

УДК 621.791.755

Особенности сварки малоамперной дугой стандартными вольфрамовыми электродами

Р.А. Мейстер, А.Р. Мейстер

*Сибирский федеральный университет,
Россия 660074, Красноярск, ул. Киренского, 26¹*

Received 06.09.2012, received in revised form 13.09.2012, accepted 20.09.2012

При питании дуги от однофазного выпрямителя с конденсаторным множителем напряжения и использованием вольфрамовых электродов диаметром 1-2,5 мм обеспечивается устойчивое зажигание и горение дуги в аргоне и азоте при силе тока 4-10 А. Устойчивое горение дуги на обратной полярности обеспечивает полное проплавление алюминиевых листов толщиной 0,18-0,5 мм без вытекания сварочной ванны. При сварке торцевых соединений из малоуглеродистой нержавеющей стали, меди, латуни, алюминия толщиной 0,06-0,2 мм с зазором, превышающим толщину изделия, в аргоне и азоте высокой чистоты обеспечивается формирование швов цилиндрическим и прямоугольным электродом при силе тока 2,5-9 А. На малых токах наблюдается блуждание активных пятен.

Ключевые слова: сварка неплавящимся электродом, неплавящийся электрод, вольфрамовый электрод, сварка алюминия, сварка в защитном газе, сварочная дуга, азот, торцевые соединения, цилиндрический электрод, прямоугольный электрод.

Введение

В настоящее время нет четких критериев, оценивающих устойчивое горение дуги на малых токах неплавящимся электродом. По-видимому, к ним следует отнести надежное зажигание дуги, длительное горение без угасания, отсутствие блуждания активных пятен, разрывную длину дуги.

Считается, что дуга в аргоне со стандартным вольфрамовым электродом при силе тока ниже 10-15 А горит неустойчиво. Устойчивость горения дуги значительно повышается, если применить вольфрамовые электроды диаметром до 0,3 мм. Например, дуга с электродом диаметром 0,16 мм устойчива при токе 1 А [1]. Но при сварке ультратонкими электродами невозможно применять обычное цанговое крепление.

По мнению [2], возбуждение дуги с ультратонким электродом с помощью осциллятора оказалось неэффективным. При его включении искровой разряд, а затем малоамперная дуга возбуждаются между корпусом горелки и свариваемым металлом. Также осциллятор способ-

* Corresponding author E-mail address: evangelist1@mail.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

ствует выходу из строя микропроцессорных устройств [3], и броски тока при зажигании дуги вызывают дефекты в шве [4]. Поэтому ультратонкими вольфрамовыми электродами дуга при силе тока 2,5–3 А возбуждается при касании анода электродом [2].

При сварке тонкого металла требования к точности сборки повышенные, и допустимые зазоры и превышение кромок не должны превышать 10-25 % толщины свариваемых листов [5], что выполнить чрезвычайно сложно.

При сварке торцевых соединений толщиной 0,24 мм ультратонкими электродами максимальный зазор составил 0,6 мм, а при сварке встык листов толщиной 0,47 мм – 0,3 мм [1].

Сведений о применении азота для сварки неплавящимся электродом мало. При использовании сверхчистого азота потери вольфрамового электрода в 2-3 раза меньше, чем при аргонодуговой сварке. Это объясняется тем, что размеры катодного пятна при сварке в азоте меньше, чем в аргоне, а также образованием нитридов лантана и вольфрама, уменьшающих потери электрода на испарение [6].

В работах [7, 8] показано, что при питании дуги от однофазного выпрямителя с конденсаторным множителем напряжения и использованием вольфрамового электрода диаметром 1-5 мм дуга хорошо зажигается с первого касания и устойчиво горит в аргоне, азоте и гелии при силе тока 1-3 А.

Методы исследования и обсуждение результатов

В работе оценивалась устойчивость горения дуги вольфрамовым электродом диаметром 1-2,5 мм в аргоне и азоте высокой чистоты при силе тока менее 10 А, также были выбраны режимы сварки, обеспечивающие полное проплавление металла толщиной 0,18-0,5 мм без вытекания ванны и формирование швов при сварке торцевых соединений толщиной более 0,06 мм с зазорами, превышаемыми рекомендованные [5].

Для питания дуги применяли однофазный выпрямитель с конденсаторным множителем напряжения и напряжением холостого хода 75-100 В. Для обеспечения крутопадающей характеристики источника питания и регулирования тока менее 20 А использовали активные балластные сопротивления. Дуга зажигалась касанием изделия вольфрамовым электродом, сварочная горелка перемещалась относительно вручную и автоматически. Электрические параметры режимов сварки фиксировались цифровым осциллографом С 9-8, и осуществлялась видеосъемка дуги со скоростью 30 кад/с.

