



## ОПТИМИЗАЦИЯ СБОРОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПРОИЗВОДСТВА. СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ РУЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ ПАЙКИ КОМПОНЕНТОВ, МОНТИРУЕМЫХ В ОТВЕРСТИЯ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

Станислав Гафт  
lines@ostec-group.ru

**М**аксимальное использование компонентов, монтируемых на поверхность печатной платы – традиционный в настоящее время способ повышения технологичности проектируемых печатных узлов. Однако в некоторых случаях полностью отказаться от применения компонентов, монтируемых в отверстия, не представляется возможным. Характерным примером является монтаж разъёмов, когда по условиям применения необходимо обеспечить повышенные механические нагрузки на разъём в процессе эксплуатации. Кроме того, технологам необходимо думать о снижении трудоёмкости изготовления изделий устаревших конструкций, включённых в план производства. Современным методам оптимизации технологического процесса сборки печатных узлов с компонентами, монтируемыми в отверстия печатной платы, посвящена настоящая публикация.

Давно канули в лету времена, когда разработчиков и конструкторов необходимо было уговаривать применять компоненты, монтируемые на поверхность печатной платы для повышения уровня технологичности проектируемых печатных узлов. Учитывая постоянное развитие электронной компонентной базы, применение компонентов, монтируемых на поверхность, стало весьма распространённым и предпочтительным для вновь разрабатываемых изделий. В то же время полностью отказаться от компонентов, монтируемых в отверстия печатной платы, на сегодняшний день не представляется возможным по следующим причинам:

- условия эксплуатации изделий в расширенном диапазоне вибрационных и ударных нагрузок;
- повышенные требования к механической прочности паяных соединений разъёмов и соединителей;
- необходимость применения массивных компонентов, например таких, как трансформаторы, дроссели и пр.;
- ограничения, связанные с невозможностью использования компонентов, монтируемых на поверхность в высоковольтных (более 100 В) цепях.

А так как предъявляемые к технологам требования по постоянному снижению трудоёмкости выпускаемых изделий никто не отменял,

вся тяжесть решения указанной задачи полностью переносится в область технологическую.

В процессе постоянно проводящихся в технологическом центре нашей компании проверок качества изготовления печатных узлов, в том числе смонтированных на предприятиях с давними традициями производства техники ответственного применения и высококвалифицированным персоналом, регулярно выявляются дефекты паяных соединений разъёмов (рис. 1). Наиболее вероятные причины возникновения дефектов подобного типа: неудовлетворительная паяемость выводов разъёма, контактных площадок печатных плат и отклонение параметров технологического процесса (время и температура жала паяльника) при ручных операциях. При этом визуальный контроль качества монтажником в процессе выполнения пайки невозможен: со стороны монтажа паяные соединения закрыты корпусом разъёма.

При обеспечении контроля паяемости выводов разъёма и контактных площадок печатных плат на этапе входного контроля, возникновение дефектов по этой причине можно исключить. А вот соблюдение параметров технологического процесса при ручных операциях лежит на совести электромонтажника. Как известно, наиболее эффективный способ преодоления пресловутого «человеческого

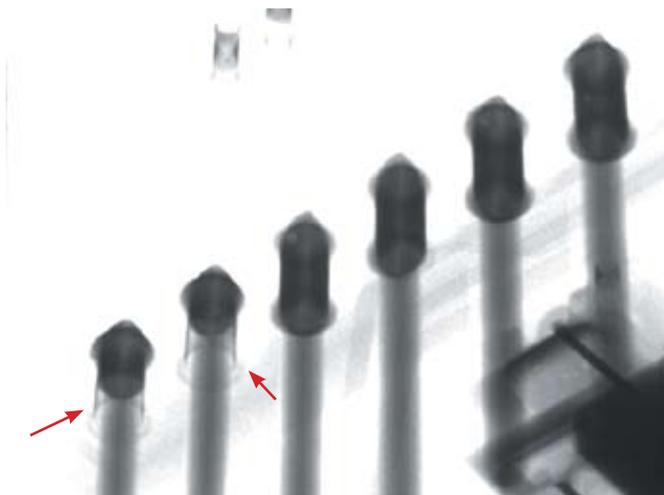


Рис. 1 Наиболее вероятные причины возникновения дефектов паяных соединений разъемов связаны с неудовлетворительной паяемостью выводов и трудностью обеспечения повторяемости параметров технологической операции ручной пайки

