

# Многофункциональные универсальные установки российского производства для ультразвуковой и контактной микросварки

Для нужд отечественной микроэлектронной промышленности и научно-исследовательских лабораторий российскими инженерами разработано современное микросварочное оборудование для разварки алюминиевой, медной и золотой проволоки диаметром 15–300 мкм. Благодаря комплекту быстро сменяемых головок, предназначенных для разных типов сварки и диаметров проволоки, можно охватывать широкий круг задач и выполнять необходимые операции с помощью одной установки (система «несколько установок в одной»). Управление многоопочной мышью объединяет преимущества ручного и автоматического управления и позволяет одинаково эффективно применять установки как для разварки опытных образцов, так и в серийном производстве.

**Антон Уголев**

ugolevant@eastbond.ru

**Сергей Уголев**

ugols@eastbond.ru

## Продукция EastBond

На российском рынке оборудования появилась новая разработка — универсальные установки ультразвуковой и контактной микросварки ES-4029 и ES-4030 отечественной марки EastBond. Не обойдем стороной возможный вопрос пытливого читателя о происхождении этого названия: раз на Западе есть WestBond, тогда уж на Востоке обязательно должен быть и EastBond.

При создании установок учитывался многолетний опыт инженеров-наладчиков и операторов отечественной микросварочной аппаратуры, которые сталкивались с как с необходимостью механической настройки и регулировки установок в процессе работы, так и с потребностью их регулярного обслуживания. И чем больше таких моментов при эксплуатации оборудования, тем выше требования

к квалификации оператора и наладчика и тем сложнее эксплуатация.

Исходя из этого при разработке конструкции установок преследовалась цель свести к минимуму набор механических настроек. Если что-то не регулируется в принципе, то оно и не сможет разрегуливаться.

## Блок, блок, еще блок...

Применение блочной архитектуры (рис. 1) в оборудовании имеет свои плюсы и минусы. Плюсы — добавление или изменение функционала установки с помощью дополнительных блоков или их замены. Минусы — увеличение количества межблочных проводов и разъемов (что создает дополнительные места потенциального пропадания контактов и снижает срок службы), загромождение поверхностей оборудования.



Рис. 1. Советская установка микросварки УЗС.М



Рис. 2. Импортная установка микросварки WestBond 453730E

**Таблица.** Технические характеристики установок микросварки ES-4029 и ES-4030

Параметры		ES-4029	ES-4030
Тип сварки		ультразвуковая, термозвуковая	расщепленным электродом
Метод сварки		клин-клин	
Диаметр проволоки		15–60 мкм (ES-4029t: 80–300 мкм)	15–60 мкм
Материал проволоки		алюминий, золото (ES-4029t: алюминий)	золото, медь
Давление и температура	Усилие сжатия	30–300 г (диапазон электронной регулировки: 100 г)	
	Подогрев инструмента	до +200 °С	
	Подогрев изделия	до +150 °С	
Длительность		25–1000 мс	
Сварочный импульс	Мощность	до 10 Вт (ES-4029t: до 30 Вт)	до 100 Вт
	Напряжение	–	до 2 В
Расстояния	Ход привода Z	7 мм	
	Ход привода Y	7 мм	
	Глубина проникновения	ES-4029k: до 17 мм	ES-4030k: 20 мм
	ES-4029t: до 20 мм		
Габариты	Габаритные размеры [д×ш×в]	400×310×360 мм	
	Масса	16 кг	

Ультразвуковой генератор, источник тока контактной сварки, блок формирования шарика (искровой генератор), температурный контроллер, пульт управления — если эти основные узлы установки микросварки будут выполнены в виде блоков, то объединить их в одно законченное изделие, способное конкурировать с импортным оборудованием (рис. 2) с точки зрения эстетики и внешнего вида, будет очень непросто.

