

Технология микросварки проволочных выводов

Игорь Кудряшов, заместитель генерального директора ЗАО «ЭлекТрейд-М», kudr@eltm.ru

Существует несколько различных видов процессов сварки, при которых происходит плавление металла. К ним относятся газовая сварка, электродуговая, контактная, лазерная, электронно-лучевая и индукционная сварка. Вместе с тем, есть вид сварки, при которой металл не плавится. Это сварка поверхностей, находящихся в твердой фазе. По-другому она называется холодной или ультразвуковой сваркой. В статье рассказывается о преимуществах и перспективах данного вида сварки.

Ультразвуковая сварка была открыта в ходе случайного эксперимента в Германии более 30-ти лет назад. Позже она была доведена до полностью контролируемого процесса и в настоящее время активно используется для формирования электрических проволочных выводов полупроводниковых микросхем и упаковок.

Современная ультразвуковая микросварка полностью отличается от того, чем она была изначально. Технология «трения проволоки о площадку» теперь не используется. Ультразвуковая энергия освобождает поверхность от примесей, обеспечивает соединение «металл-металл», стимулирует свободные электроны на внешних валентных уровнях взаимодействовать со свободными электронами смежных молекул. Это приводит к образованию серий ковалентных связей и формированию биметалла на поверхности соединения двух металлов. Металл временно становится пластичным и мягким под воздействием только ультразвуковой энергии, которая нарушает его кристаллическую структуру и позволяет металлу деформироваться даже при низком усилии прижима. Выделяемое тепло становится побочным продуктом, что позволяет не использовать дополнительную тепловую энергию для формирования соединения. Также за счет деформации из области сварки естественным образом удаляются все загрязнения.

Этот процесс кардинальным образом очищает металлические поверхности и позволяет провести «металлургическое» соединение. Кроме этого, сварочный инструмент циклически перемещается вдоль проволоки и не зажимает ее. Это позволяет проволоке свободно скользить взад и вперед по свариваемой поверхности. Данный процесс называется холодной сваркой. Нагрев рабочей области происходит при термозвуковой сварке

для удаления примесей и размягчения металла, а при термокомпрессионной сварке — для придания металлу пластических свойств. Нагрев рабочего инструмента применяется для чистки и прокаливания проволоки, а также препятствует отводу тепла при контакте сварочного инструмента с рабочей областью. Всего используются 4 типа микросварки:

1. Термокомпрессионная микросварка, при которой соединение образуется за счет взаимной диффузии соединяемых материалов в результате нагрева и сжатия соединяемых поверхностей. Типовые параметры термокомпрессионной сварки: рабочий материал — золотая проволока, нагрев сварочного инструмента — 235°C, нагрев рабочей области — 250...350°C, усилие прижима — 20...200 грамм, время сварки — 20...200 мс.

2. Микросварка с использованием золотого шарика. В данном виде сварки впервые были использованы ультразвуковые колебания. Золотой шарик формируется на конце золотой проволоки при помощи оплавления. Соединение образуется в результате

ультразвуковой энергии и сжатия соединяемых поверхностей.

3. Микросварка клином — ультразвуковая сварка. В данном процессе сварки используется алюминиевая или золотая проволока без нагрева. Типовые параметры ультразвуковой сварки: рабочий материал — алюминиевая проволока, усилие прижима — 20–200 грамм, ультразвуковые колебания — 60 кГц/1–2 Вт, время сварки — 20...200 мс.

4. Термозвуковая микросварка. В данном виде сварки применяется золотая проволока, а в качестве инструмента — капилляр. Соединение образуется в результате нагрева, компрессии и воздействия ультразвуковой энергии на соединяемые детали. Для формирования шарика на конце проволоки используется метод электрического разряда EFO (Electric Flame Off). Типовые параметры термозвуковой сварки: рабочий материал — золотая и алюминиевая проволока, нагрев рабочей области — 100...150°C, усилие прижима — 20...200 грамм, ультразвуковые колебания — 60 кГц/1–2 Вт, время сварки — 20...200 мс.



