samsung, а теперь еще и на новом установщике Fox от Essemtec.

Можно ли сравнить SM421 и Fox? Какой из автоматов лучше?

Установщиком Samsung мы очень довольны, но решили попробовать и другой автомат. Наверное, дать непредвзятую оценку будет сложно: с SM421 мы работаем уже достаточно давно, привыкли к нему, хорошо его изучили, а Fox на нашем производстве совсем недавно, и, как уже говорилось, у нас еще не было возможности оценить его в качестве установщика автоматического дозирования.

Могу сказать, что достоинством автомата Fox, когда он работает вне линии, является большая емкость питателей – до 180 лент 8 мм, потому что в этом случае питатели можно разместить со всех четырех сторон. Но в то же

время это уменьшает рабочее поле, и платы с большими габаритами, если для питателей используются все стороны, собирать невозможно. SM421 позволяет устанавливать до 120 питателей из лент 8 мм – столько же, сколько Fox при работе в составе линии, но при этом возможна сборка достаточно габаритных изделий. Платой за это является большая площадь, занимаемая автоматом.

У SM421 также выше производительность благодаря тому, что на монтажной головке имеется шесть вакуумных захватов, тогда как у Fox в той модификации, которая используется у нас, их всего два.

Но Fox более новый, и мы его активно используем для сборки плат с особо миниатюрными корпусами и сложными компонентами, монтаж которых требует очень высокой точности.

Наличие трех автоматов от разных производителей не создает проблем, связанных с тем, что для каждого из них необходимо готовить свою программу?

Действительно, программы отличаются. Даже начало координат у SM421 находится в правом нижнем, а у Fox и Luna – в левом нижнем углу платы. Это, кстати, одна из причин того, что мы собираем каждое изделие полностью на одном автомате: «разложить» программу на два установщика, конечно, можно, но это приводит к дополнительным сложностям.

Однако, если процесс организован так, как у нас, то есть каждое изделие собирается только на одном автомате, сложностей с подготовкой программ для различного оборудования не возникает. Когда файл САПР подготовлен правильно – а у нас это всегда так, потому что наши разработчики внимательно подходят к этому вопросу – на создание программы даже для самых сложных наших изделий более чем с тысячей компонентов на каждой стороне уходит не более двух часов вне зависимости от установщика. Исключением сейчас является Fox, для него программы готовятся несколько дольше, но это только



Автоматы установки компонентов: а – ECM 700 FV Luna от MDC; б – SM421 от Samsung; в – Fox2 от Essemtec

потому, что мы еще не наработали для него базу моделей компонентов.

Для пайки вы применяете как конвекционную печь, так и парофазную. Что подвигло вас на внедрение парофазной пайки?

Главным образом, более качественная пайка компонентов BGA. Парофазная пайка у нас осуществляется в печи Asscon VP6000, в которой реализовано двойное вакуумирование – при помещении платы в зону нагрева и уже при расплавлении припоя. Это обеспечивает существенное сокращение пустот в паяном соединении, что напрямую влияет на их надежность, в особенности когда речь идет о пайке шариковых выводов.

И конечно же, большим преимуществом парофазной пайки является невозможность перегрева компонента, что также важно при монтаже BGA-корпусов, для которых обеспечить равномерность температур для каждого шарикового вывода в конвекционной печи намного сложнее, что приводит к риску либо перегрева компонента, либо непропая отдельных выводов.

Но у парофазной технологии оплавления есть и свои минусы. Например, вероятность образования «надгробного камня», особенно у таких миниатюрных компонентов, как 0201, в парофазной печи выше, чем в конвекционной.

При какой температуре выполняется пайка в парофазной печи?

Мы используем жидкость Galden LS 230. Соответственно, температура пайки составляет 230 °С.

И такой температуры хватает для бессвинцовой пайки, или вы работаете только по свинцовой технологии?

