

# Установки микросварки серии 45XX компании Kulicke&Soffa

Евгений Скоробогатько

micro@ostec-group.ru

## Параметры микросварки

Данная статья в большей степени ориентирована на технологов, инженеров и операторов, работающих с установками Kulicke&Soffa. Довольно часто возникают вопросы о значениях параметров ультразвуковой (УЗ) микросварки, которые должны быть установлены на оборудовании, в каких единицах они отображаются. Прежде чем ответить на эти вопросы, обратимся к теории.

Микросварка применяется при монтаже кристаллов с помощью золотой и алюминиевой проволоки или ленты. Процесс УЗ-микросварки основывается на введении механических колебаний УЗ-частоты в зону соединения, что приводит к пластической деформации приконтактной зоны, разрушению и удалению поверхностных пленок. Это, в свою очередь, ведет к образованию прочного сварного соединения без большой пластической деформации свариваемых деталей.

Наиболее часто применяются продольные колебания частотой 60–66 кГц, вводимые в зону сварки с помощью волноводной системы (рис. 1), состоящей из преобразователя (1), акустического трансформатора (2), концентратора (3). Колебания от рабочего инструмента (4) сообщаются проволочному выводу (5), совмещенному с контактной площадкой (6).

Режим сварки на заданной частоте характеризуется следующими параметрами:

- Акустической мощностью  $P_{ак}$ , вводимой в сварочную зону, которая связана с электрической мощностью  $P$ , подводимой к преобразователю:

$$P = (P_{ак}/\eta_m) + P_0,$$

где  $\eta_m$  — механический КПД преобразователя (0,5—0,7 для магнитострикционных, 0,8—0,9 для

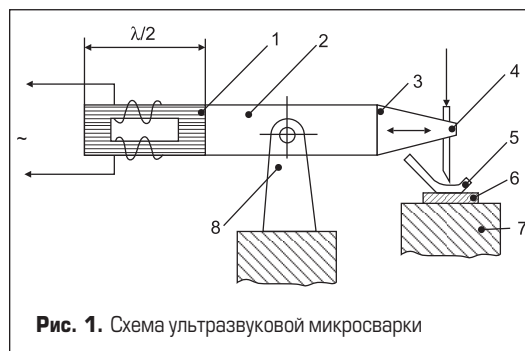


Рис. 1. Схема ультразвуковой микросварки

пьезоэлектрических),  $P_0$  — мощность потерь на подмагничивание.

- Контактным усилием сжатия  $F$ , которое зависит от толщины свариваемых элементов и подводимой мощности. При недостаточном усилии сжатия необходимое сцепление между инструментом и деталью не достигается: происходит проскальзывание инструмента по детали. Увеличение усилия сжатия приводит к чрезмерной деформации сварной точки и снижению прочности соединения. Оптимальная степень обжатия вывода выбирается в соответствии с коэффициентом деформации 0,5—0,6:

$$K_d = (d_{пр} - H_d)/d_{пр},$$

где  $d_{пр}$  — диаметр проводника,  $H_d$  — высота деформированной зоны.

- Формой рабочей части инструмента, которая выбирается по следующему принципу: длина деформируемого при сварке проводника должна быть равна двум-трем его диаметрам. Повышению прочности способствует небольшой паз в центре рабочей части вдоль свариваемой проволоки.

Функциональные особенности конструктивных элементов инструмента при УЗ-микросварке заключаются в следующем (рис. 2):

- Диаметр направляющего отверстия выбирается из условия устранения возможности забивки его материалом привариваемой проволоки:

$$d_0 \geq 1,5d_{пр}.$$

- Угол наклона направляющего отверстия определяется условиями перемещения инструмента на вторую сварку и зависит от высоты и длины проволочной перемычки:

$$\alpha = \arctg(h/\gamma),$$

где  $h$  — высота проволочной петли,  $\gamma$  — перемещение стола. Оптимальная величина угла  $\alpha$  составляет 30°.

- Длина рабочей части инструмента  $L$  определяет длину деформируемой при сварке проволоки и выбирается из соотношения  $L = 2d_{пр}$ ; оптимальное значение  $L$  составляет 0,1 мм для проволоки диаметром 27 мкм и 0,2 мм для проволоки диаметром 60 мкм.

- Глубина продольного паза  $b$  зависит от коэффициента деформации  $K_d$ , равного 0,6:

$$b = (0,01-0,05) \text{ мм.}$$

- Удаление выхода отверстия от задней кромки рабочей площади инструмента должно обеспечивать симметрию петли проволоочной перемычки:

$$l_{уд} = 8d_{пр}$$

- Угол наклона задней кромки рабочей площадки  $\beta$  должен обеспечивать подрезку проволоки после второй сварки без остаточного напряжения в ней. Оптимальная величина угла  $\beta$  составляет  $60^\circ$ .