Рис. 1. Микросварочная установка HB16

Существуют два типа установок микросварки: установка для сварки шариком и установка для сварки клином. Имеются также универсальные установки, которые позволяют сваривать как шариком, так и клином (см. рис. 1).

В установках для сварки шариком проволока направляется в область сварки вертикально через сварочный инструмент. Шарик формируется на конце проволоки на выходе из инструмента. В установках для сварки клином проволока направляется в область сварки под некоторым углом (см. рис. 2).

СВАРКА ШАРИКОМ

Процесс сварки начинается с формирования шарика, который образуется в результате расплавления кончика проволоки. Первоначально проволока плавилась в пламени водородной горелки, но сейчас этот способ практически не распространен. Позднее для оплавления шарика была разработана специальная технология электрического разряда EFO (см. рис. 3).

Технически проще подавать на электрод положительный потенциал, а на проволоку – отрицательный. Поэтому большинство современных микросварочных устройств имеют EFO-модуль с положительным потенциалом. При такой полярности проволока оплавляется с использованием минимального количества энергии. При этом для создания разряда может быть использован относительно простой источник питания с возможностью контроля размера оплаваемого шарика.

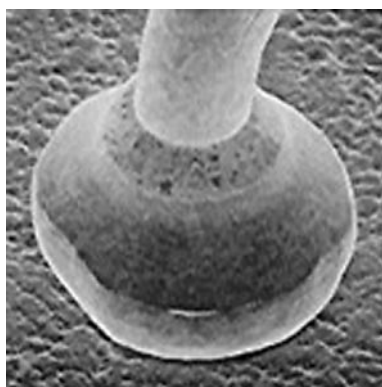
Однако существует ряд проблем с «положительным» EFO. Стоит заметить, что износ капилляра напрямую зависит от режима работы и места формирования шарика. В частности, при формировании шариков небольшого размера данная схема не может обеспечить необходимой устойчивости процесса. Кроме прочего, конец капилляра чернеет, покрываясь слоем угля и металла. При формировании шарика с использованием «положительного» EFO сам шарик и проволока целиком окружаются плазмой (и-

онизированным воздухом). Толщина плазменной оболочки составляет около 0,05 мм. От шарика оболочка отстоит на удалении 0,1 мм (см. рис. 4). В процессе разряда плазменную оболочку можно увидеть в микроскоп с увеличением более 30х.

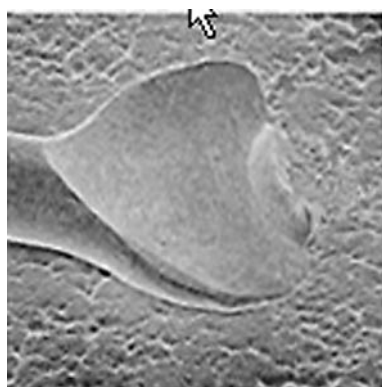
Исходя из этого, если шарик формируется на удалении от конца капилляра более чем на 0,13 мм, то вероятность повреждения наконечника невелика. Несмотря на это, при работе с небольшими шариками обычно принято устанавливать небольшую длину хвоста проволоки и формировать шарик непосредственно на конце капилляра (см. рис. 5). В этом случае плазма касается наконечника и вытравливает внутреннюю полость капилляра, тем самым повреждая его.

Более правильное решение реализовано в установках микросварки компании TRT, Германия, серии НВ – это «отрицательная» система EFO, т.е. на электрод подается отрицательный заряд, а на проволоку – положительный. При такой технологии формирование шарика является более сложным процессом, чем при «положительном» EFO. В этом случае схема источника питания должна иметь схему синхронизации и цепь ограничения тока. Плюс в том, что формирование небольших шариков не вызывает никаких проблем и может быть выполнено непосредственно на конце капилляра, поскольку плазменная оболочка окружает только нижнюю половину шарика, что позволяет исключить повреждение капилляра (см. рис. 6).