Для исключения влияния на результаты опытов качества сборки швы выполнялись на алюминиевых образцах толщиной 0,18, 0,5, 1 мм в аргоне вольфрамовым электродом диаметром 2,5 мм с углом заточки 60 град. Расстояние от конца электрода до детали составляло 0,5-1 мм, расход аргона 5-6 л/мин, образцы фиксировались на подложке из малоуглеродистой стали.

На рис. 1 показано катодное распыление на обратной полярности при толщине образца 0,5 мм при следующих режимах: $I_d=7-8$ А, $U_d=17$ В, $V_{св}=3,78$ м/ч.

На прямой полярности катодное распыление отсутствует (рис. 2).

Проплавление образца толщиной 0,5 мм показано на рис. 3.

При толщине алюминиевого образца 0,18 мм и без плотного поджатия к подложке при силе тока 4 А и напряжении дуги 15 В обеспечивается проплавление по толщине без вытекание ванны (рис. 4).



Рис. 1. Катодное распыление в аргоне

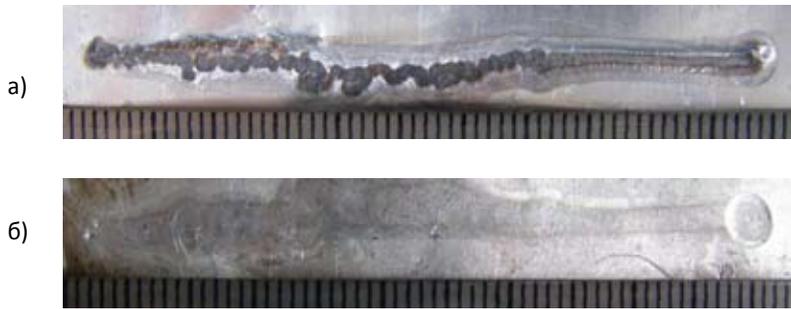


Рис. 2. $I_d=11$ А, $U_d=16.5$ В, $V_{св}=3.78$ м/ч: а – вид сверху, б – обратная сторона

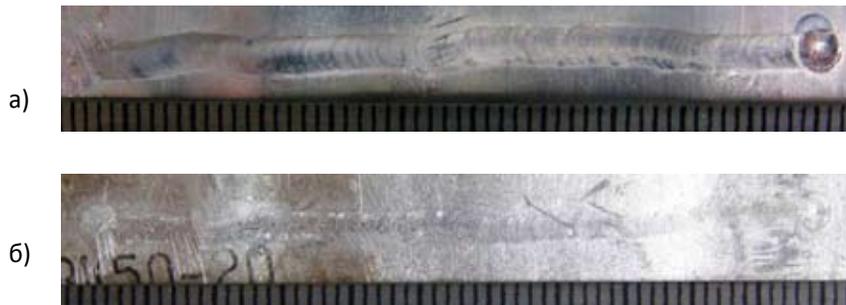


Рис. 3. $I_d=10-11$ А, $U_d=16,5$ В, $V_{св}=3,78$ м/ч, а – вид сверху, б – вид снизу

