

Паяльник и качество пайки: когда и почему выгодно применять специальный инструмент

Приходится ли вам паять современные электронные компоненты? Если да, то каким инструментом вы пользуетесь и все ли вас в нем устраивает? Правда ли, что искусные мастера творят чудеса при помощи простейшего паяльника и что недостатки инструмента можно сполна компенсировать богатым опытом? К чему стремиться (в смысле улучшения паяльного инструмента) и как эффективно использовать то, что уже имеется под рукой? Обо всем этом пойдет речь в данной статье, адресованной широкому кругу радиолюбителей и профессионалов радиомонтажного дела.

Mark Cannon
www.ersa.de

Генеральный директор
отделения паяльных
инструментов ERSA,
Германия

Виктор Новоселов
vic@novlink.spb.su

К. Т. Н.,
полномочный представитель
ERSA в России и СНГ

Xарактеристика качества паяного соединения — это его долговременная прочность. Компьютерный контроль параметров процесса пайки в автоматических паяльных машинах гарантирует безупрочное соблюдение технологических норм и, как следствие, обеспечивает качество результата. Возможно ли обеспечить сравнимое качество при ручной пайке? Вопрос не праздный для тех, чьи изделия должны выдерживать проверку на надежность в сложных условиях эксплуатации. При серийном производстве вопрос качества имеет первостепенную важность еще и в комплексе с обеспечением высокой производительности работ. Задача *быстрой, качественной и недорогой* ручной пайки стояла всегда, но ее актуальность повысилась в условиях миниатюризации электронных компонентов при массовом переходе к технологии поверхностного монтажа.

Как известно, слагаемыми успеха при ручной пайке являются:

- применение подобающего инструмента,
- использование добротных материалов,
- наличие некоторого опыта.

Статья посвящена преимущественно первому из аспектов обеспечения качества, а именно — современному ручному паяльному инструменту, его техническим возможностям и особенностям эффективного применения.

Невидимые проблемы пайки

На фоне революционного развития радиоэлектронных компонентов конструкция электрического паяльника за многие десятки лет почти не претерпела изменений. Монолитное медное жало, зачастую покрытое слоем хрома или никеля и залуженное в рабочей области, закрепляется тем или иным способом в непосредственной близости от проволочной спирали, нагреваемой электрическим током от низковольтного источника или

сети 220 В — таков «портрет» типового паяльника. Паяльник по-прежнему может использоваться для выполнения большинства видов паяльных работ (в том числе и с монтажом на поверхность, за исключением новейших корпусов BGA). Правда, не «обычный» паяльник, а в составе паяльной станции. Основа последней — электронный блок управления температурой инструмента. В обеспечении качества паяного соединения ключевую роль при прочих равных условиях играют два фактора: стабильность температуры и достаточная (но не избыточная!) продолжительность пайки. При ручной пайке продолжительность операции находится во власти радиомонтажника, а обеспечение стабильности температуры возлагается на инструмент. В идеальном случае формирование паяного соединения осуществляется в течение двух секунд при температуре 220 °C. Реально в конвекционных печах температура на фазе плавления поддерживается с небольшим разбросом в диапазоне 225...235 °C, в инфракрасных печах — 225...250 °C, в машинах с пайкой волновой — 240...250 °C. При ручной пайке миниатюрных электронных узлов температуру инструмента стремятся держать в диапазоне 220...295 °C.

К сожалению, температура «обычного» паяльника существенно изменяется при выполнении серии паяк (рис. 1).

Перед началом пайки серии соединений обычным паяльником температура инструмента традиционно находится далеко за верхним пределом оптимальной рабочей зоны (например, 375...400 °C). После нескольких операций пайки, проведенных за короткий промежуток времени, она опускается ниже оптимума. Время пайки постепенно увеличивается, а температура снижается вплоть до области холодной пайки, имеющей место при температурах выше 183 °C, но ниже 220 °C. При этом припой уже расплавлен (и это заметно невооруженным глазом), но диффузия металлов с образованием

очного интерметаллического слоя произошла. Прочность такого соединения чрезвычайно низка. С другой стороны, повышенная температура пайки или избытое время нахождения припоя в расплавленном состоянии тоже чреваты снижением прочности соединения. Причина в том, что в результате химической реакции между медью и оловом образуется диффузный слой Cu₃Sn/Cu₆Sn₅ (в англоязычной литературе именуемый как *intermetallic compound*). Именно этот слой взаимодействия металлов выполняет роль дополнительной механической связки в паяном соединении. Исследования показывают (см. выше), что максимальная прочность паяного соединения имеет место при толщине припоя 1,5 мкм. При меньшей его толщине возникает «холодной» (см. выше), при большей — ухудшаются характеристики соединения, тогда как именно это свойство диффузного слоя позволяет компенсировать напряжения, возникающие в паяном соединении из-за разницы температурных коэффициентов расширения материалов, из которых изготовлены печатная плата, проводники, контактные площадки, корпус и другие электронные компоненты.