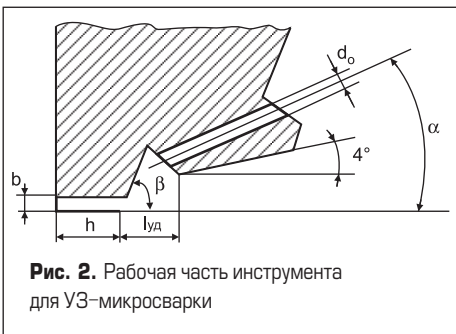


Рис. 2. Рабочая часть инструмента для УЗ-микросварки

Анализ факторов, влияющих на качество и надежность микросварных соединений, показывает, что все технологические параметры УЗ-микросварки оказываются настолько тесно связанными, что неудачный выбор одного из них изменяет ранее установленные значения других.

Следовательно, для обеспечения высокого качества и воспроизводимости ультразвуковой сварки важны следующие параметры: обеспечение заданной микрогеометрии поверхности контактных площадок; оптимизация технологических параметров УЗ-микросварки методом математического моделирования; разработка новых способов микросварки с активацией процесса физико-химического взаимодействия контактирующих металлов.

УЗ-микросварка позволяет соединять без значительного нагрева самые разнообразные металлы (алюминий, медь, никель, золото, серебро) между собой, а также металлы с полупроводниковыми материалами. Выполнение проволоочного соединения контактной площадки на кристалле с траверсой корпуса требует, наряду со сварочными операциями, действий по совмещению инструмента с местом сварки на кристалле и корпусе схемы.

Возникает вопрос: что же означают цифровые значения параметров на установках Kulicke&Soffa серии 45XX?

Если посмотреть на установку с аналоговым управлением, можно увидеть несколько лимбов с цифровыми значениями от 0 до 10. На установке с цифровым управлением аналогичные значения отображаются на цифровом дисплее. Разберемся подробнее с каждым параметром.

Чтобы избежать загромождения рабочей панели и цифрового дисплея установки, ком-

пания Kulicke&Soffa проградуировала и откалибровала параметры микросварки следующим образом:

- Power** (мощность ультразвука). Вся шкала представлена в процентном соотношении, т. е. нулю на лимбе или цифровом дисплее соответствует 0%, а десяти — 100%. Low (низкий уровень) — это значения 0–1,3 Вт (1,3 Вт = 100%). High (высокий уровень) — 0–2,5 Вт (2,5 Вт = 100%). Например, если необходимо задать мощность 1 Вт, то в этом случае для уровня Low значения будут равны приблизительно 77%, или 7,7 на лимбе или цифровом дисплее, а для High при той же мощности — 40%, или 4.
- Force** (статическое усилие). Вся шкала содержит значения 0–80 г, т. е. значение, равное 10 на лимбе или дисплее, соответствует 80 г. Установленное нулевое значение на лимбе или дисплее равно статическому усилию противовеса плюс 3 г (сила, прикладываемая катушкой). Максимальное значение 10 равно усилию при значении 0 плюс дополнительно 80 г.
- Time** (время микросварки). Для короткой временной шкалы (Short time scale) устанавливаются минимум 10 мс и максимум 100 мс. Для установок ультразвуковой микросварки методом клин–клин — 20 мс минимум, для установок методом шарик–клин — 200 мс максимум. При длинной временной шкале (Long time scale) значения равны 10 мс минимум и 1000 мс максимум для термокомпрессии; для разварки лентой — минимум 20 мс и максимум 1000 мс.
- Loop and Search** (высота петли и высота поиска). Вся шкала представлена в процентном соотношении, т. е. нулю на лимбе или цифровом дисплее соответствует 0%, а 10 — 100%. Для шариковых установок максимальное перемещение головки равно 9,144 мм, для клиновых — 6,35 мм.
- Tail** (остаточный конец, «хвостик»). Для установок микросварки методом шарик–клин значение «хвостика» зависит от дополнительного перемещения сварочной головки, измеряемого в процентах. Для установок микросварки методом клин–клин его значение равно перемещению зажима проволоки, также измеряемого в процентах. В режиме *Short Tail* максимальное значение равно 2,54 мм, что соответствует значению 10 на лимбе или дисплее. В режиме *Long Tail* максимальное значение равно 5 мм и соответствует 10 на лимбе или дисплее.
- Ball Size** (размер шарика). Параметр, характеризующий мощность разряда, создающего шарик на остаточном конце проволоки. Относится только к установкам микросварки методом шарик–клин.