В установках микросварки ES-4029 (рис. 3) и ES-4030 все эти узлы находятся внутри, причем большинство из них размещено на одной печатной плате без единого радиатора. Никаких внешних блоков и межблочных соединений нет. Установка лаконична и компактна. Вес — всего 16 кг. Основные технические характеристики данных установок приведены в таблице.

### Несколько установок в одной

В микросварке применяются различные методы (ультразвуковая, термозвуковая, термокомпрессионная, расщепленным электродом, косвенным импульсным нагревом), различные диаметры проволоки (тонкая — до 60 мкм, толстая — от 60 мкм и выше), разные способы автоматической подачи проволоки (сверху и сбоку). Эти и многие другие моменты приводят к серьезным различиям в конструкциях сварочных узлов и электронике установок, рассчитанных под определенную задачу. Некоторые производители идут по пути создания отдельных модификаций установок под свой метод сварки или диаметр проволоки.

При научных исследованиях бывает необходимо испытывать различные методы и способы сварки, пробовать разные диаметры проволоки для достижения оптимальных результатов. Иметь для этого несколько установок не всегда оптимально, к тому же и достаточно накладно.

При разработке установок стояла задача обеспечить возможность реализовывать на одной установке различные методы и способы сварки за счет быстрой смены сварочной головки.

В результате было найдено механическое решение, при котором практически вся механика установки реализуется в сварочной головке, фиксируемой на валу двигателя одним винтом. Замена головки занимает всего пару минут, остается только заправить проволоку.

Электроника установки спроектирована таким образом, что позволяет осуществлять как ультразвуковую, так и контактную сварку расщепленным электродом, в зависимости от установленной сварочной головки. При смене сварочной головки не требуется производить никаких замен в управляющих платах.

Для ультразвуковой/термозвуковой сварки предназначено несколько сварочных головок:

- для разварки алюминиевой и золотой проволокой диаметром до 60 мкм, с боковой подачей проволоки и подогревом инструмента (ES-4029);
  - для разварки алюминиевой и золотой проволокой диаметром до 60 мкм, с вертикальной подачей проволоки для глубокого доступа «в колодец» и подогревом инструмента (ES-4029k);
  - для разварки толстой алюминиевой проволокой до 300 мкм, с автоматической подрезкой ножом, с вертикальной подачей проволоки для глубокого доступа «в колодец» (ES-4029t).
- Для контактной сварки расщепленным электродом также предусмотрено несколько сварочных головок:
- для разварки золотой проволокой диаметром до 60 мкм, с боковой подачей проволоки (ES-4030);

- для разварки золотой проволокой диаметром до 60 мкм, с вертикальной подачей проволоки (ES-4030k).

В разработке находятся головки для сварки методом «шарик-клин», а также для сварки плоской лентой.

### Вдоль или поперек?

Как правило, в микросварочном оборудовании отечественного и зарубежного производства применяется продольное расположение сварочной головки.

При такой конфигурации автоматизированная сварка происходит в направлении от оператора (первая точка — ближе к оператору, вторая — дальше). Заправка проволоки в наклонное отверстие сварочного инструмента выполняется сзади; при этом кончика проволоки в микроскоп не видно, поскольку ее закрывает сварочный инструмент, и это затрудняет процесс заправки.

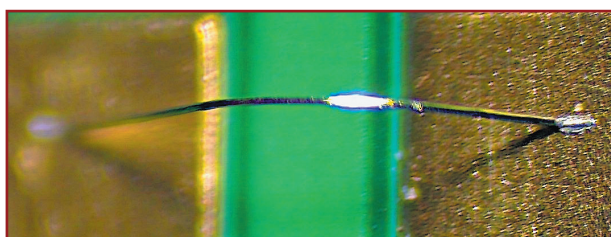
В процессе формирования перемычки в фокусе микроскопа оказывается только одна из ее сварных точек, так как микроскоп наклонен под определенным углом. При этом вторая точка будет тем больше не в фокусе, чем длиннее перемычка (рис. 4).