Таким образом, преимущество «отрицательной» системы EFO – это возможность получения шарика небольшого размера и обеспечение низкого износа капилляра.



а)



б)

Рис. 2. Виды сварки: а) – шариком; б) – клином

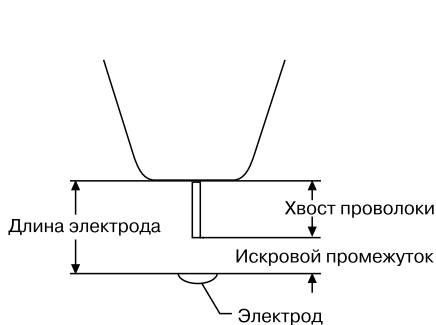


Рис. 3. Устройство EFO

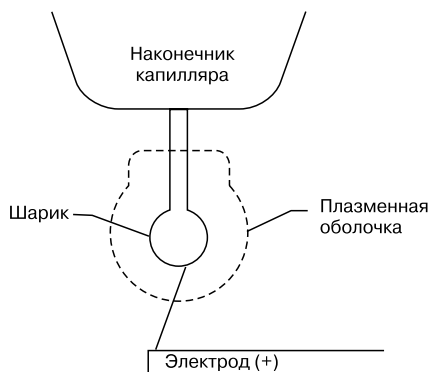


Рис. 4. Формирование шарика с использованием «положительного» EFO

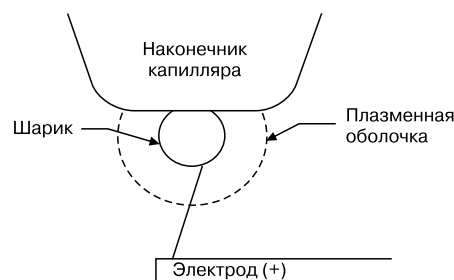


Рис. 5. Формирование шарик небольшого размера непосредственно на конце капилляра

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕТЛИ ПРИ МИКРОСВАРКЕ ШАРИКОМ

Движение сварного инструмента при формировании проволочной петли показано на рисунке 7. Из рисунка видно, что после того, как на конце проволоки сформирован шарик, сварной инструмент опускается, и выполняется процесс сварки в первой точке.

Затем сварной инструмент поднимается вертикально в самую высокую точку петли, и рабочая поверхность или сварной инструмент осуществляют движение в горизонтальной плоскости до достижения позиции второй точки сварки. После этого сварной инструмент опускается для выполнения так называемого «соединения внахлест». При этом часть проволоки забирается обратно в сварной инструмент. По завершению процесса сварки во второй точке результирующая петля, как правило, имеет вид, как показано на рисунке 7. Такое простое (по прямоугольнику) движение сварного инструмента применяется при относительно коротких длинах проволочной петли.

Движение сварного инструмента в современных высокоскоростных установках для микросварки является реверсивным, как показано на рисунке 8. После формирования шарика и выполнения процесса сварки в первой точке инструмент поднимается на высоту около 0,25 мм и выполняет короткое реверсивное относительно петли движение.

Затем сварной инструмент поднимается вверх до высшей точки петли, так же как и при прямоугольном движении, и опускается вниз по дуге ко второй точке сварки. При достаточно высокой петле «Н» можно использовать этот метод при сварке за кромкой изделия. Чем выше будет петля, тем она может быть длиннее, и меньше будет ее прогиб.

Капилляры серии 1572 производства компании GAISER TOOL COMPANY (США) являются на сегодняшний день самыми популярными для микросварки шариком (см. рис. 9). Они имеют передний угол 8°, который обеспечивает наилучшие характеристики для второй точки сварки на различных поверхностях, и коническую полость с углом 120°, что позволяет получить более прочные сварные соединения и больший пре-

дел прочности шарика на сдвиг (см. рис. 10).