Следует отметить, что при использовании обычного паяльника лишь небольшое число паяемых соединений в каждой серии выполняется при правильной температуре, тогда как большинство из них неминуемо превышает температуру паяния. Тем, кто выполняет ответственные работы обычным паяльником, следует помнить о принципиальной невозможности обеспечения долговременной прочности. Особенно это относится к монолитным микроминиатюрным компонентам на плате, ибо в этом случае эффективная площадь соприкосновения объектов, паяемых пайкой, в сотни раз меньше, чем при традиционной пайке компонентов на плате.

Паяльная станция — инструмент профессионала

В вопросах качества не полагаться на «наличие», то обычный паяльник придется заменить паяльной станцией. Как и многое в мире, паяльные станции различаются по техническим возможностям, ценам и иным потребительским характеристикам (причем не обязательно линейно отражают качество инструмента). Профессиональная паяльная станция обладает следующими свойствами:

• эффективным управлением температурой жала (контроль фактической температуры в области пайки с помощью того или иного термодатчика в контуре автоматической системы регулирования);

• достаточным запасом по мощности для быстрой «подкачки» тепла в точку пайки и поддержания стабильной температуры при пайке массивных соединений, когда рассеяние тепла велико;

• производимостью результатов пайки независимо от степени износа жала или его смене;

- полностью антистатическим исполнением не только паяльника, но и электронного блока управления;
- удобством эксплуатации, эргономичным дизайном;
- безотказностью при непрерывной работе паяльной станции в течение длительного срока;
- долговечными паяльными жалами специальной конфигурации для пайки разнообразных компонентов;
- в наиболее совершенных станциях — возможность подключения к компьютеру для управления, регистрации или документирования параметров технологического процесса в соответствии с требованиями стандартов качества ISO 9000.

На мировом рынке не так уж много производителей паяльных станций, а крупных фирм с солидной репутацией — не более полутора десятков. Наиболее известные (по алфавиту) — ERSA, Hakko, JBC, OK Industries, METCAL, PACE, Weller-CooperTools. В России с большим отрывом от конкурентов представлены инструменты трех лидеров — ERSA, PACE, Weller. В силу ценовой привлекательности популярна на протяжении уже нескольких лет и тайваньская марка Solomon, паяльные станции которой втройне дешевле младших моделей именитых фирм — 60 \$ против 180 \$. В кругу элитных марок (ERSA, PACE, Weller) нет явного лидера по всем статьям — каждая из фирм имеет свои сильные стороны и пользуется уважением профессионалов.

Долголетие Weller, функционально-модульная роскошь PACE и новаторские решения при лучших ценах ERSA образуют широкое поле выбора на любой вкус и бюджет.

Некоторые модели конкурирующих производителей имеют схожие потребительские характеристики. Что касается технических решений, то наиболее популярные, встречающиеся у всех конкурентов, являются вариациями трех подходов к обеспечению температурной стабильности жала (рис. 3).

У каждого своя правда

Хронологически первый и до настоящего времени развиваемый фирмой PACE подход (Р)