При поперечном расположении сварочной головки образование перемычки происходит в направлении «справа налево».

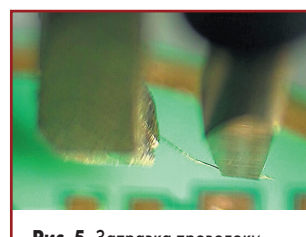
В такой конфигурации заправка проволоки производится слева; эту процедуру можно выполнять, не отрывая взгляда от микроскопа,



**Рис. 3.** Российская установка микросварки EastBond ES-4029



**Рис. 4.** Перемычка «вперед/назад». Изображение повернуто на 90°



**Рис. 5.** Заправка проволоки в ES-4029. Вид в микроскоп

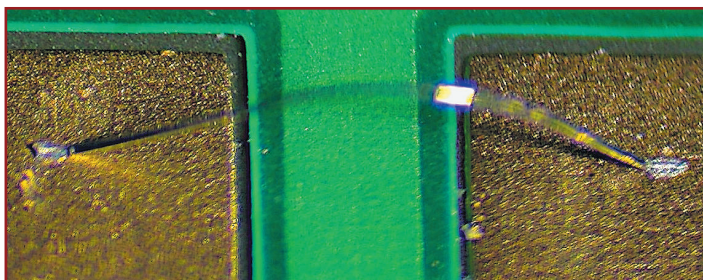


Рис. 6. Перемычка «справа налево»

поскольку при этом виден кончик проволоки. Более того, объемное зрение бинокулярного микроскопа позволяет правильно оценивать продольную координату кончика проволоки, поэтому расположить ее на оси сварочного инструмента и попасть в заправочное отверстие несложно (рис. 5).

Все сварные точки перемычки (если они находятся на одной высоте) оказываются на линии резкости микроскопа, а значит, в фокусе. Помимо этого, лучше виден весь профиль перемычки (рис. 6).

Итак, при разработке установок по этим соображениям было выбрано поперечное расположение сварочной головки.

### «От ручки» или «от кнопки»?

Отечественные ручные установки микросварки условно можно разделить на две группы по типу управления приводом вертикального перемещения: «от ручки» и «от кнопки».

Установки первой группы («от ручки») более универсальны, лучше подходят для разварки изделий с множеством точек сварки, различных по высоте, но расплата за это — отсутствие коррекции формы перемычки при изменении высоты сварных точек. Такие установки имеют большую зависимость результата от квалификации оператора, но и больше возможностей при сварке опытных образцов.

Установки второй группы («от кнопки») комфортнее для изделий с фиксированной разновысотностью сварных точек и предпочтительны для отработанных технологий, а также для серийного производства. Не позволяют (в отличие от первых) производить экстренную повторную сварку. Такие установки имеют меньшую зависимость результата от квалификации оператора, но и меньше возможностей при сварке опытных образцов.

При разработке установок была поставлена задача объединить в одной установке преимущества двух типов управления. Проблема решена с помощью многокнопочной компьютерной мыши, подключаемой непосредственно к установке. Семь кнопок мыши и колесо используются для автоматической сварки одной точки или всей перемычки, для переключения режимов, для подачи проволоки вперед/назад и других оперативных функций. Перемещение мыши используется для ручного управления вертикальным приводом (аналог ручки).

Мышь позволяет также оперативно и наглядно изменять профиль и длину перемычки. Это намного удобнее, чем с клавиатуры: оператор смотрит не на дисплей, нажимая клавиши и задавая параметры численно, а в микроскоп, двигая с помощью мыши сварочную головку и прицеливаясь сразу в нужную точку как по горизонтали, так и по вертикали. В результате задачу изменения конфигурации перемычки можно решить с помощью мыши буквально за несколько секунд, не отрывая взгляда от микроскопа.