фактора” лежит в максимальной автоматизации процесса. Установки пайки волной припоя 40 лет назад совершили настоящую революцию: было достигнуто 50-кратное увеличение производительности на операции пайки для массового производства. К сожалению, традиционные установки пайки волной припоя практически непригодны для современных электронных модулей на многослойных печатных платах с компонентами, расположенными с двух сторон с высокой плотностью. Рынок настоятельно потребовал новое решение, и лидеры-производители оборудования предложили его, разработав системы селективной пайки. Огромная популярность систем селективной пайки за последние 10 лет привела к тому, что в настоящий момент только ленивый произ-

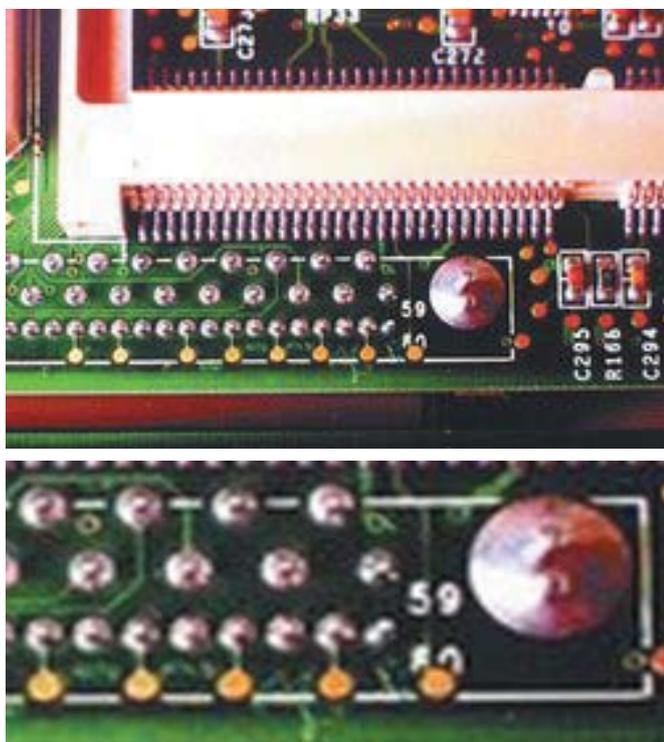


Рис. 2 Применение компонентов, монтируемых в отверстия печатной платы, с различными диаметрами и массой выводов создают, на первый взгляд, неразрешимую проблему повторяемости параметров технологического процесса пайки для каждого паяного соединения, необходимую для обеспечения высокого уровня качества и надёжности выпускаемой продукции. Для обеспечения высокого уровня автоматизации технологического процесса пайки печатных узлов со смешанным двухсторонним монтажом компонентов необходимы новые технологии и оборудование

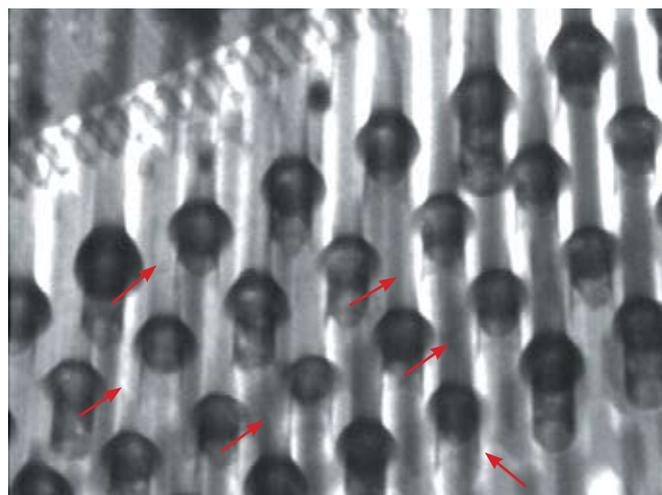


Рис. 3 Традиционные ручные операции пайки не могут обеспечить повторяемость параметров технологических режимов и, как следствие, гарантировать высокий уровень качества и надёжности паяных соединений. Особенно это заметно при монтаже кросс-плат с большим количеством многовыводных разъемов с массивными теплоёмкими выводами. Монтажные отверстия заполнены припоем не полностью, а контролировать их в процессе пайки со стороны монтажа компонентов невозможно – паяные соединения закрыты корпусами разъемов