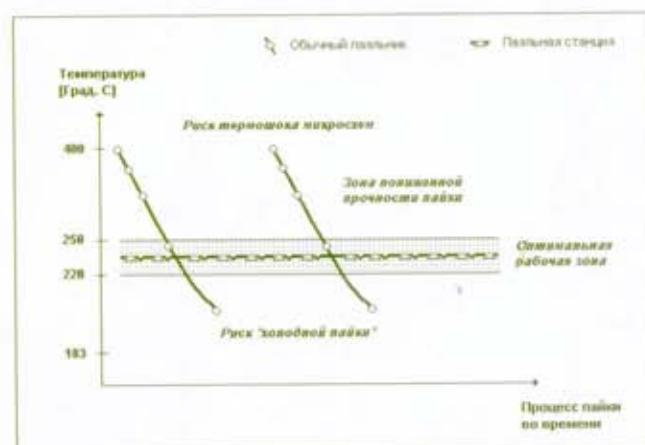


Рис. 1. Изменение температуры инструмента в ходе пайки

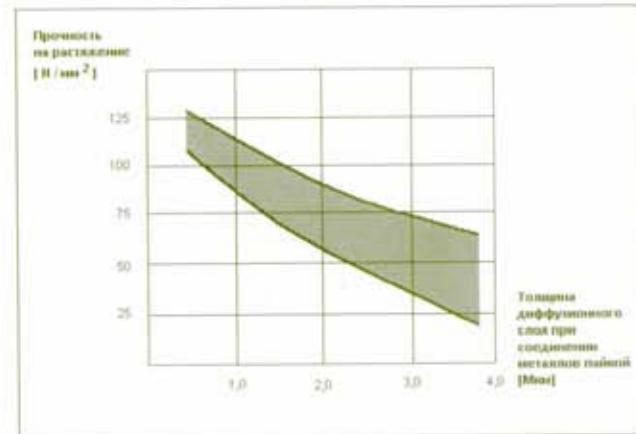


Рис. 2. Прочность паяного соединения как функция режима пайки

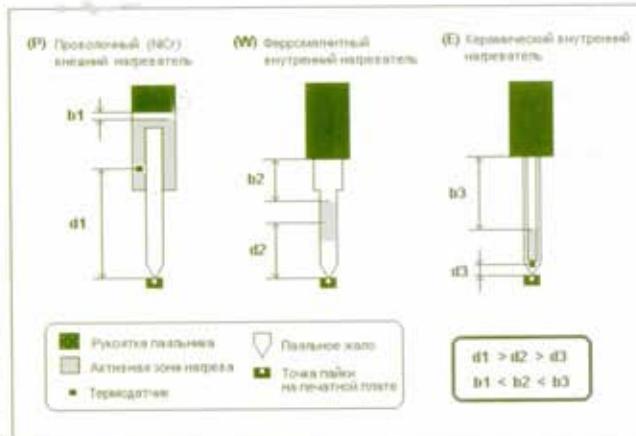
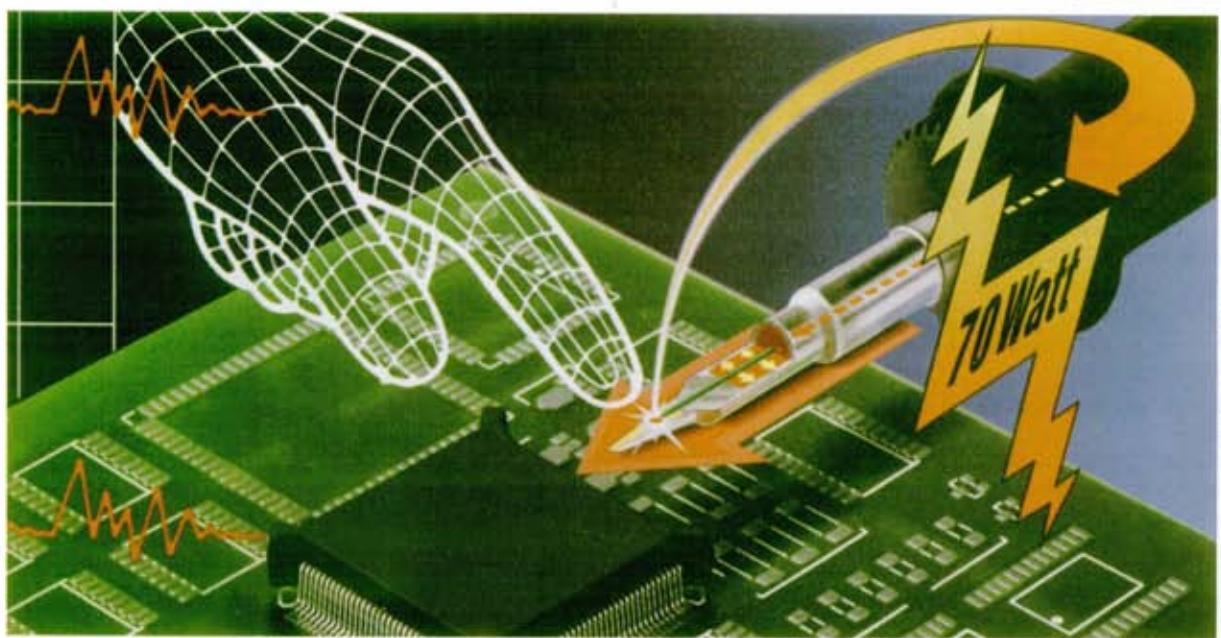