Модификация 1572N отличается углом конической полости, равным 90° (см. рис. 11), что позволяет выполнять сварку более компактным шариком на материалах с хорошими сварными свойствами.

КЛИНОВАЯ МИКРОСВАРКА

В данном виде микросварки используется энергия ультразвуковых колебаний и усилие прижима проволоки к поверхности. При использова-

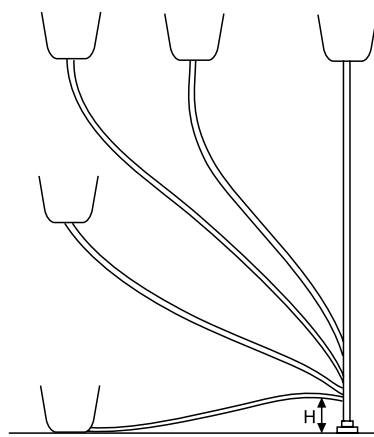


Рис. 7. Формирование проволочной петли прямоугольным движением

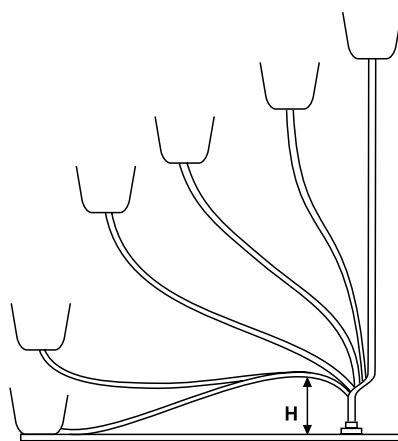


Рис. 8. Формирование проволочной петли реверсивным движением

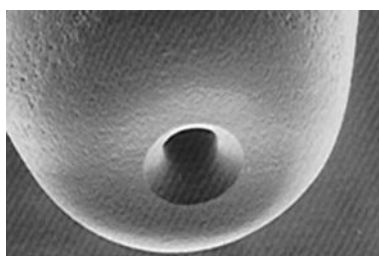


Рис. 9. Наконечник капилляра (вид снизу)

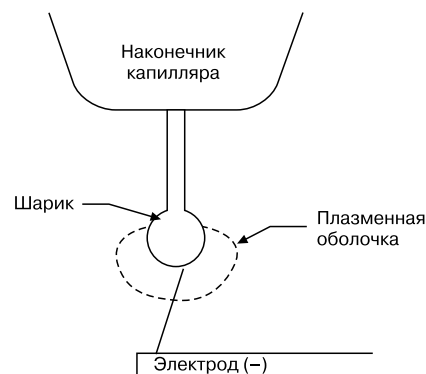


Рис. 6. Формирование шарика с использованием «отрицательного» EFO

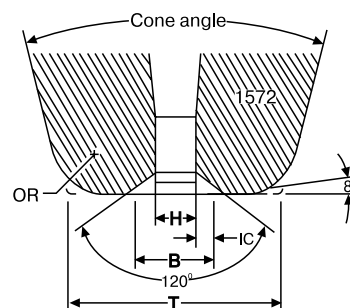
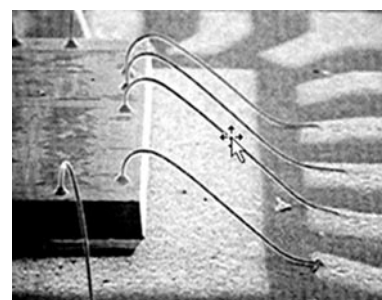


Рис. 10. Капилляр серии 1572

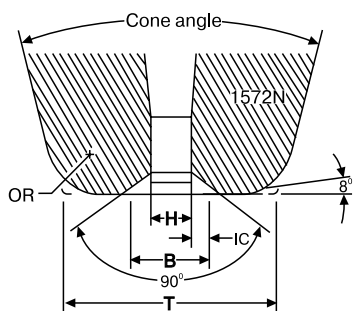


Рис. 11. Капилляр серии 1572N

нии золотой проволоки рекомендуется также применять нагрев. При сварке клином две металлические поверхности соединяются между собой методом диффузии. Проволока приваривается к контактной площадке кристалла или

металлическому корпусу в результате трения между собой свариваемых поверхностей, т.е. механическим способом. Нужное трение достигается вибрацией с ультразвуковой частотой зажатого клина над расположенной под ним проволокой. В результате трения разрушается оксидная пленка, металлические поверхности очищаются, и формируется металлургическое сварное соединение. При этом нагрев не ухудшает характеристики сварки.