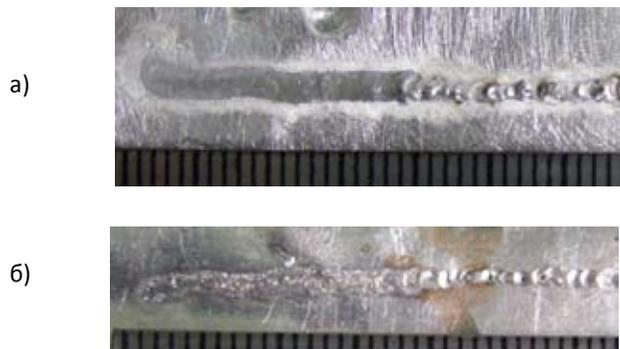


Рис. 4. а – вид сверху, б – вид снизу

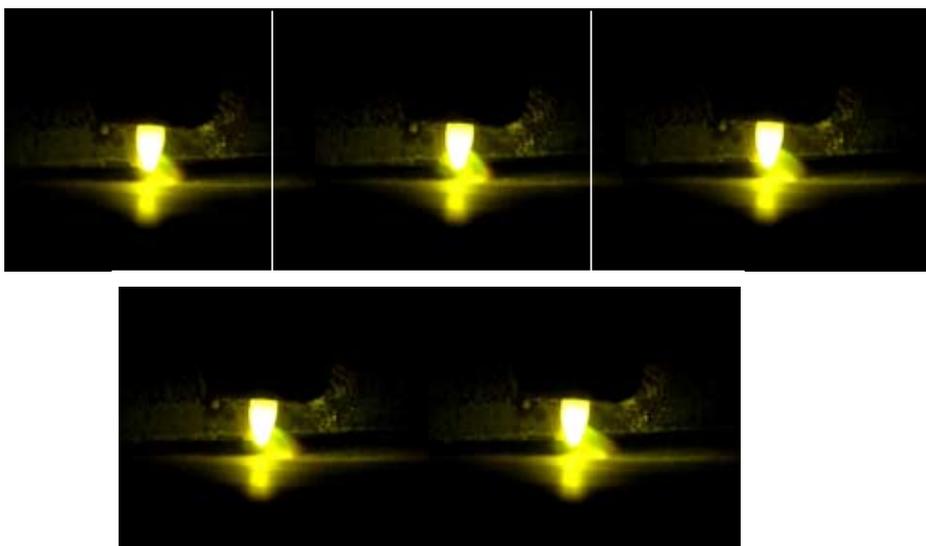


Рис. 5 . $I_d=11$ А, $U_d=16.5$ В, полярность обратная

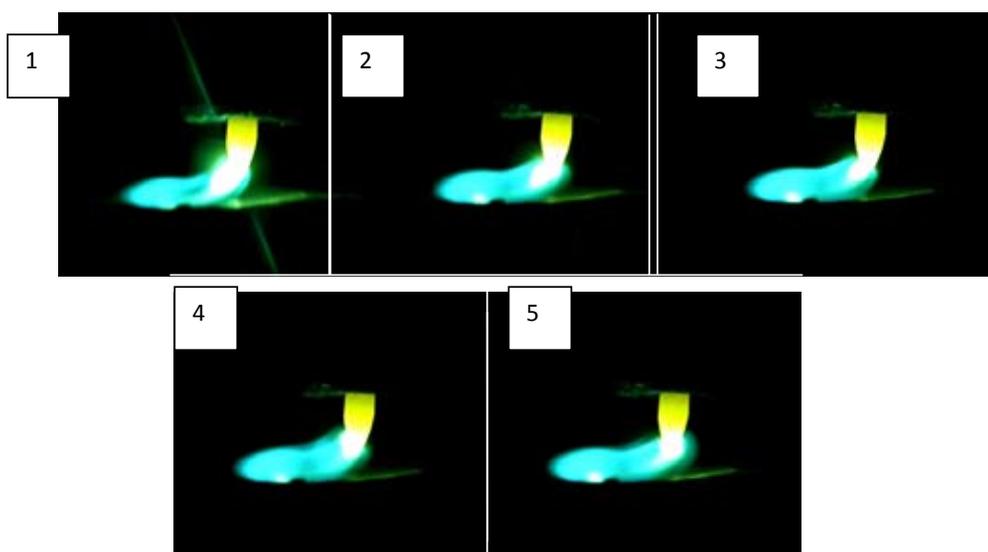


Рис. 6 . $I_d=9$ А, $U_d=16$ В, полярность прямая

Кинограммы горения дуги в аргоне между вольфрамовым электродом и алюминием показаны на рис. 5 и 6.

Осциллограмма процесса горения дуги, соответствующая кинограммам рис. 6, показана на рис. 7.

На прямой и обратной полярности наблюдается блуждание активных пятен.

Вопросу блуждания активных пятен и искривлению столба дуги посвящено много работ [9–11]. Но до настоящего времени блуждание катодного пятна объясняется на уровне гипотез [9, 12].

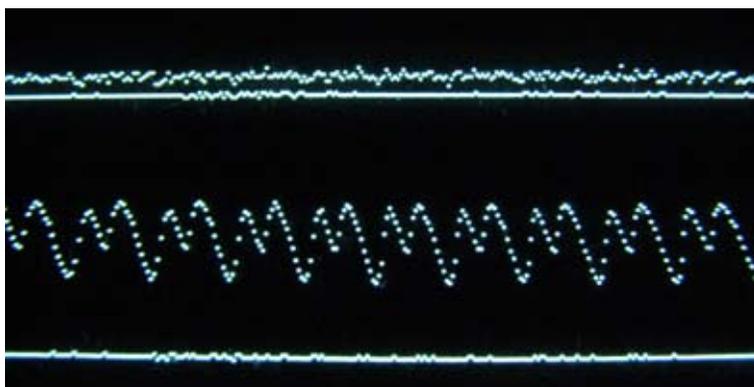


Рис. 7. Оциллограмма горения дуги на прямой полярности

Производились эксперименты по сварке вольфрамовым электродом диаметром 1 мм образцов из малоуглеродистой стали X18H9T, меди, латуни, алюминия. Расход газа составлял 5 л/мин, поддерживалась длина дуги 0,5-1 мм.