Как таковую бессвинцовую технологию мы не используем, но у нас бывает смешанная пайка, если тот или иной

компонент не выпускается в исполнении для свинцовой пайки. В этом случае на конвекционной печи применяется более жесткий профиль с повышенной температурой, но в парофазном процессе мы ограничены температурой кипения жидкости. Конечно, можно использовать жидкость с другой температурой кипения, но применение нескольких различных жидкостей связано со своими сложностями, а при 230 °С проблем с оплавлением и качеством соединений при смешанной пайке не возникает. Разве что она происходит несколько дольше.

Также стоит отметить, что при смешанной пайке в парофазной печи соединения получаются не такими блестящими, как при конвекционном оплавлении, но это исключительно косметический эффект, на качестве соединений это никак не сказывается.



Экскурсию по другим участкам производства провел начальник участка промывки и влагозащиты Дмитрий Валерьевич Лимарчук.

Дмитрий Валерьевич, после поверхностного монтажа платы поступают на монтаж штыревых компонентов?

Нет, у нас все платы отмываются, причем отмывка производится и после поверхностного, и после штыревого монтажа. На участке отмывки расположены две установки, обе выполняют отмывку струйным методом. Их отличие заключается в том, что в установке компании Aqueous Technologies загрузка корзинная,



Конвекционная печь Mistral 460 от компании Technoprint с шестью зонами нагрева



Парофазная печь Asscon VP6000

а в машине SuperSwash от PBT Works – рамная. Оба варианта обладают своими достоинствами: при корзинной загрузке выше производительность, поскольку одновременно может отмываться большее количество изделий, а при рамной – более высокое качество отмывки, так как струи воздействуют напрямую на каждую плату. Поэтому изделия со сложными компонентами, в том числе BGA, мы отмываем в установке SuperSwash.

Платы после поверхностного и штыревого монтажа могут отмываться в одной установке совместно?

Мы стараемся так не делать, поскольку при отмывке после поверхностного монтажа требуется более высокая температура, порядка 60 °С, а после штыревого такие температуры не нужны в силу особенностей флюса; обычно достаточно 45–50 °С.

В чем причина того, что вы отмываете платы до установки компонентов, монтируемых в отверстия?

Дело в том, что мы выполняем оптическую инспекцию поверхностного монтажа уже отмытых плат. Таким образом снижается количество ложных срабатываний систем оптической инспекции: на неотмытых сборках АОИ иногда принимает блики от остатков флюса за дефекты, такие как перемычки и т. п.

Какую жидкость вы используете для отмывки?

Мы применяем жидкости компании Zestron: для автоматической отмывки Vigon N 640, а для ручной – Vigon EFM. Ручная отмывка в некоторых случаях тоже необходима, например если на плате есть компоненты, чувствительные к нагреву. В частности, у нас есть такое

изделие, как плата индикации, на которой установлен светофильтр. Он при автоматической отмывке с повышенной температурой растрескивается.

По вашему опыту, Vigon обладает длительным сроком службы в ванне?

Все жидкости производства Zestron характеризуются длительным жизненным циклом раствора – это одно из их преимуществ. Раньше мы использовали жидкость щелочную – Vigon A 250, но сейчас применяем pH-нейтральную жидкость Vigon N 640. Переход был связан с особенностями плат и компонентов, а также рядом производственных задач на последующих технологических циклах сборки печатного узла. Отмывочную жидкость мы меняем редко, обычно только доливаем для поддержания нужного уровня концентрации. Отмывка у нас происходит практически непрерывно, со сборочных участков постоянно поступают платы, и мы раз в смену измеряем концентрацию отмывочной жидкости в ванне и при необходимости ее доливаем.

Как осуществляется монтаж штыревых компонентов?

Отдельные компоненты, такие как электролитические конденсаторы, монтируются вручную, но таких компонентов не так много. Основную долю монтируемых в отверстия компонентов составляют многовыводные разъемы типа DIN 41612, СНП и подобные. Помимо того, что их паять вручную долго, при ручной пайке сложно обеспечить заполнение отверстия припоем на всю его глубину, что очень важно для обеспечения надежности. Поэтому их мы паяем на установке селективной пайки.



