

Виды и классификация оборудования для ручного монтажа



В статье рассмотрены основные инструменты для ручной пайки SMD-компонентов: паяльники, паяльные станции, дополнительное паяльное оборудование (дымоуловители, пинцеты для захвата деталей и т. д.), устройства для контроля. Перечислены их разновидности, указаны функциональные возможности и особенности применения.

000 НПП «Универсал Прибор», г. Санкт-Петербург

Почему ручной монтаж по-прежнему важен

Ручной монтаж остается одним из ключевых этапов производства электроники даже на предприятиях с высоким уровнем автоматизации. Существует целый ряд ситуаций, в которых без квалифицированного монтажника обойтись невозможно.

Прежде всего, не все компоненты подходят для автоматической установки — часть из них по своим конструктивным особенностям может быть размещена на плате только вручную. Кроме того, ремонт и доработка плат в подавляющем большинстве случаев выполняются руками специалистов: если изделие вышло с дефектом или в конструкцию необходимо внести изменения, именно ручное вмешательство оказывается наиболее оперативным и целесообразным решением. В условиях мелкосерийного и опытного производства, когда выпускается небольшая партия или тестируется новый прибор, запускать полноценную автоматическую линию экономически нецелесообразно. Наконец, сборка жгутов и разъемов (обжим, пайка кабельных соединений) во многих случаях также остается ручной операцией, хотя и в этой области постепенно появляются элементы автоматизации.

При этом качество используемого оборудования напрямую определяет

результат работы монтажника. Надежное оборудование с точным контролем температуры позволяет избегать перегрева компонентов и образования так называемой «холодной пайки», что ведет к снижению уровня брака и количества переделок. Не менее важна и производительность труда, которая во многом зависит от эргономики и удобства инструмента. На многих предприятиях скорость сборки непосредственно влияет на оплату труда монтажника, поэтому эффективная организация рабочего процесса — это не абстрактное пожелание, а вполне конкретная экономическая необходимость.

Организация рабочего места монтажника

Подходы к организации рабочего места монтажника на сегодняшний день достаточно стандартизированы. Типовое рабочее место включает в себя специализированный стол, стойки и полки для размещения оборудования, перфопанели на задней части стола для крепления инструмента и аксессуаров, а также системы дополнительного освещения (рис. 1). Главный принцип при организации такого пространства — надежность и эргономичность, поскольку именно от удобства рабочего места напрямую зависит эффективность и утомляемость специалиста.

Вся мебель для рабочих мест может выпускаться как в общепромышленном, так и в антистатическом (ESD) исполнении, что особенно актуально при работе с чувствительными к статическому электричеству компонентами. Далее рассмотрим основные категории оборудования и аксессуаров, применяемых при ручном монтаже.



Рис. 1. Рабочее место монтажника

Общий обзор основных категорий оборудования

Все оборудование, используемое при ручном монтаже, можно условно разделить на несколько крупных групп.

Паяльное оборудование – это центральная категория, включающая паяльные станции различной сложности (от простых комплектов «блок + паяльник» до многоканальных ремонтных центров), станции подогрева (термостолы) для предварительного и равномерного нагрева печатных плат, паяльные ванны для расплавления припоя и поддержания его в жидком состоянии, а также дымоуловители и системы централизованной вытяжки для удаления вредных веществ, образующихся в процессе пайки.

Вспомогательный инструмент охватывает средства для работы с мелкими деталями и компонентами: пинцеты, вакуумные захваты (некоторые компоненты могут быть размером меньше сахарной крупинки, и работать с ними без специального инструмента крайне затруднительно), инструмент для подготовки проводов – кусачки, стрипперы, а также средства визуального контроля – лупы с подсветкой и микроскопы, как оптические, так и цифровые.

Оборудование для контроля и диагностики включает мультиметры для измерения параметров электрических цепей, тестовые приспособления для оперативной проверки работоспособности смонтированных узлов, а также лабораторные источники питания для подачи электрической энергии с заданными параметрами при тестировании изделий.