Таким образом, зная, какие параметры работают в тех или иных диапазонах, мы сможем легко выставить их на установке и считать «точкой отсчета» для дальнейшей оптимизации значений. И, как уже было отмечено выше, необходимо помнить, что для обеспечения высокого качества и воспроизводимости ультразвуковой сварки важны микрогео-

метрия поверхности контактных площадок, оптимизация технологических параметров УЗ-микросварки методом математического моделирования и разработка новых способов микросварки с активацией процесса физико-химического взаимодействия контактирующих металлов.

### Часто задаваемые вопросы

Часто специалисты, работающие с установками разварки серии 45XX, спрашивают, какой инструмент (клин или капилляр) наилучшим образом подходит для ультразвуковой микросварки на том или ином материале. Существует много различных типов инструментов, которые подбираются по каталогу, исходя из предъявляемых требований. Наименования и характеристики некоторых базовых инструментов, обычно предлагаемых для теста и проб (если нет особых требований), приведены ниже.

Для золотой проволоки 18–20 мкм — клиновая установка:

- 4WVH4-1310-T5F-M00. Тип инструмента H позволяет разваривать близко к стенкам коллода, инструмент с выемкой обеспечивает контроль сварного соединения.
- 4WVH4-1510-T5F-M00. Тип инструмента H позволяет разваривать близко к стенкам коллода. Обычно используется для получения более выпуклых петель.
- 4WFE4-1507-T5F-M00. Тонкий кончик с выемкой позади обратного радиуса. Используется для получения малого сварного отпечатка.
- 4WFE4-1510-T5F-M00. Тонкий кончик с выемкой позади обратного радиуса. Обеспечивает более длинное сварное соединение, которое при этом становится прочнее (нужно учитывать размер контактных площадок).

Для золотой проволоки 25 мкм — клиновая установка:

- 4WVH4-2015-T5G-M00. Тип инструмента H позволяет разваривать близко к стенкам коллода. Инструмент с выемкой обеспечивает контроль сварного соединения; используется для контактных площадок с малыми размерами.
- 4WVH4-2025-T5G-M00. Тип инструмента H позволяет разваривать близко к стенкам коллода. Обеспечивает более длинное сварное соединение, которое при этом становится прочнее (нужно учитывать размер контактных площадок).
- 4WFE4-2015-T5G-M00. Тонкий кончик с выемкой позади обратного радиуса. Применяется для получения малого сварного отпечатка.
- 4WFE4-2025-T5G-M00. Тонкий кончик с выемкой позади обратного радиуса. Обеспечивает более длинное сварное соединение, которое при этом становится прочнее (нужно учитывать размер контактных площадок).

Качество сварки напрямую зависит от свойств контактной площадки и проволоки. Отвечая на вопрос, какими должны быть характеристики проволоки, заметим, что для решения боль-

шинства задач подходят золотая и алюминиевая проволока диаметром 18, 20, 25 и 30 мкм.

- Тип AW27 или AW8 — золотая проволока для получения более выпуклых петель, используется для мягких контактных площадок. Относительное удлинение 0,5–3%, усилие на разрыв 6 г минимум. Наматывается как на 1/2-дюймовую (тип TS-1) катушку по 75 м, так и на 2-дюймовую по 100 м.
- Тип AW14 — золотая проволока для получения более пологих петель. Подходит для сварки на материалах с жесткими контактными площадками. Относительное удлинение 2–7%, усилие на разрыв 6 г минимум. Наматывается как на 1/2-дюймовую (TS-1) катушку по 75 м, так и на 2-дюймовую по 100 метров.

Далее обратим внимание на выбор катушек и проволоки для установок 45XX. Специалист, привыкший работать со своими катушками, зачастую, приобретая установку 45XX, не обращает внимания на то, с какими катушками она может работать. Вот здесь и возникают трудности по совместимости. Появляется необходимость изобретать различные адаптеры, что, в свою очередь, не всегда решает данную проблему. Тогда приходится доказывать адаптеры или бобины, что ведет к потере времени и простою производства. Чтобы этого не случилось, рассмотрим, какие же существуют стандартные катушки, идущие в комплекте с установкой, а также опции, которые расширяют функциональные возможности установок серии 45XX.

### Рекомендации по выбору катушки

Размер катушки для установки микросварки методом клин–клин: 1/2-дюймовая катушка — для всех типов проволоки и лент с размерами до 25×125 мкм. Для лент большего размера необходима 2-дюймовая катушка. Для шариковой установки всегда используется 2-дюймовая катушка.