Установки струйной отмывки:
а – с корзинной загрузкой;
б – с загрузкой на раме



В отделе неразрушающего контроля, помимо рентгеновской установки, у вас имеется две системы АОИ. В чем разница между ними?

Более старая установка от компании Mirtec – это система 2D-АОИ. Более новая машина – Zenith LiTE от Koh Young – выполняет трехмерную инспекцию.

3D-АОИ позволяет выявлять некоторые дефекты, недоступные для двухмерной инспекции, например небольшой подъем компонента, который, тем не менее, должен быть классифицирован как «надгробный камень». Также данная система способна выявлять дефекты, связанные с высотой галтели.

Кроме того, установка Zenith LiTE обладает более высоким разрешением и производительностью, поэтому мы ее в большей степени используем для инспекции крупных партий, а также плат с высокой плотностью компоновки и миниатюрными компонентами, такими как 0201.

Преимуществом 2D-АОИ является более простая и быстрая подготовка моделей, поэтому она оказывается предпочтительной, когда необходимо быстро проверить новое изделие, в особенности если в нем применяются компоненты, которые ранее не встречались.

Установка селективной пайки Ecosselect 2 от компании Ers

На нашем производстве работает установка Ecosselect 2 от компании Ers. Модуль флюсования этой машины позволяет выполнять как точечное, так и линейное нанесение флюса, что дает возможность ускорить выполнение операции при пайке многорядных разъемов. После флюсования выполняется предварительный нагрев ИК-методом, а затем уже пайка селективной волной.

Кстати, разъемы, о которых я говорил, так же как и корпуса BGA, QFN и другие со скрытыми паяными соединениями, проходят 100%-ный рентгеновский контроль на установке XT V 130C от компании Nikon, чтобы убедиться в полном заполнении отверстия припоем.

Оборудование отдела
неразрушающего контроля:

а – 2D-АОИ; б – 3D-АОИ;

в – стереомикроскоп; г – установка
рентгеновского контроля



а)



б)