Рассмотрим каждую из этих категорий подробнее, начиная с самых простых инструментов.

Паяльное оборудование

Паяльники сетевые и автономные
Простейшим инструментом для пайки является сетевой паяльник –



Рис. 2. Сетевой паяльник Weller



Рис. 3. Автономный газовый паяльник Weller

устройство, подключаемое напрямую к электросети (рис. 2). Его конструкция предельно проста, а стоимость начинается буквально от нескольких сотен рублей. Однако такой инструмент не подходит для серьезного производства: как правило, в нем отсутствует какая-либо регулировка температуры, а работа возможна только вблизи розетки.

Альтернативой являются автономные паяльники – аккумуляторные и газовые (рис. 3). Их главное преимущество – независимость от электросети, что делает их удобными для выездных работ. Однако и здесь нельзя рассчитывать на высокую мощность и точность. Диапазон цен на такие инструменты весьма широк – от нескольких сотен рублей до двадцати – тридцати тысяч, но ни один из них не обеспечивает уровня контроля, необходимого для качественного серийного производства.

Паяльные станции:
принцип работы и типы

Принципиальное отличие паяльной станции от простого сетевого паяльника заключается в уровне контроля над процессом. Если обычный паяльник – это инструмент по принципу «включил и жди», то паяльная станция представляет собой комплексное устройство, точно управляющее тем-



Рис. 4. Аналоговая паяльная станция Weller

пературой рабочего инструмента. Рассмотрим основные типы станций.

Аналоговые станции (рис. 4) – наиболее простой и доступный вариант. Они поддерживают заданную температуру, циклически включая и выключая нагревательный элемент. Стоимость таких станций ниже, чем у цифровых, однако температура может несколько колебаться, а точность зависит от качества комплектующих.

Цифровые станции (рис. 5) обеспечивают значительно более точное управление температурой благодаря встроенному микропроцессору. Погрешность поддержания температуры составляет порядка $\pm 2^\circ\text{C}$. Такие станции оснащены дисплеем и кнопками для настройки параметров, поддерживают память профилей, быстрее реагируют на изменения нагрузки и существенно удобнее при выполнении сложных паяльных работ.



Рис. 5. Цифровая паяльная станция Ersa

Импульсные станции отличаются тем, что жало нагревается только в момент контакта с деталью за счет прохождения мощных импульсов тока. Такой подход обеспечивает моментальную готовность к работе, исключает перегрев в режиме простоя и экономит энергию. Вместе с тем у импульсных станций есть существенные ограничения: они не всегда подходят для работы с чувствительными компонентами, а выбор совместимых жал заметен уже, чем у других типов.

Индукционные станции представляют особый интерес с технической точки зрения. В них жало нагревается магнитным полем, а стабилизация температуры происходит за счет физического явления, известного как точка Кюри. Суть его в следующем: при достижении определенной температуры ферромагнитный материал жала теряет свои магнитные свойства и перестает воспринимать энергию индукционного поля – нагрев прекращается. При

остывании ниже точки Кюри магнитные свойства восстанавливаются и нагрев возобновляется автоматически. Благодаря этому эффекту жало само поддерживает нужную температуру, а мощность мгновенно подстраивается под нагрузку. Тепло передается практически без задержки. Однако стоимость таких станций и расходных материалов к ним, как правило, выше, а для ряда чувствительных компонентов, как и в случае с импульсными станциями, они могут быть неприменимы.

Конвекционные и термовоздушные станции (рис. 6) работают по иному принципу: вместо контактного нагрева жалом они используют направленную струю горячего воздуха. Это позволяет бесконтактно паять и демонтировать мелкие SMD-компоненты и микросхемы со множеством выводов. В профессиональной среде



Рис. 6. Термовоздушная паяльная станция Weller

эти два понятия нередко разделяют. Термовоздушной станцией обычно называют простой комплект из управляющего блока и термофена. Конвекционная же станция подразумевает более сложный комплекс, включающий дополнительные модули: нижний подогрев платы, штатив для фиксации фена, вакуумные захваты, а также систему точного контроля термопрофиля с заданными фазами нагрева, выдержки и охлаждения.