Стандартные размеры катушек для установок серии 4500:

- установка разварки методом клин–клин — 1/2-дюймовая (TS-1);
- установка разварки методом шарик–клин — 2-дюймовая.

Держатели катушек для установок серии 4500 (опция):

- Установка разварки методом клин–клин:
  - 2-дюймовая катушка для подачи проволоки под углом 90° (глубокий доступ), p/n 04523-7560-000-00;
  - 2-дюймовая катушка для подачи ленты под углом 90° (глубокий доступ), p/n 04500-5005-000-00;
  - 2-дюймовая катушка для подачи проволоки под углом 30° (стандартный доступ), p/n 04500-7550-000-00.
- Установка разварки методом шарик–клин:
  - дополнительных держателей нет.

Для установок 4500 намотка катушки рекомендуется в один слой:

- рекомендуемая длина круглой проволоки для 2-дюймовой катушки — 100 м, для 1/2-дюймовой — 75 м.

Таблица 1. Типы проволоки и относительное удлинение

Тип проволоки K&S	Рекомендуемое относительное удлинение, %	Диаметр проволоки, мкм
<b>Клиновья установка — разварка алюминием</b>		
ALW29S, состав: алюминий/кремний	1–4	25–75
ALW29C, устойчивая к коррозии	1–4	
<b>Клиновья установка — разварка золотом</b>		
AW27 или AW8 золотая проволока; используется на мягких поверхностях и/или для создания коротких перемычек	0,5–3	18–75
AW14 золотая проволока для универсального использования; для жестких поверхностей и/или для создания длинных перемычек	2–7	
AR49 золотая лента; универсальное использование	0,5–3 (для всех размеров)	

– рекомендуемая длина ленты для 2-дюймовой катушки — не более 30 м, для 1/2-дюймовой катушки — не более 15 м.

Выбирая проволоку, необходимо обращать внимание на ее относительное удлинение: это очень важный параметр, который определяет жесткость (табл. 1).

Для установок разварки методом шарик–клин параметры проволоки те же, что и для установок разварки методом клин–клин.

### Разварка лентой и возникающие при этом проблемы

Наш опыт показывает, что многие пользователи столкнулись с проблемой приварки ленты к контактной площадке. Рассмотрим эту задачу. Сразу обозначим, что возможность и качество сварки напрямую зависят от качества и свойств контактных площадок и свойств ленты.

Почему иногда невозможно привариться лентой? Как правило, проблема в недостаточном статическом усилии. Минимальное рекомендуемое статическое усилие для клиновых установок приведено в таблице 2.

Таблица 2. Минимальное рекомендуемое статическое усилие для клиновых установок

Размер ленты, мкм	Статическое усилие, г
6×50	15–20
12×50	60–70
25×250	70–80

Иногда бывает, что пользователь перенастроил установку для разварки лентой так, как описано в руководстве, но статического усилия по-прежнему не хватает. В этом случае нужно произвести некоторые дополнительные настройки, которые помогут решить проблему, например:

1. Параметр Time установить в режим Long.
2. Параметр Power установить в положение High, при необходимости используя переключатель на системной плате.
3. Возможно, понадобится установка параметра Force в максимальное положение.

Как правило, после внесения данных изменений проблема решается и происходит нормальная сварка.

Последний вопрос, который мы рассмотрим далее, – способность установок серии 45XX разваривать при пониженных температурах столика, при комнатной температуре, то есть без нагрева, а также использование метода термокомпрессии.

Разварка на установках серии 45XX золотой проволокой при пониженных температурах — это очень требовательный процесс, т. е. поверхности контактных площадок и проволока предварительно должны быть подготовлены, например, обработаны в плазменной установке, а также рекомендуемый класс чистоты комнат должен быть не хуже 10000 (ISO 7).

### Установки ультразвуковой микросварки методом клин–клин

#### Разварка золотой проволокой при пониженных температурах

Минимальная температура столика, при которой возможно провести сварку, — +70 °С. Но реально в месте сварки она может быть и ниже. Диапазон температур, удовлетворяющий большинству требований, — +70...+90 °С.

#### Разварка золотой проволокой при комнатной температуре

Необходимо использовать:

- блок питания (БП) для мини-нагревателя p/n 04561-1231-000-00;
- 2-витковый мини-нагреватель p/n 40304-0008-002 с внутренним диаметром 2 мм;
- 4-витковый мини-нагреватель p/n 40304-0008-004 с внутренним диаметром 2 мм для более высокой температуры. *Примечание:* 4-витковый нагреватель уменьшает возможность глубокого доступа (Deep Access).
- держатель для мини-нагревателя p/n 04561-1000-000-00, также может быть использован для подачи проволоки под углом 30°. При этом очень важно установить держатель мини-нагревателя так, чтобы он не касался клинового инструмента.