СВЧ-диоды, транзисторы и микросхемы на основе арсенида галлия, как правило, имеют золотые подложки и маленькие контактные площадки. Некоторые из таких площадок в ширину меньше, чем 50 мкм. Преимущество микросварки клином перед микро-

сваркой шариком как раз и состоит в способности первой выполнить сварку на таких небольших контактных площадках. Типовые диаметры проволоки для микросварки клином варьируются от 18 до 25 мкм. В большинстве СВЧ-приборов применяется микросварка клином с использованием золотой проволоки.

Форма клина за последние десять лет практически не изменилась. Исключение составляет лишь появление клина глубокого доступа. Большинство производителей предлагают установки клиновой микросварки, в которых проволока проходит или через центр клина вертикально вниз или подводится к клину снизу и сзади. Конструкция конца клина глубокого доступа в общих чертах такая же, как у клина для обычной микросварки. Существует две типовые конфигурации клиньев, предлагаемых компанией GAISER TOOL COMPANY (США): «V-вырез» и «Максигайд» (Maxiguide) (см. рис. 12, 13, 14).

КЛИН ДЛЯ ГЛУБОКОГО ДОСТУПА (90°)

У клиновой микросварки по сравнению с микросваркой шариком имеется ряд преимуществ. Это способность клина осуществлять пошаговую микросварку, а также то, что проволока при сварке получает минимальную деформацию и может быть приварена к достаточно узкой контактной площадке. Но, наверное, самым большим преимуществом клиновой микросварки является возможность использования алюминиевой проволоки. К числу преимуществ можно отнести и возможность осуществлять сварку в глубоких полостях и корпусах. Так клин для микросварки может достигать 27 мм в длину, в то время как длина керамического капилляра — только 19 мм. Проблема традиционного клина состоит в том, что при сварке им в глубоких полостях проволока, подающаяся даже под углом в 60°, может задевать стенку корпуса или другое устройство (см. рис. 15), что не позволяет производить сварку вплотную к стенке прибора.

Клин глубокого доступа (90°) отличается от обычного тем, что проволока подается к месту сварки вертикально через центр клина. Данный метод обеспечивает возможность доступа к месту сварки, сравнимую с керамическим капилляром (см. рис. 16).

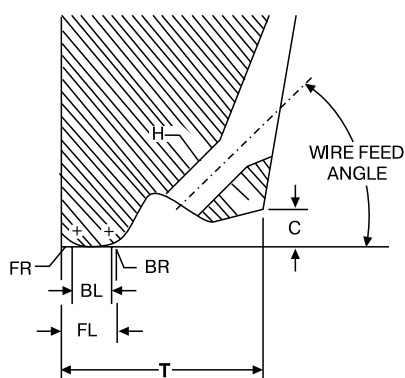


Рис. 12. Продольное сечение клина «V-вырез»

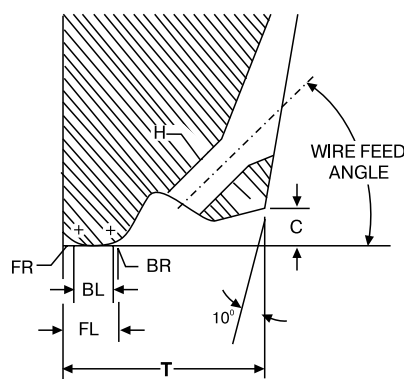


Рис. 13. Продольное сечение клина «Максигайд»