Инфракрасные станции (рис. 7) нагревают компоненты за счет инфракрасного излучения, обеспечивая бесконтактный, равномерный и очень точный нагрев. Они особенно хороши для пайки сложных BGA-чипов, поскольку полностью исключают механическое воздействие на компоненты и риск сдувания мелких деталей воздушным потоком. Основными недостатками являются высокая стоимость и сложность конструкции. Излучающие элементы — керамические нагре-



Рис. 7. Инфракрасная паяльная станция «Магистр»

ватели или специальные лампы — со временем деградируют и нуждаются в замене, а само оборудование требует квалифицированного обслуживания.

Расширение функциональности паяльных станций

В базовом исполнении паяльная станция — это блок управления и один паяльный инструмент. Однако производители предлагают целый ряд решений для расширения функциональных возможностей.

К простым дополнениям относятся, например, крепления для вспомогательных аксессуаров — таких как держатель катушки припоя, существенно повышающий удобство работы. Более продвинутым решением являются станции с автоматической подачей припоя: при нажатии педали или кнопки на корпусе паяльника припой по отдельному каналу подается непосредственно к месту пайки, что значительно увеличивает скорость монтажа.

Вершиной функциональности являются многоканальные паяльные станции — комплексы с несколькими независимыми каналами, к которым одновременно могут быть подключены различные инструменты. Это позволяет оперативно переключаться между паяльником, термопинцетом, термофеном, оловоотсосом и вакуумным пинцетом, не загромождая рабочий стол отдельными приборами. Количество каналов варьируется от двух до пяти, что обеспечивает максимальную вариативность при выполнении сложных ремонтных и монтажных работ.

Следует отметить, что ценовой диапазон паяльных станций чрезвычайно широк. Простые непрофессио-

нальные модели могут стоить до нескольких тысяч рублей, тогда как многоканальные станции топового уровня от ведущих производителей достигают стоимости в несколько сотен тысяч рублей. Цена определяется не только функциональностью и качеством, но и логистикой поставки в Российскую Федерацию.

Дополнительное паяльное оборудование

Термостолы (станции подогрева)

Термостол — это устройство для нижнего подогрева печатных плат. Его основная задача — обеспечить равномерный предварительный прогрев платы снизу, чтобы при пайке сверху (феном или паяльником) не возникало теплового удара и перепада температур. Для точного управления в большинстве моделей используются цифровые ПИД-регуляторы, обеспечивающие поддержание температуры с точностью до нескольких градусов. Многие термостолы поддерживают работу по заданному термопрофилю и оснащаются теплоизоляцией корпуса для безопасной эксплуатации.

Термостолы особенно востребованы при демонтаже экранированных деталей, пайке BGA-микросхем и работе с многослойными платами, чувствительными к локальному перегреву. Модели выпускаются в различных размерах, что позволяет подбирать оборудование под конкретные производственные задачи.

Паяльные ванны

Паяльная ванна (рис. 8) — устройство, предназначенное для расплавления припоя и поддержания его в жидком состоянии в специальной емкости (тигле). Основная область применения — лужение проводов и выводов радиодеталей методом погружения: кончик провода или вывод компонента опускается в расплавленный припой



Рис. 8. Паяльная ванна Weller

и покрывается ровным слоем. Это позволяет быстро обрабатывать большое количество деталей или многожильных проводов. Паяльные ванны выпускаются в широком диапазоне размеров и мощностей — от компактных моделей на 150 Вт до промышленных агрегатов мощностью до 3000 Вт, рассчитанных на работу с десятками килограммов припоя.