Рис. 3. Базовые конструкции паяльников с температурной стабилизацией

состоит в размещении монолитного паяльного жала внутри медного сердечника с никромовым проволочным нагревателем. В отличие от обычного паяльника в инструменте PACE производится точный контроль температуры с помощью сенсора и пропорциональная компенсация потерь тепла в ходе пайки. Прогревочный нагреватель обладает значительной инерционностью, поэтому в целях



оперативной (в небольших пределах) термокомпенсации как паяльное жало, так и прилегающая к нему часть конструкции паяльника выполнены из меди и весьма массивны. Они представляют собой своеобразный «резервуар тепла», оперативно расходуемый при снижении температуры, пока нагреватель разогревается до необходимого уровня, компенсирующего это снижение. При отсутствии зазоров в крепеже паяльное жало имеет максимальную площадь теплового контакта с нагревателем, что считается основным достоинством данного подхода наряду с рекордной ударостойкостью паяльника.

Второй подход (W) реализован в инструментах Weller серии Magnastat. Он основан на использовании эффекта Кюри в ферромагнитном сплаве, которым заполнена рабочая часть объема паяльного жала. При снижении температуры сплава ниже точки Кюри лавинообразно изменяется его магнитная проницаемость, и токи высокой частоты, проходящие через катушку, нагревают весь объем паяльного жала. Стабильность поддержания его температуры достаточно высока, хотя в данной локальной системе саморегулирования и не производится измерение температуры в привычном смысле. Каждое паяльное жало рассчитано только на одну, фиксированную рабочую температуру. Как следствие, при необходимости выполнения работ, требующих различные температуры, используется набор жал из ряда: 260 °C, 310 °C, 370 °C, 425 °C, 480 °C. Электронный блок такой паяльной станции не содержит никаких органов регулировки и отображения температуры, поэтому и цена ее на десяток долларов ниже, чем у ближайшей по классу.

Третий, самый новый подход (E) типичен для паяльных станций ERSA. Он состоит в использовании трубчатых керамических нагревательных элементов ERSA, электрическое сопротивление которых обратно пропорционально температуре. Данное свойство керамических нагревателей ERSA используется весьма эффективно: во-первых, форсированная передача мощности на стадии

нагрева (рис. 4) приводит инструмент в рабочее состояние гораздо быстрее, чем при использовании проволочных никромовых нагревателей (рис. 5). Во-вторых, облегчается пропаивание массивных соединений и многослойных плат на невысоких температурах, что является условием достижения высокого качества (см. выше).

Поддержание стабильной температуры в точке пайки (в идеале — независимо от массы и теплопроводности объекта) предполагает ее контроль как можно ближе к месту фактического контакта и быструю «подкачуку» тепла при охлаждении жала. Каким способом реализованы эти условия в инструменте с керамическим нагревателем?

В технологии ERSA SENSOTRONIC термодатчик вводится вместе с нагревателем во внутреннюю полость паяльного жала. Область нагрева локализована на конечном отрезке керамического нагревателя: в результате жало разогревается равномерно не по всей длине, а лишь в рабочей области. Термодатчик расположен вблизи фактической точки пайки (рис. 3): размер d3 составляет единицы миллиметров. Это обеспечивает максимальную оперативность и точность контроля температуры с уникально малой погрешностью измерения — 1...2 °C. Микропроцессорный вычислитель в электронном блоке паяльной станции ERSA осуществляет регулирование температуры с учетом параметров подключаемых к нему инструментов различной мощности, а также динамики потребления тепла, зависящей от массы и теплопроводности объекта пайки. Другая, более экономичная, но не столь прецизионная технология ERSA RESISTRONIC основана на определении температуры как функции электрического сопротивления керамического нагревателя.

Быстрая термокомпенсация обеспечивается двумя факторами. Во-первых, керамические нагревательные элементы способны форсированно передавать втрой большую мощность, чем никромовые проволочные. Во-вторых, для ускорения теплопередачи в оконечной части новейших жал ERSA ис-

пользуется серебро. Локальная теплопередача и отсутствие массивных элементов в конструкции паяльника (E) избавляет от побочного нагрева соседних объектов: тепловая энергия передается в точку пайки почти без потерь. При работе не покидает ощущение комфорта: паяльник необычайно легкий (вес без шнура — 25 г), а рукоятка его при работе совсем не греется (поскольку расстояние b3 от рукоятки до области локального нагрева максимально — см. рис 3).