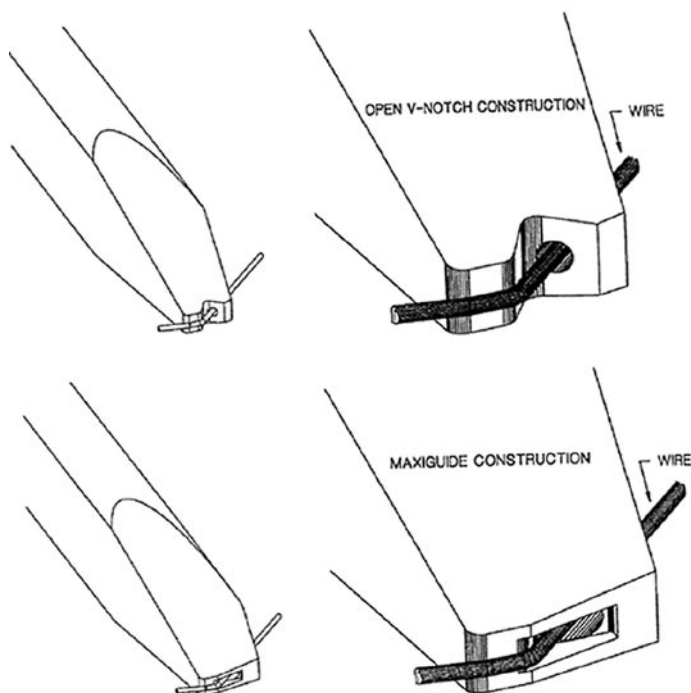


Рис. 14. Внешний вид клинов «V-вырез» и «Максигайд»

Принципиальным недостатком сварки традиционным клином является то, что проволока поступает к месту сварки под углами 30°, 45° или 60° под углом к горизонтальной плоскости, а не вертикально, как при сварке шариком. Кроме того, клиновая микросварка является однонаправленной по сравнению со сваркой шариком, которая является многонаправленной. Для проведения сварки в нужном направлении необходима вращающаяся сварочная головка или поворотный рабочий стол.

Среди производителей микросварочного оборудования особо выделяется немецкая компания Technical Product Trade – ТРТ (<http://www.tpt.de>, <http://www.eltm.ru/tpt>). Оборудование данной компании предназначено для микросварки как золотой, так и алюминиевой проволокой или лентой, является универсальным и достаточно легким в управлении. При смене типа сварки с шарика на клин меняется только сварочный инструмент, сама же сварная головка остается прежней, что значительно удешевляет конструкцию, а также позволяет без задержки на переналадку оборудования перестраиваться с одной задачи на другую. Модельный ряд микросварочного оборудования компании ТРТ включает ручные установки серии НВ02/04/05, полуавтоматические серии НВ06/08/10 и полуавтоматические серии НВ12/14/16, имеющие богатые функциональные возможности. Это оборудование идеально подходит для большинства отечественных предприятий, начиная с университетов и лабораторий до производства среднего уровня. Серия НВ12/14/16 имеет эксклюзивную систему управления аппаратом с сенсорной панели TFT монитора. Существует большое количество опций, дающих возможность повысить работоспособность аппарата при выполнении нестандартных видов работ. Основными достоинствами данного устройства являются: комфортность и безопасность в работе оператора, легкость управления аппаратом, глубокий доступ к месту сварки (90°), надежность и низкое инерционное колебание электрода, немецкое качество изготовления. Механическая конструкция аппарата состоит из составных частей с жестким допуском на их изготовление,

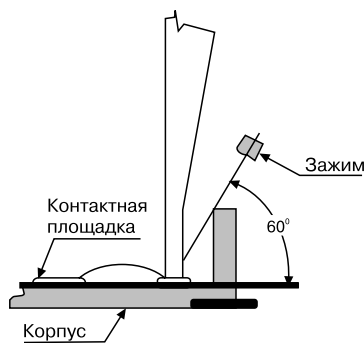


Рис. 15. Использование обычного клина

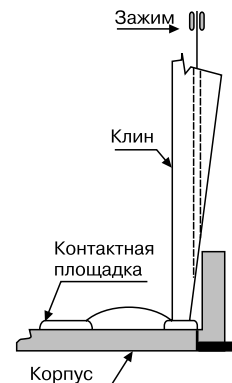


Рис. 16. Использование клина «90° – глубокий доступ»

что позволяет осуществлять высокоточное функционирование механизма в целом.