Дымоуловители

Дымоуловитель (рис. 9) — это устройство, которое всасывает вредный дым, образующийся в процессе пайки, непосредственно с рабочего стола и очищает его через систему фильтров, возвращая чистый воздух в помещение. Необходимость использования дымоуловителей на рабочих



Рис. 9. Дымоуловитель АТТЕН

местах монтажников не вызывает сомнений: пары флюсов и припоев содержат вещества, опасные для здоровья при длительном вдыхании. Эта тема заслуживает отдельного подробного рассмотрения, однако главное, что нужно подчеркнуть: дымоуловители — обязательный элемент правильно организованного рабочего места.

Вспомогательный инструмент

Для повышения комфорта и эффективности работы монтажника используется широкий спектр вспомогательного инструмента.

Инструменты для захвата и удержания (рис. 10) включают пинцеты самых разнообразных форм и размеров,



Рис. 10. Пинцеты Bernstein

плоскогубцы, а также специализированные держатели плат — так называемые «третьи руки», позволяющие зафиксировать изделие в удобном для пайки положении и освободить обе руки оператора.

Для подготовки проводов применяются стрипперы (ручные и полуавтоматические) для зачистки изоляции, кусачки-бокорезы для обрезки выводов, а также электрические отвертки для сборки и разборки корпусов.

Несмотря на кажущуюся простоту этих инструментов, при их подборе надо учитывать множество нюансов — от формы и размера рабочей части до качества сплавов, из которых изготовлены режущие кромки и губки. В электронной отрасли, где велик риск повреждения компонентов статическим электричеством, предпочтение, как правило, отдается инструменту в антистатическом (ESD) исполнении.

Оборудование для контроля качества

Визуальный контроль

Визуальный контроль — первый и важнейший этап проверки качества пайки, позволяющий обнаружить дефекты невооруженным глазом или с помощью оптических средств. Ба-



Рис. 11. Лупа с подсветкой на струбцине

зовым инструментом визуального контроля является лупа, или лампа-линза (рис. 11). При этом критически важную роль играет качественная подсветка: даже самое хорошее увеличение бесполезно без освещения, способного выявить мельчайшие неровности, трещины и непропаи.

Цифровой микроскоп выводит увеличенное изображение на экран монитора с помощью встроенной камеры. Это существенно снижает нагрузку на зрение оператора и позволяет комфортно работать с мельчайшими SMD-компонентами в течение длительного времени.

Тринокулярный стереомикроскоп можно считать вершиной оптического контроля на рабочем месте монтажника. Он обеспечивает объемное (стереоскопическое) изображение с большой глубиной резкости, что позволяет точно оценить рельеф паяного соединения. Третий оптический канал предназначен для установки цифровой камеры, тем самым объединяются преимущества прямого визуального наблюдения и возможности цифровой документации результатов контроля.

Электрический контроль

Электрический контроль необходим для проверки работоспособности смонтированной платы и выявления дефектов соединений, невидимых при визуальном осмотре.

Мультиметр (рис. 12) — универсальный измерительный прибор, основными функциями которого при контроле пайки являются проверка цепей на обрыв (прозвонка со звуковой индикацией) и измерение сопротивления. Для оперативной работы также применяются специализированные пробники со световой и звуковой индикацией, позволяющие бы-



Рис. 12. Цифровой мультиметр VA-MM17

стро проверять целостность цепей, не отвлекаясь на показания дисплея.

Тестеры паяных соединений — более специфичное оборудование, предназначенное для точного измерения переходного сопротивления контактов. Для этого используются тестовые адаптеры и имитаторы сигналов, позволяющие подать на плату необходимые входные воздействия и убедиться в корректности ее отклика.

Современные мировые тренды

Развитие оборудования для ручного монтажа определяется несколькими ключевыми тенденциями.

Цифровизация и подключение к ПК. Современные паяльные станции все чаще оснащаются интерфейсами для подключения к компьютеру, что обеспечивает логирование температуры и других параметров в реальном времени. Это позволяет вести статистику процессов и контролировать качество на уровне каждого паяного соединения. Параллельно развиваются системы учета рабочего времени, анализирующие активность инструмента (работа или простой) для автоматического контроля эффективности работы персонала.