В дополнение к мыши для управления установкой может использоваться опциональная электронная педаль, которая позволяет вручную (точнее, «внужную») управлять приводом вертикального перемещения сварочной головки. Благодаря педали или мыши установка всегда автоматически «ловит высоту касания», так что профиль и высота перемычек не изменяются, что невозможно при использовании механических педалей с тросиком. При работе с электронной педалью обеспечивается дополнительный комфорт за счет применения адаптивной чувствительности к перемещению педали, так что вертикальное перемещение вблизи сварочной поверхности происходит с повышенной точностью.

Применение моторизированных приводов вертикального (Z) и горизонтального (Y) перемещения сварочной головки совместно с электронной регулировкой давления на точку сварки позволяет автоматизировать выполнение сложных и трудоемких микросварочных задач.

Одной из таких задач является сварка мостов Ланге — сверхкоротких перемычек на близко лежащих параллельных проводниках. Установки ES-4029 и ES-4030 разваривают мосты Ланге (как одностежковые, так и двухстежковые) полностью автоматически, для этого предусмотрен специальный режим. Оператору остается только прицелиться в первую точку сварки и нажать на кнопку мыши для автоматической сварки всей перемычки. Поскольку все движения автоматизированы, то мосты Ланге получаются одинаковые.

### Восток — дело тонкое

Для создания сварного усилия в установках используется сочетание электромагнита и регулируемой пружины. Такая конфигурация позволяет покрывать широкий диапазон усилий — от нескольких граммов до полукилограмма, сохраняя возможность программно управлять этим усилием в рабочих пределах  $\pm(100-150)$  г.

Возможность работы на усилиях порядка нескольких граммов позволяет успешно применять установку для решения специфических задач «тонких» технологий — например, для разварки газовых датчиков платиновой остеклованной проволокой диаметром 7 мкм.

### Энергоэффективность

При проектировании электроники был сделан акцент на энергоэффективность, компактность, надежность и универсальность. Вся электроника выполнена без применения радиаторов, а тем более вентиляторов, которые создают необходимость дополнительного регулярного обслуживания, поэтому в корпусе установки отсутствуют вентиляционные отверстия для предотвращения доступа пыли к электронике. Во включенном состоянии установка потребляет 18 Вт (без верхнего и нижнего подогрева). При предельных параметрах сварочного импульса (порядка 120 А для контактной сварки и 30 Вт для ультразвуковой сварки) вся электроника остается холодной даже при прохождении подряд нескольких сварочных импульсов длительностью 1 с каждый.

### Ультразвук: быстрее, выше, сильнее

О том, что повышение частоты ультразвука положительно сказывается на качестве ультразвуковой и термозвуковой сварки, было известно уже в начале 1990-х годов. Практический опыт последующих лет, как зарубежных, так и отечественных инженеров, подтвердил это.



Рис. 7. Ультразвуковые преобразователи, применяемые в установках ES-4029

Применение повышенной частоты ультразвука при термозвуковой сварке золотой проволокой позволяет понизить температуру подогрева изделия до +100 °С, а при применении специализированных микроинструментов (с особым покрытием рабочей части) и вовсе обходиться без подогрева.

Поэтому мы сделали заказ инженерам американской компании UTNE Technology Inc., которая является одним из ведущих мировых производителей ультразвуковых преобразователей, на разработку высокочастотной версии преобразователя модели 62PT с резонансной частотой 110 кГц. Эта модель по габаритным размерам взаимозаменяема с отечественными преобразователями УЗП-2,5 и УЗП-6,3 (рис. 7).

Данный преобразователь показал хорошие результаты при работе на отечественных микроинструментах КУТ и применяется в сварочных головках ES-4029 и ES-4029k.

Для управления преобразователем используется встроенный в управляющую плату цифровой ультразвуковой генератор собственной разработки, построенный на принципе прямого цифрового синтеза частоты (DDS, direct digital synthesis) с частотоподающим кварцем.