водитель технологического оборудования не предлагает на рынке свои установки. Перед технологами в настоящий момент стоит непростая задача: для всех изделий, включённых в план производства, и перспективных, находящихся в разработке, выбрать систему, которая будет удовлетворять требованиям по производительности, обеспечивая запланированный уровень качества и надёжности выпускаемой продукции.

При решении задачи снижения трудоёмкости и себестоимости за счёт повышения уровня автоматизации технологом необходимо учитывать требования, диктуемые особенностями конструкции современных печатных узлов:

- повышение количества сигнальных и экранных слоёв печатных плат;
- увеличение толщины и массы печатных плат;
- необходимость применения компонентов, монтируемых в отверстия печатной платы, с различными диаметрами и массой выводов (рис. 2), в том числе для обеспечения механической прочности печатных узлов, эксплуатируемых в условиях расширенного диапазона температур и вибрационных нагрузок;
- необходимость обеспечения максимальной автоматизации, в том числе и для печатных узлов с плотным двухсторонним монтажом компонентов, монтируемых на поверхность и в отверстия печатной платы (рис. 2);
- необходимость снижения затрат на проведение операции отмывки печатных узлов для экономии технологических материалов и снижения себестоимости выпускаемой продукции;
- обеспечение возможности работы с традиционными, бессвинцовыми и/или смешанными технологиями пайки.

В этих условиях отказ от традиционных установок пайки волной припоя в пользу систем селективной пайки стал не только правилом, но и традицией. Автор, находясь в служебных командировках, неоднократно видел выставленные за ненадобностью на задние двory современных европейских сборочных предприятий почти новые установки пайки волной припоя, а в цехах – современные многофункциональные системы селективной пайки.

Одно из наиболее эффективных применений систем селективной пайки – сборка кросс-плат с большим количеством многовыводных разъемов. Элементарный расчёт показывает, что для пайки двадцати 96-выводных разъемов вручную опытному электромонтажнику потребуется, по крайней мере,  $(20 \times 96 \times 3/0,7)/60 = 137$  минут. На самом деле трудоёмкость будет существенно больше, так как при





Рис. 7 Патентованная система предварительного нагрева снизу и сверху конвекционными модулями Multijet обеспечивает равномерный нагрев печатных узлов, не допуская перегрева термочувствительных компонентов. Рекомендуется для флюсов с низким содержанием летучих органических соединений (VOC free)

смачивание припоем со всех сторон и обеспечивает возможность программирования перемещения при пайке в любом направлении, позволяя оптимизировать его перемещения (справа) и минимизировать время обработки печатного узла

Популярность систем селективной пайки заставила лидеров-производителей оборудования разработать встраиваемые в линию универсальные модульные системы (рис. 6), обеспечивающие специфические требования потребителей для различных областей применения. Установки с одним селективным флюсователем, одной зоной предварительного подогрева и одним волнообразователем наиболее часто заказываются производителями с мелкосерийным характером производства. Системы с тремя волнообразователями и тремя зонами предварительного подогрева наиболее популярны среди производителей массовой продукции: автомобильной и промышленной электроники, систем пожарной и охранной сигнализации.

## 2. Обеспечение качественных паяных соединений при работе с многослойными печатными платами.

Современная система селективной пайки для обеспечения работы с печатными узлами на многослойных печатных платах должна обеспечивать равномерный предварительный подогрев и дополнительный подогрев в процессе пайки. В противном случае велика вероятность ухудшения качества паяных соединений, так как при остывании платы невозможно обеспечить полное заполнение при-

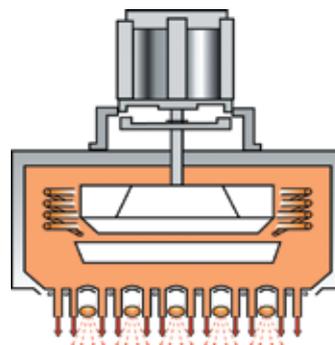


Рис. 8 Применение гибридной технологии предварительного нагрева, комбинация инфракрасных и конвекционных нагревателей с патентованной технологией Multijet, обеспечивает высокую повторяемость параметров технологического процесса и качество паяных соединений при работе, в том числе с печатными узлами на многослойных платах

поем монтажных отверстий (рис. 3).