Автоматизация рутинных задач. Роботизированные манипуляторы, программируемые для автоматической пайки или установки крупных компонентов, постепенно входят в практику даже на участках ручного монтажа. Они обеспечивают идеальную повторяемость операций и разгружают монтажника, освобождая его от наиболее монотонных задач.

Экологичность. Под влиянием директивы RoHS¹ производство активно переходит на бессвинцовые припои и сплавы. Промышленные дымоуловители совершенствуются: помимо основной функции фильтрации воздуха, некоторые модели реализуют принцип рекуперации — возвращают нагретый очищенный воздух обратно в помещение, экономя тепловую энергию.

¹ RoHS (от Restriction of Hazardous Substances — ограничение использования опасных веществ) — европейская директива, ограничивающая применение определенных опасных веществ, в частности свинца, в электро-техническом и электронном оборудовании.

Рекомендации по выбору оборудования

При выборе оборудования для ручного монтажа мы рекомендуем придерживаться следующего алгоритма. В первую очередь необходимо четко определить стоящие задачи: какие типы компонентов предстоит монтировать (SMD, выводные, разъемы), каков планируемый объем производства (серийное или единичные изделия). Затем следует оценить бюджет, разделив его на начальное оснащение базовыми моделями и долгосрочные инвестиции в профессиональное оборудование. Важно проверить совместимость выбранного оборудования с существующими технологическими процессами и требованиями по защите от статического электричества (ESD). Перед принятием окончательного решения крайне желательно протестировать оборудование — запросить демонстрационный образец и провести испытания на реальных платах. Наконец, необходимо учесть вопросы сервисного обслуживания: условия гарантии, доступность ремонта и наличие расходных материалов.

Типичные ошибки

Практика показывает, что наиболее распространенными ошибками при оснащении участков ручного монтажа являются: экономия на антистатической защите, приводящая к росту скрытых дефектов; использование бытовых паяльников вместо профессионального оборудования, что порождает нестабильное качество пайки; отсутствие дымоуловителей, наносящее прямой ущерб здоровью персонала; неэргономичная организация рабочих мест, ведущая к повышенной утомляемости и снижению производительности; а также игнорирование обучения сотрудников, результатом которого становится неправильная эксплуатация даже качественного оборудования.

Решением перечисленных проблем является комплексный подход к оснащению, при котором все элементы рабочего места — от мебели и инструмента до расходных материалов и средств контроля — подбираются как единая система.

Принцип разумного выбора

Главный принцип при подборе оборудования прост и универсален: инструмент должен соответствовать задаче. Избыточное оснащение столь же нерационально, сколь и недостаточное. Нет смысла приобретать дорогостоящий многоканальный ремонтный центр для простых операций лужения, равно как и пытаться выполнять сложную пайку BGA-компонентов бытовым паяльником.

Заключение

Подводя итог, отметим, что грамотный выбор и комплексное оснащение рабочих мест для ручного монтажа — это не разовое мероприятие, а системная работа, включающая анализ текущих процессов, выявление узких мест, подбор подходящего оборудования и его тестирование в реальных производственных условиях.

НПП «Универсал Прибор» представляет решения для организации ручного монтажа: технологические материалы, соответствующие требованиям современных производств (припои, паяльные пасты, флюсы, отмывочные жидкости, лаки, клеи), паяльное оборудование зарубежных и отечественных производителей, а также высокоточный ручной ESD-инструмент и разнообразные аксессуары для организации рабочего места монтажника.

Мы рекомендуем начать с аудита текущих рабочих мест, составить список факторов, тормозящих процесс, и на основе этого анализа совместно со специалистами подобрать оптимальный комплект оборудования, при возможности предварительно протестировав его на реальных задачах.

М. В. Латкин, руководитель отдела паяльного оборудования и расходных материалов, ООО НПП «Универсал Прибор», г. Санкт-Петербург, тел.: +7 (812) 334-5566, эл. почта: pribor@pribor.ru, сайт: www.pribor.ru

Иллюстрации предоставлены ООО НПП «Универсал Прибор»