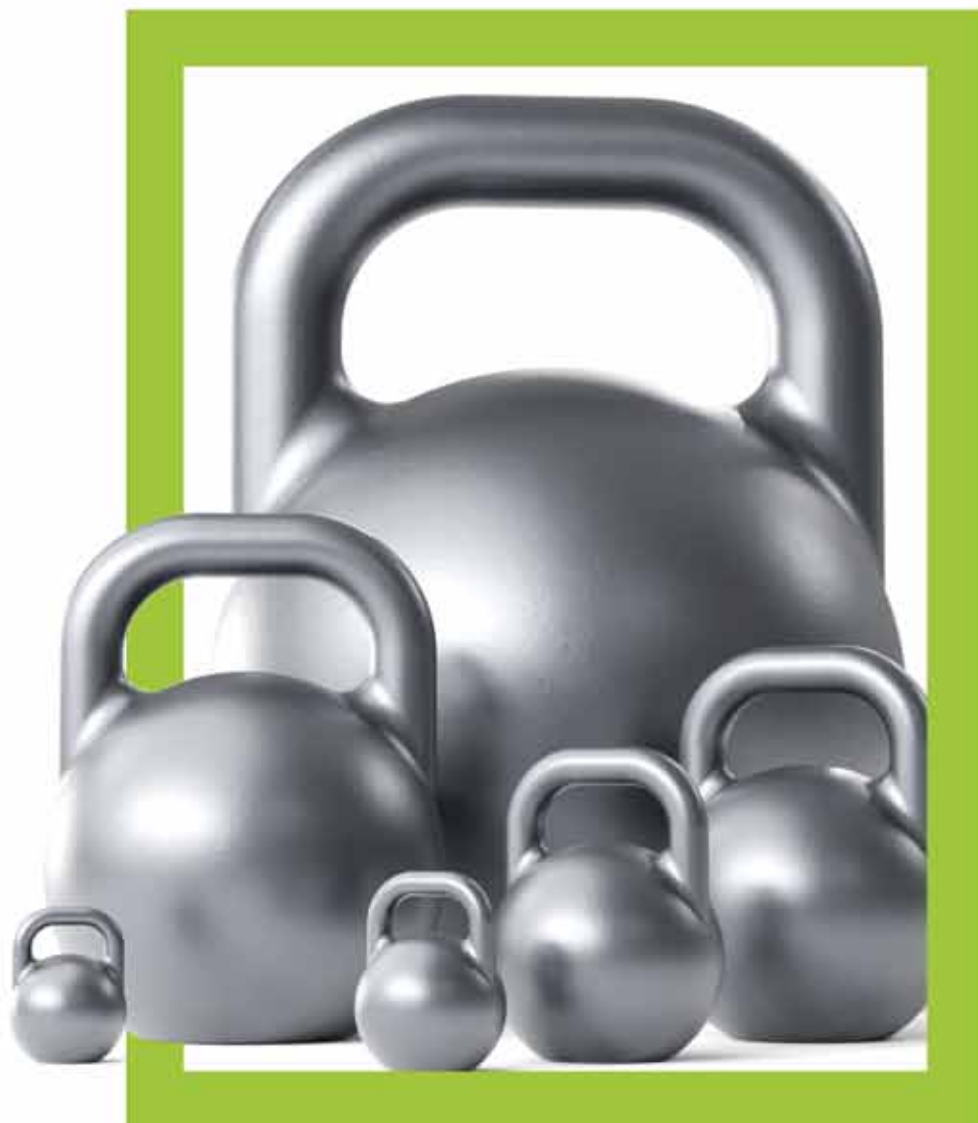


в)



г)

Нам по силам ВАШИ ВОЗМОЖНОСТИ ●●●



Решения любого масштаба

Каждое предприятие имеет свои приоритетные цели, технологические задачи и уровень возможностей.

Опираясь на многолетний практический опыт и высокую квалификацию команды, мы тщательно прорабатываем каждую задачу и предлагаем действительно работающие решения под финансовые возможности и индивидуальные потребности производств.

Честно, открыто, профессионально.

ostec-group.ru | info@ostec-group.ru | +7 (495) 788-44-44

Также здесь имеется рабочее место, оборудованное стереомикроскопом Lynx VS8 от компании Vision Engineering для визуальной инспекции, на котором проверяются компоненты и соединения, где система АОИ обнаружила дефект, поскольку не исключена ситуация, что этот дефект ложный.

Как мы уже знаем, на все ваши платы, когда они собраны и отмыты, наносится влагозащитное покрытие. Эта операция выполняется вручную?

На данный момент да. При этом выполняется контроль нанесения с помощью УФ-подсветки. Мы преимущественно применяем материалы, позволяющие это делать, а именно лаки компании HumiSeal – полиуретановый 1A68 и акриловый 1B73LED, который может наноситься в том числе на светодиоды, поскольку он прозрачный и практически не темнеет со временем. Лак 1A68 – это более удобная альтернатива УР-231. Данный материал однокомпонентный и обладает более длительным временем

жизни на производстве. Кроме того, в отличие от УР-231, он допускает покрытие в один слой.

В скором времени мы планируем также освоить автоматическое нанесение покрытий: сейчас у нас на этапе пусконаладки селективная установка от компании Nordson Asymtek с тремя головками для различных материалов и возможностью покрытия труднодоступных мест на платах с высокой плотностью монтажа.

На этом же участке расположена и новая установка для удаления покрытий «Борей» производства ООО «Остек-Интегра».

Расскажите, пожалуйста, как выполняется снятие покрытия на данной установке.