Разработчики компании Ersa предусмотрели предварительный нагрев перед каждой зоной пайки (рис. 6), используя эффективную патентованную конструкцию конвекционного нагревателя MultiJet (рис. 7).

При работе с современными печатными узлами на многослойных платах для обеспечения качественных паяных соединений необходимо обеспечить быстрый и равномерный предварительный нагрев и подогрев в зоне пайки. В противном случае резко возрастает вероятность появления дефектов, связанных с неполным заполнением припоем монтажных отверстий (рис. 3).

Для обеспечения высокого качества паяных соединений при работе с печатными узлами с массивными компонентами на многослойных платах эффективным является использование гибридной технологии предварительного нагрева: сочетание конвекционных и инфракрасных нагревателей (рис. 8).

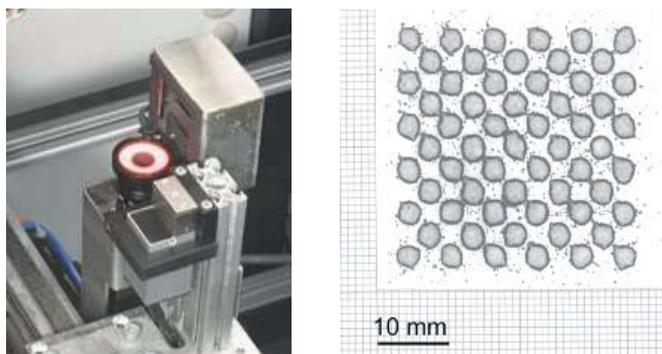


Рис. 9 Устройство селективного флюсования фирмы Ersa (слева) обеспечивает точное нанесение флюса (справа) и минимальные расходы на отмывку печатного узла после пайки

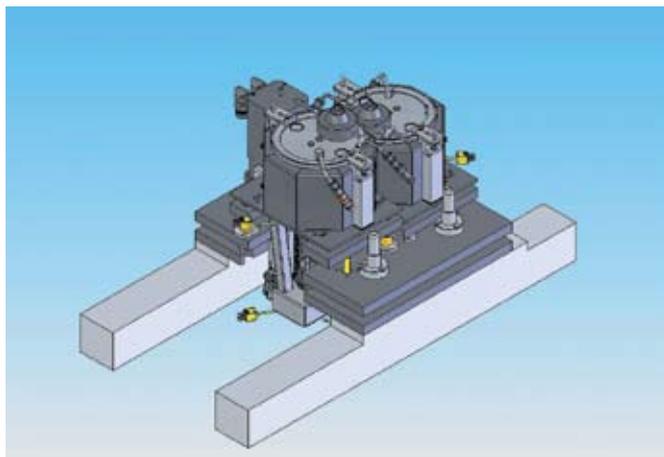


Рис. 10 Применение двух волнообразователей повышает производительность и снижает расходы, связанные с необходимостью частой замены припоя вследствие его загрязнения

### 3. Обеспечение экономии материалов

Для того чтобы было чище, нужно меньше пачкать. Для обеспечения экономии материалов и снижения трудоёмкости операции отмывки печатных узлов современная система селективной пайки должна иметь модуль селективного флюсования (рис. 9), позволяющий снизить загрязнение печатного узла в процессе пайки и резко снизить затраты на отмывку, необходимую для предотвращения коррозии и улучшения адгезии перед нанесением влагозащитных покрытий.