Только при таких настройках возможно использовать ультразвук в полном объеме при комнатной температуре столика. Регулятор на БП мини-нагревателя должен быть установлен на 8. При этом температура нагревателя будет примерно +450 °С, а температура кончика клина +90...+100 °С. Для работы требуется длительное время сварки с неболь-

шим приложением усилия. *Примечание:* при 4-витковом нагревателе температура кончика клина будет +150...+160 °С.

#### **Разварка золотой проволокой методом термокомпрессии**

Необходимо использовать 2- или 4-витковый нагреватель р/п 40304-0001-002 и 40304-0001-004 соответственно. В этом методе мини-нагреватели должны иметь плотный контакт с клиновым инструментом, т. к. ультразвук не используется. При этом должен нагреваться как столик, так и клиновой инструмент. Поверхность образца может быть нагрета до +250 °С, а клиновой инструмент — до +350 °С. Так как витки нагревателя плотно прилегают к клиновому инструменту, то для достижения температуры в +350 °С на регуляторе БП нагревателя должно быть установлено значение 8.

Для разварки при пониженных температурах рекомендуется использовать золотую проволоку (AW14 с относительным удлинением 2–7%). Диаметр проволоки 18–76 мкм.

Типовая длина проволоки заводской намотки для катушек размерами 0,5" — 75 м (не больше). Для катушек 2" — 105 м (не больше).

При использовании ленты рекомендуется выбирать золотую ленту артикулом AR49 с размерами 12×50–25×250 мкм.

Типовая длина ленты заводской намотки для катушек 0,5" — 15 м (не больше), для катушек 2" — 30 м (не больше).

*Совет.* В режиме термокомпрессии для проволоки с диаметром больше 38 мкм и для лент рекомендуется использовать зажим с керамическими губками.

#### **Установки ультразвуковой микросварки методом шарик-клин**

##### **Разварка золотой проволокой при пониженных температурах**

Минимальная температура столика, при которой возможно сделать сварку, — +70 °С. Но реально в месте сварки она может быть и ниже. Диапазон температур, удовлетворяющий большинству требований, — +90...+120 °С.

##### **Разварка золотой проволокой при комнатной температуре**

Необходимо использовать:

- БП для мини-нагревателя р/п 04561-1231-000-00;
- 2-витковый мини-нагреватель р/п 40304-0008-002 с внутренним диаметром 2 мм;
- 4-витковый мини-нагреватель р/п 40304-0008-004 с внутренним диаметром 2 мм для более высокой температуры. *Примечание:* 4-витковый нагреватель уменьшает возможность глубокого доступа (Deer Access).
- держатель для мини-нагревателя р/п 04561-1123-000-00. Устанавливается так, чтобы он не касался капилляра.

Только при таких настройках возможно использовать ультразвук в полном объеме, когда столик имеет комнатную температуру. Регулятор на БП мини-нагревателя должен быть установлен на 8. При этом температура нагревателя будет примерно +50 °С, а температура кончика капилляра — +90...+100 °С. Потребуется длительное время сварки с небольшим приложением усилия.

##### **Разварка золотой проволокой методом термокомпрессии**

В этом случае следует использовать 2- или 4-витковый нагреватель (для 1,5-мм капилляра), р/п 40304-0001-00X, где X — количество витков.

Мини-нагреватели плотно облегают клиновой инструмент, т. к. ультразвук не используется. При нормальном режиме работы греется и образец, и инструмент. Поверхность образца может быть нагрета до +250 °С, а клиновой инструмент — до +350 °С. Так как витки нагревателя плотно прилегают к инструменту, то для достижения на нем температуры в +350 °С на регуляторе БП нагревателя должно быть установлено 8.

Для разварки при пониженных температурах рекомендуется использовать золотую проволоку типа AW14 диаметром 18–76 мкм. Диапазон относительного удлинения 2–4% для 25–33-мкм проволоки, 5–8% — для 38–50-мкм и 8–11% для 76-мкм.

Рекомендуемая длина проволоки для 2-дюймовых катушек 100 м или меньше.

*Совет.* В режиме термокомпрессии для проволоки с диаметром больше 38 мкм и для лент рекомендуется использовать зажим с керамическими губками.

#### **Закключение**

Подводя итог, отметим, что подбор параметров — это процесс творческий, а результат работы определяется правильным конфигурированием установки и подбором оптимальных режимов. При выполнении данных требований и при использовании качественных материалов, можно добиться желаемого результата. ■