Перед сваркой у алюминиевых образцов окисная пленка удалялась мелкой наждачной шкуркой и все образцы обезжиривались. При недостаточной скорости сварки увеличиваются наплывы по свариваемым кромкам и наблюдается пилообразность шва, но в связи с устойчивым горением дуги обеспечивается сплавление кромок. При автоматической сварке горелка для сварки неплавящимся электродом крепилась к мундштуку головки АБС.

При толщине изделия 0,05-0,2 мм точное направление вольфрамового электрода вдоль линии сварного шва обеспечить сложно. Поэтому при автоматической сварке по отбортовке смещение электрода от оси шва колебалось и составляло 0,3-1 мм. При ручной дуговой сварке обеспечить длину дуги в пределах 0,5-1 мм и равномерное перемещение горелки еще сложнее.

Образец из стали X18H9T толщиной 0,2 мм, сваренной вручную в чистом азоте, показан на рис. 8.

После сварки наблюдается «пилообразность шва», которая также проявляет себя при сварке меди толщиной 0,1 мм в аргоне и азоте (рис. 9).

На рис. 10 показан внешний вид шва в аргоне при сварке латуни Л 62 толщиной 0,06 мм.

При автоматической сварке малоуглеродистой стали толщиной 0,1 мм в аргоне и минимальной силе тока также наблюдается пилообразность шва (рис. 11).

При сварке алюминия толщиной 0,16 мм в аргоне на обратной полярности также наблюдается «пилообразность» шва (рис. 12).

При сварке по отбортовке образцов толщиной 0,06-0,3 мм цилиндрическим электродом диаметром 1 мм, заточенным на иглу, на существующем оборудовании (горелка подвешивалась к автомату АБС) трудно обеспечить точное позиционирование электрода относительно шва. Проблему позиционирования возможно решить благодаря использованию плоского электрода при его расположении перпендикулярно свариваемому стыку.

Имеются сведения о повышении стойкости прямоугольных электродов в сравнении с цилиндрическими [13], но отсутствуют сведения о сварке плоскими вольфрамовыми электродами изделий толщиной 0,1-0,5 мм.