Стоит отметить, что по пути использования керамических нагревателей идут не только европейцы (ERSA), но и японцы (Hakko), а за ними следуют молодые тайваньские производители. Впрочем, тайваньские «керамические» нагреватели по электрическим характеристикам пока еще далеки от лидеров — они почти не отличаются от тайваньских никромовых нагревателей предыдущего поколения, несмотря на качественно иной внешний вид.

Паяльное жало как фактор успеха

Отдельного упоминания достойны паяльные жала. Для продления срока службы «фирменные» жала имеют многослойную структуру, внешние слои которой отвечают за долговечность, а внутренние — за высокую теплопроводность. Основную часть жала составляет чистая гальваническая медь. Она покрыта слоем железа для продления срока службы жала. Над слоем железа располагается антикоррозийный слой никеля и несмачиваемый припоем слой хрома. Рабочая (то есть смачиваемая припоем) оконечная часть жала залужена в заводских условиях. Очевидно, многослойные жала ни в коем случае нельзя формовать и «восстанавливать» напильником; при прогорании они не подлежат дальнейшему использованию. В зависимости от интенсивности работ и температурного режима большинство таких жал служит от нескольких месяцев до нескольких лет.

Приспособлением для очистки жал в процессе пайки является влажная губка из вискозы. Кстати, при выключении паяльника не следует очищать жало до следующего сеанса работы: это предохранит его от окисления в охлажденном состоянии и позволит эксплуатировать дольше. Рекомендуется очищать жало перед выполнением каждой операции пайки, не дожидаясь видимого скопления золы флюса на нем. В этом случае доставляемый в место пайки припой будет свежим, без окислов и интерметаллидов, образовавшихся в ходе пайки предыдущей серии соединений

ти во время нахождения разогретого паяльника на подставке.

Для повышения производительности пайочно-ремонтных работ важное значение имеет способ замены паяльных жал и время, необходимое для последующего разогрева инструмента до рабочей температуры. Процесс смены жала занимает единицы секунд в любом паяльнике (P, W, E), но только керамический нагреватель ERSA способен разогревать жало до рабочей температуры за 0...20 секунд.

К числу самых новых и эффективных относятся жала типа «микроволна» (в терминах ERSA) или «мини-волна» (в терминах ACE). Жала этой серии различаются по диаметру рабочей части и типу крепления, но идентичны по принципу действия. Он аналогичен машинной пайке волной, а именно: при «комывании» мест пайки избыточным количеством припоя, под действием сил поверхностного натяжения на выводах компонентов и контактных площадках осаждается его ровно столько, сколько необходимо и достаточно для каждого соединения. При ручной пайке микросхем с малым шагом выводов процедура включает три этапа (см. б).

Действуя антистатическим ручным вакуумным манипулятором (например, VAC-clip), микросхему устанавливают на предварительно очищенные и залуженные помошью того же жала «микроволна» контактные площадки. Для закрепления микросхемы можно припаять два диагонально противоположных вывода тонким жалом. Затем приступают к групповой пайке «микроволновой» каждой из четырех линеек выводов корпуса. Пайка займет всего одну минуту — гораздо меньше, чем предварительная подготовка. Линейку выводов микросхемы флюсуют, используя гель-флюс или крем-флюс, не требующий отливки (F-SW32 DIN8511). Углубление на конце жала «микроволна» заполняют припоеем с еле заметной горкой, а затем нежно (так, чтобы на каждый вывод в линейке приходилось около полутора секунд) почти без нажима перемещают жало перпендикулярно выводам микросхемы от начала линейки и до конца. Оптимальная температура пайки при использовании различных модификаций жала «микроволна» — 235 °C (жало TechWell) до 285 °C (жало MicroWell), однако принципиальное значение имеет здесь не столько точность установки температуры, сколько ее стабильность при перемещении жала от начала до конца каждой линейки выводов (вот где называется отличие высококачественного инструмента от «обычного» паяльника!).