Генератор работает в диапазоне мощностей от десятых долей мВт до 30 Вт, соответственно, предусматривает выполнение микросварки проволоки толщиной 7–300 мкм. В памяти устройства могут храниться параметры сразу нескольких ультразвуковых преобразователей, что исключает перекалибровку при замене сварочной головки.

Автоподстройка резонансной частоты хорошо отслеживает и включение/выключение верхнего подогрева, когда конец преобразователя и сварочный микроинструмент подогреваются до +100...+200 °С, что приводит к смещению резонансной частоты более чем на 1 кГц.

Для оперативного тестирования акустической системы<sup>1</sup> перед началом работы в интерфейсе предусмотрена горячая комбинация клавиш, при нажатии которой на дисплей сразу выводятся результаты тестирования: добротность, импеданс, резонансная частота акустической системы.

В процессе работы при прохождении каждого импульса сварки происходит измерение и отображение на дисплее основных параметров импульса и акустической системы (рис. 8):



Рис. 8. Вид дисплея установки ES-4029 в рабочем режиме

тока, импеданса, добротности, причем несколько сразу в соответствии с настройками пользователя.

### Микроинструменты

Совместно с инженерами НТЦ «Контур» (г. Чебоксары) были разработаны и изготовлены микроинструменты для решения различных микросварочных задач.

Для термозвуковой сварки золотой проволокой в импортных установках предпочтительны микроинструменты с поперечной канавкой на рабочей части. Поперечная канавка улучшает сцепление инструмента с проволокой, поскольку захватывает ее при сварке.

В отечественном стандартном ряде микроинструментов серии КУТ, определенном в ОСТ II 31.5001.92 (капилляры для ультразвуковой и термокомпрессионной сварки), отсутствуют инструменты с поперечной канавкой на рабочей части. Этот недостаток был восполнен созданием дополнительных инструментов серии КУТ61 в двух модификациях: с плоской рабочей частью и с поперечной канавкой на рабочей части. Инструменты призваны обеспечить более высокие показатели качества сварки при термозвуковой микросварке золотой проволокой.

Для сварки с глубоким доступом «в колодец» за рубежом нередко применяются инструменты с центральным отверстием для вертикальной подачи проволоки, которое служит как бы дополнительной направляющей для проволоки, чтобы повысить стабильность петлеобразования. Однако в отечественном стандарте не существует инструментов с центральным отверстием. Поэтому для задач ультразвуковой и термозвуковой сварки с глубоким доступом разработаны и изготовлены микроинструменты, имеющие специальный профиль для устранения провиса проволоки между капилляром и центральным отверстием (рис. 9).

Для контактной сварки расщепленным электродом с глубоким доступом (головка ES-4030k) также разработаны и изготовлены специальные электроды ЭК2 увеличенной длины с дополнительным вертикальным отверстием для автоматической подачи проволоки.

Для сварки толстой алюминиевой проволокой (толщиной более 100 мкм) в отечественном оборудовании в основном применяются инструменты серии КУТ4. Однако в этих инструментах стандартом не предусмотрен угол наклона капилляра 60°, который предпочтителен при вертикальной подаче проволоки (а при сварке толстой алюминиевой проволокой зачастую необходима именно вертикальная подача). К тому же в стандартных инструментах КУТ4 на рабочей части имеется продольная канавка U-образной формы, тогда как применение V-образной канавки дает более компактные и аккуратные отпечатки (рис. 10).

Поэтому были разработаны дополнительные модификации инструментов КУТ4 с углами капилляра 60°, 70° и 80° под разные диаметры проволоки. Также в ходе испытаний было обнаружено, что применение иного угла V-образной канавки, отличного от им-



Рис. 9. Новые микроинструменты серии КУТ с центральным отверстием для вертикальной подачи проволоки



Рис. 10. Сварные отпечатки от инструментов: а) с U-канавкой; б) с V-канавкой. Фото взято из каталога Geiser Coorstek

портных аналогов, дает неплохие результаты, позволяя успешно разваривать даже «нежные» технологии, которые не удавалось разваривать на импортном оборудовании.