### 4. Высокое качество паяных соединений

Для обеспечения высокого качества паяных соединений конструкция современной системы селективной пайки должна обеспечивать:

- работу в азотной среде;
- большой набор насадок (сопел) и простую их замену;
- возможность программирования параметров технологического процесса для каждой точки пайки;
- возможность работы по смешанной технологии без опасности загрязнения припоя волнообразователя. Нужно учитывать, что при работе с компонентами, имеющими традиционные и бессвинцовые покрытия, возникает опасность загрязнения припоя, находящегося в ванне волнообразователя. Указанное обстоятельство послужило в своё время одной из главных причин отказа от традиционной технологии пайки волной припоя: необходимость замены припоя из-за его загрязнения каждые две недели – слишком дорогая процедура. Конструкция с двумя волнообразователями (рис. 10) позволяет решить задачу пайки печатных узлов с компонентами, имеющими традиционные и бессвинцовые покрытия: один снаряжается традиционным припоем, другой – бессвинцовым.
- наличие второго волнообразователя позволяет также увеличить

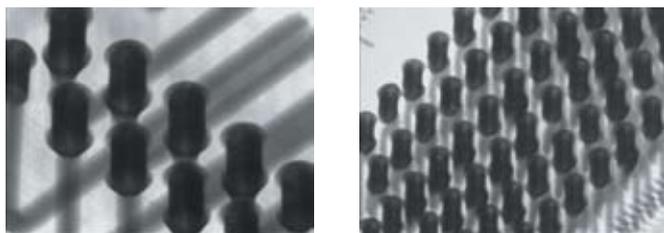


Рис. 11 Применение современных систем селективной пайки, обеспечивающих возможность программирования режимов для каждого паяного соединения, точное селективное нанесение флюса равномерный эффективный подогрев предварительный и в зоне пайки, азотная среда гарантируют высокое качество и надёжность выпускаемой продукции

производительность при снаряжении их различными насадками для пайки компонентов с различным диаметром выводов. Указанные причины: возможность программирования параметров для каждого паяного соединения, азотная среда, точное селективное флюсование, качественный подогрев предварительный и в зоне пайки обеспечивают хорошую повторяемость процесса и гарантируют высокое качество и надёжность печатных узлов (рис. 11). Постоянно отслеживая требования рынка и идя навстречу требованиям своих потенциальных клиентов, безусловный лидер в данном сегменте – компания Ersa, Германия – выпустила новую модель VERSAFLOW ECOSELECT 2 (рис. 10) с длиной всего в 2300 мм, что позволяет применять её даже на небольших сборочных участках, обеспечивающих выпуск опытных образцов и мелкосерийной продукции.

В завершение хотелось бы ещё раз отметить, что применение современных систем селективной пайки позволит:

- снизить трудоёмкость за счёт уменьшения (а в ряде случаев и полного исключения) доли ручных операций и повышения уровня автоматизации технологического процесса;
- снизить затраты на материалы за счёт использования селективного флюсования;
- исключить (особенно в тех случаях, когда не требуется нанесение влагозащитных покрытий) операции отмывки;
- снизить себестоимость изготовления изделий;
- повысить объёмы производства без увеличения численности персонала;
- повысить производительность труда на предприятии и увеличить прибыль. ■■

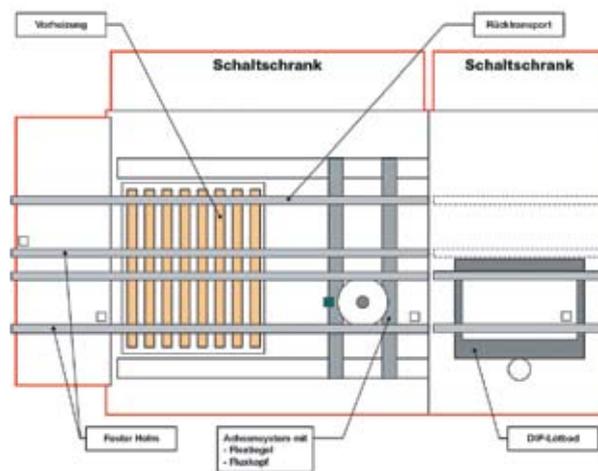


Рис. 12 Сниженные габариты новой системы селективной пайки ECOSELECT 2 компании Ersa, Германия позволяют использовать её, в том числе и для оснащения участков для производства опытных образцов и мелкосерийной продукции