Использовать это оборудование очень просто. Для своей работы «Борей» требует подключение сжатого воздуха и, естественно, электричества. После включения установки, что осуществляется одним переключателем, в нее начинает поступать сжатый воздух. Манипулирование изделием выполняется в перчатках внутри установки через специальные отверстия. В рабочем объеме имеется два пистолета: один для подачи абразива, а второй для обдува, который выполняется после снятия покрытия для удаления с платы его остатков и абразивного материала. При обдуве нажимается рычаг на самом пистолете, а подача абразива осуществляется с помощью педали, благодаря чему, во-первых, проще подавать абразив в заданную область, а во-вторых – таким образом гораздо сложнее перепутать пистолеты и случайно подать абразив, когда требуется обдув.



Установка микроабразивного удаления покрытий «Борей» от ООО «Остек-Интегра»



Рабочая камера установки «Борей». Слева – пистолет для обдува сжатым воздухом; справа – для подачи микроабразивного материала

Благодаря возможности локализованной подачи абразива покрытие можно снимать селективно, только с того компонента, который требует демонтажа.

При последующем нанесении покрытия не возникает проблем с тем, что оно наносится только на зачищенный компонент?

Нет, платы с локально восстановленным покрытием с точки зрения их характеристик ничем не отличаются от плат, с которых покрытия не снималось, и успешно проходят все необходимые испытания. При УФ-подсветке можно увидеть, что в некоторой области покрытие восстанавливалось, но на влагозащитные свойства это не влияет.

Как компоненты переносят воздействие микроабразивной обработки?

Удаление покрытия данным методом на компонентах никак не сказывается. Правда, у нас были случаи, когда на некоторых отечественных чип-компонентах частично удалялась маркировка.

Также при этой операции не страдает паяльная маска, если только не задать максимальное давление и не подавать струю абразива в одно и то же место длительное время.

Я не стал бы говорить, что работа на «Борее» требует некой специальной подготовки, но всё же во избежание повреждения плат лучше сначала отработать режимы и немного потренироваться на образцах.

Снятие покрытия может контролироваться с помощью УФ-подсветки?

Да, если материал позволяет использовать УФ-подсветку при нанесении, то ее можно применять и при удалении покрытия. Для этого в установке «Борей» предусмотрена УФ-лампа.

Есть ли покрытия, которые не удаляются на этом оборудовании?

Мы с такими не встречались. Наиболее распространенные материалы – акриловые и полиуретановые – удаляются без проблем. Иногда у нас используются и более мягкие покрытия на кремнийорганической основе, и производитель установки нас предупреждал, что в таких лаках могут оставаться частицы абразива, поэтому их удаление этим методом не рекомендуется. Однако мы попробовали удалять и их, и никаких негативных эффектов не обнаружили.

Заправка установки абразивом требует особых навыков?

Нет, для этого нужно только отключить подачу сжатого воздуха, сбросить давление, снять крышку с горловины

для пополнения материала на установке и досыпать абразив из канистры, в которой он поставляется. Всё это занимает лишь пару минут и не требует никаких взвешиваний, мерных емкостей и т. п.: материал засыпается до уровня, который обозначен внутри горловины. Важно заметить, что в сравнении с растворителем, которым мы удаляли покрытия ранее, он значительно более «дружелюбный» для оператора.

После обработки платы промываются для удаления остатков абразива, но достоинством этого материала является то, что он растворяется как в спирте, так и в воде, поэтому на этом этапе также не требуется применение каких-либо вредных для здоровья химических веществ.

Вместе с «Бореем» мы приобрели также виброустановку для очистки абразива, поэтому мы можем выполнять заправку восстановленным материалом. После обработки абразив достаточно легко собирается: для этого нужно продуть рабочую камеру, и через отверстия в ее нижней части материал ссыпается в специальный пакет.

Так что, используя данное оборудование, мы экономим не только время, но и деньги.

Спасибо за интересный рассказ.



ИНФОПРОСТРАНСТВО
ПРОФЕССИОНАЛОВ

ТЕХНОСФЕРА

Мы на  YouTube



Подписывайтесь