### Оптическая система

На установках может применяться оптическая система двух видов:

- 1) бинокулярная оптическая головка с увеличением 20×/40×;
- 2) тринокулярная оптическая головка с камерой и монитором.

Тринокулярная оптическая головка оснащена трансформатором для регулировки увеличения в пределах 9×...45×. В тринокуляр устанавливается камера с разрешением FullHD, выдающая изображение по интерфейсу HDMI напрямую на монитор с частотой 60 кадров/с. С помощью подключаемой к камере мыши можно устанавливать несколько «прицелов» в виде перекрестий, осуществлять измерения расстояний, производить фото- и видеосъемку на внешний носитель.

Такая система (рис. 11) не требует наличия дополнительного ПК, поскольку изображение с камеры передается сразу на компактный монитор, смонтированный в крышку установки. Задержка вывода изображения составляет около 0,1 с, что делает его живым, плавным и реалистичным. Запас разрешения камеры позволяет при необходимости вывести изображение на большой телевизор для наглядной демонстрации процесса микросварки, что может быть интересно в образовательных учреждениях.

Для «экзотических» применений (например, работа установки внутри бокса с инертным газом) предусмотрена возможность управлять установкой беспроводной мышью и выводить изображение с камеры на внешний монитор по беспроводному каналу.

<sup>1</sup> В ультразвуковых установках микросварки акустической системой называют связку «ультразвуковой преобразователь — сварочный инструмент».



**Рис. 11.** Установка микросварки ES-4030 с тринокулярной оптической видеосистемой (камера на фото не показана)

#### Отличия от импортных аналогов

- **Стоимость.** Установки EastBond ES-4029 и ES-4030 по стоимости многократно ниже ближайших импортных аналогов (TPT HB16, K&S iBond5000, F&S Bondtec 53xx, Hybond 676, WestBond 4546E) при схожей функциональности.
- **Производительность.** Скорость работы установок EastBond выше ближайших импортных аналогов в несколько раз. Кинематическая

производительность составляет порядка 10 000 присоединений/ч, что позволяет разваривать более двух перемычек в 1 с.

- **Пантограф.** В отличие от многих импортных аналогов, установки EastBond не оснащены пантографом. Позиционирование предметного столика по стеклу осуществляется непосредственно пальцами рук. На первый взгляд у операторов могут возникнуть сомнения в возможности точного позиционирования таким способом, но они рассеиваются после практического опробования: позиционировать таким способом возможно с точностью до нескольких мкм. Пальцы человека — это поистине непревзойденный манипулятор. Для позиционирования массивных изделий с целью уменьшения силы трения применяется специализированный предметный столик на линейных роликовых направляющих, с преимущественным движением по осям X и Y.
- **Быстросменные сварочные головки.** Из упомянутых импортных аналогов возможность замены сварочных головок имеют только установки австрийской компании F&S Bondtec, стоимость которых в несколько раз выше.
- **Контактная сварка расщепленным электродом.** В линейке всех вышеупомянутых импортных производителей отсутствуют установки для сварки расщепленным электродом. В линейке оборудования EastBond имеется как отдельная установка для сварки расщепленным электродом (ES-4030), так и сменная сварочная головка для дополнения установок ультразвуковой сварки ES-4029 возможностью контактной сварки.

#### Выводы

В этой статье мы постарались рассказать о нашей разработке для отечественной промышленности — ручных установках микросварки.

Для более подробного знакомства с микросварочным оборудованием можно посетить технологический демозал в Подмоскowie (г. Климовск): попробовать установки в работе, разварить свои изделия, подобрать оптимальную технологию и найти наиболее подходящую модель оборудования.