Качество пайки можно оценить визуально и на слух, провода тонким пинцетом по линейке припаянных выводов и вслушиваясь в издаваемый звук. Схожая техника используется для пайки микросхем в корпусе QFP ножевидным жалом (с боковой рабочей поверхностью) при температуре 250 °C. Во всех случаях нет необходимости в супердорогостоящих расходных материа-

лах — мелкозернистой паяльной пасте (обязательной при пайке горячим воздухом) или трубчатом флюсодержащем припое диаметром 0,35 мм (используемом при пайке «вывод-за-выводом» паяльником с тонким коническим жалом). Для пайки жалом «микроволна» годится недорогой, но качественный припой — например Миллиметровый Sn63Pb37 (DIN1707), а при особых требованиях к качеству — Sn62Pb-36Ag2. Применение паяльника с жалом типа «микроволна» при пайке микросхем с малым шагом позволяет получить хороший результат за считанные минуты, не требуя ни дозатора паяльной пасты, ни термофена, ни увеличительных линз с подсветкой. Кстати, жало «микроволна» удобно использовать еще и при устранении межконтактных перемычек: излишки припоя легко втягиваются в углубление на конце жала.

Игра стоит свеч

Резонен вопрос: не слишком ли дорогой ценой обходится замена обычного паяльника на паяльную станцию в погоне за «мифическим» качеством? Ответ зависит от того, насколько технологически

по сравнению с раздельной лайкой выводов; суммы затрат на припой уменьшаются в десять раз; расход паяльных жал снижается в четыре раза — и все это при высоком

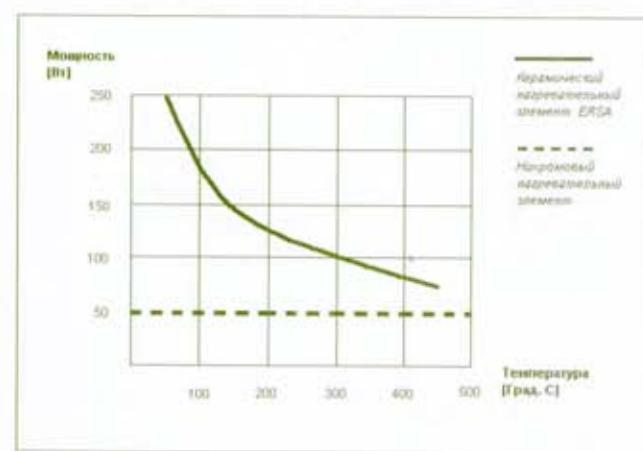


Рис. 4. Мощность паяльника с керамическим нагревателем — величина переменная

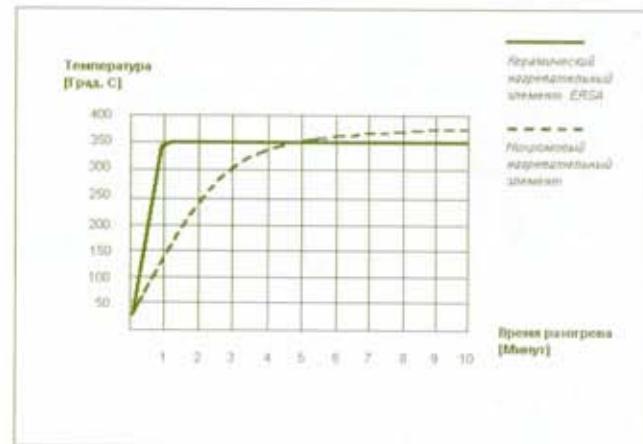


Рис. 5. Скорость выхода паяльников различного типа на рабочий режим



Рис. 6. Быстрая пайка корпусов QFP с малым шагом при помощи жала «микроволна»

сложные и дорогостоящие изделия вы производите (или ремонтируете) и как важна при этом производительность труда. Достаточно одного примера, чтобы ощутить масштабы экономии ресурсов и увеличения производительности труда на предприятии. При пайке микросхем в корпусе PQFP-208 шагом выводов 0,5 мм применение паяльной станции ERSA с жалом «микроволна» ускоряет выполнение работ вдвадцать раз

качество пайки. С карандашом в руке не трудно оценить сроки окупаемости паяльной станции по цене около \$ 250: на Западе оно составляет в среднем полторы недели. В России с учетом низкой оплаты труда радиомонтажника срок окупаемости может растянуться до нескольких месяцев — но и это неплохо! Таким образом, приобретение дорогостоящего инструмента становится выгодным для предприятия решением.