Даже в ручных аппаратах процесс сварки идет под контролем электроники, что позволяет исключить человеческий фактор.

ИСПЫТАНИЕ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ НА ОБРЫВ

При оптимизации процедуры сварки первым исследуемым параметром является прочность проволоки на отрыв, которое измеряется в ходе проведения испытаний натяжени-

ем (приложение эталонного усилия в граммах путем натяжения проволоки с помощью крючка до ее разрыва или отрыва). Испытание натяжением – это относительный тест для различных конструкций микросхем и приборов. Для этих целей применяются различные приспособления или установки. В качестве хорошего примера такого оборудования можно привести многофункциональную автоматическую станцию Condor (модели 70, 100, 150 – см. рис. 17) производства компании XYZTEC Precision Technology, Нидерланды (www.xyztec.com), ко-



Рис. 17. Станция тестирования Condor

торая предназначена для проверки в автоматическом или ручном режимах различных типов соединений на сдвиг, обрыв, растяжение и прочее с нагрузкой до 40 кг.

При тестировании проволочных соединений методом натяжения, прочность на отрыв зависит от конфигурации натяжного механизма, точки прикрепления крючка, разницы горизонтальных уровней свариваемых деталей и угла натяжения. Для получения абсолютных значений предела прочности на разрыв методика или средство тестирования должны быть нормированы. Когда проводятся испытания, важно определить место обрыва сварки: был ли это отрыв проволоки в месте сварки или ее разрыв (см. рис. 18).

При правильном натяжении проволока должна разорваться в точках «В» или «D». Если отрыв происходит в точках «А», «С», «Е», то необходимо проверить параметры сварки, металлизацию, настройки оборудования, конструкцию сварочного инструмента или испытательного крючка.

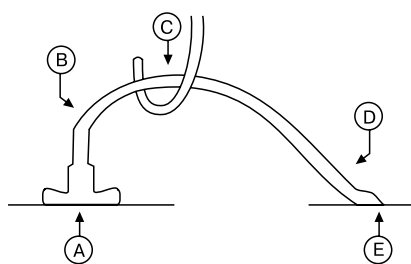


Рис. 18. Возможные места отрыва или обрыва проволоки

Обычно при испытании сварки на обрыв усилие измеряется в граммах. Измеренное значение не всегда является реальным пределом прочности. Только в том случае, когда углы натяжения проволоки в первой и второй точках сварки составляют ровно 30 градусов, измеренное значение является реальным.

Истинное значение прочности на отрыв может быть одинаковым для разных значений усилия в граммах, приложенных в одном случае для длинной/высокой петли, в другом — для короткой/низкой петли.

Таблица 1. Коэффициенты для вычисления реального разрывного усилия

| Угол натяжения проволоки в точках сварки | Коэффициент |
|--|-------------|
| 10° | 2,88 |
| 20° | 1,46 |
| 30° | 1,00 |
| 40° | 0,79 |
| 50° | 0,65 |
| 60° | 0,58 |
| 70° | 0,53 |

Для того чтобы вычислить реальное разрывное усилие, рассчитаны определенные коэффициенты, на которые умножают измеренное значение усилия. Значения данных коэффициентов и их зависимость от угла натяжения приведены в таблице 1.

В том случае, когда одна точка сварки выше другой по уровню, для получения реального разрывного усилия необходимо сдвинуть крючок в сторону сварки, расположенной выше по уровню, и, таким образом, выровнять углы натяжения проволоки.