Рис. 8 . $I_d=3$ А, $U_d=28$ В

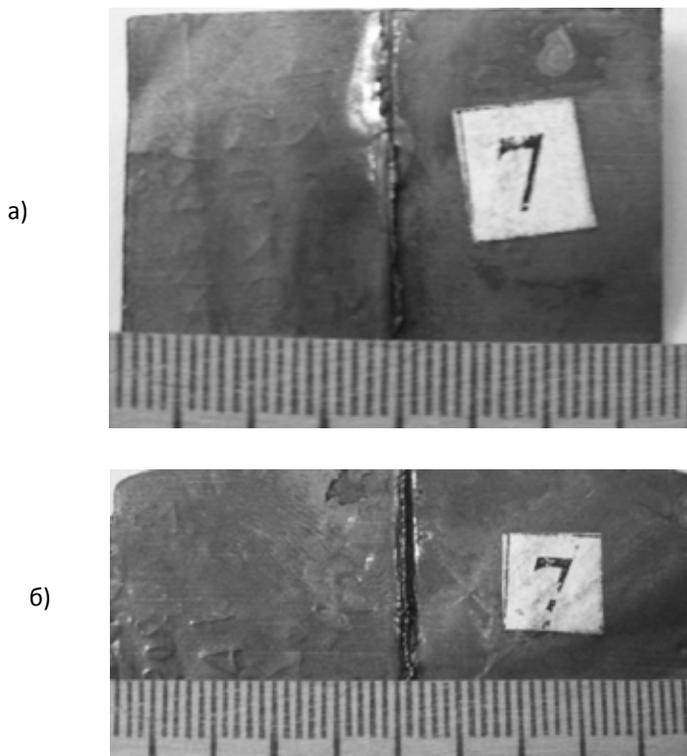


Рис. 9 . а – аргон, $I_d=5$ А; б – азот, $I_d=3.8$ А

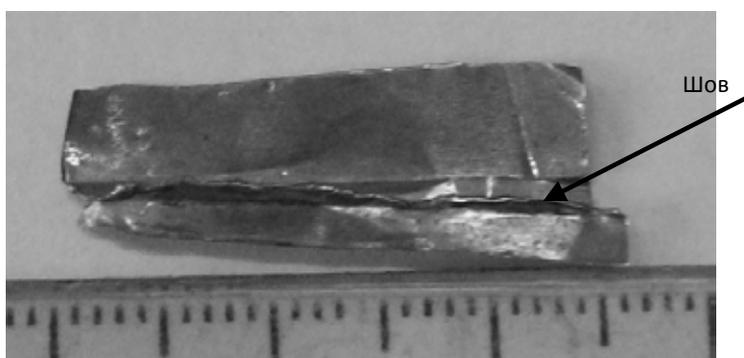


Рис. 10 . $I_d=5$ А

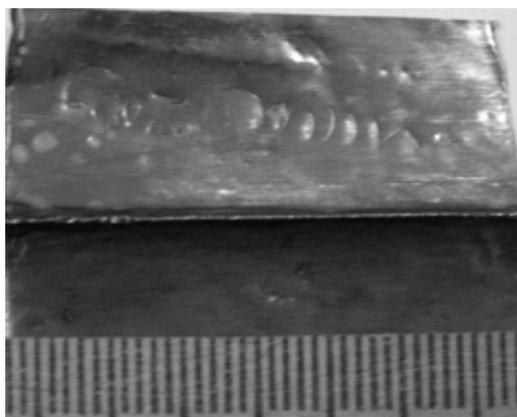


Рис. 11. $I_d=4.5$ А, $U_d=29$ В

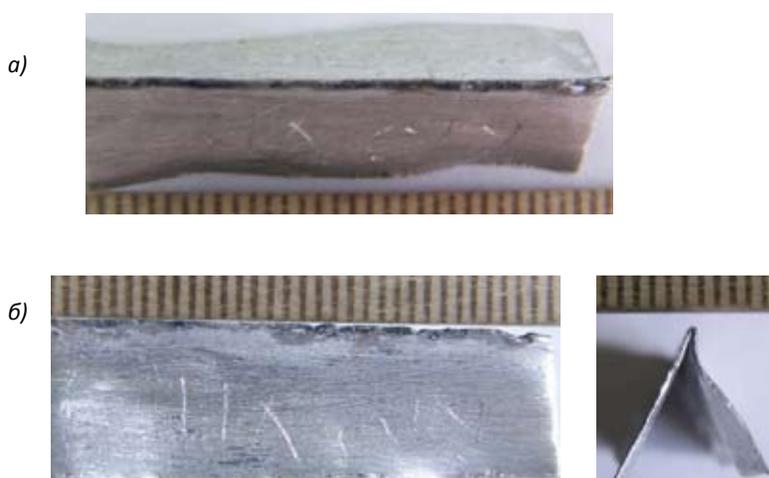


Рис. 12. Образец, сваренный в подбортовку: а – вид сверху, б – вид сбоку. $I_d = 4,5$ А, $U_d = 15$ В, толщина образца 0,2 мм

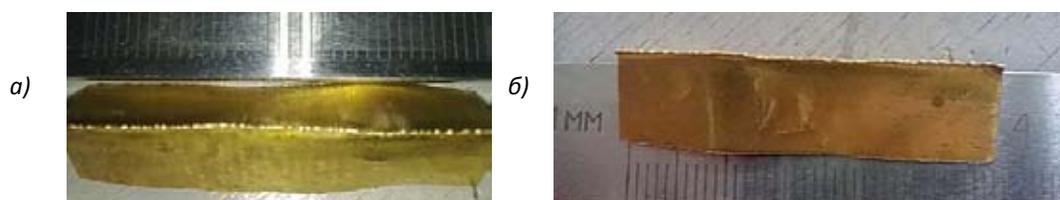


Рис. 13. Образец, сваренный в подбортовку: а) вид сверху, б) вид сбоку

Таблица 1

Материал	Толщина, мм	Сила тока, А	Защитный газ
Малоуглеродистая сталь	0,1	2,5	Аргон
	0,2	5,2	Аргон
Сталь Х18Н9Т	0,2	5	Аргон
	0,2	3	Азот
Медь	0,1	7,5	Аргон
	0,1	4,5	Азот
	0,05	3,5	Азот
Латунь	0,06	5	Аргон
Алюминий	0,16	9,4	Аргон

Плоским электродом (4x0,7 мм) из вольфраммолибденового сплава сваривалась латунь толщиной 0,06 мм по отбортовке в аргоне.

Режимы сварки: полярность прямая, расстояние от электрода до стыка 0,5 мм, $I_d=3$ А, $U_d=18$ В, скорость сварки 7,7 м/ч.

Внешний вид образца показан на рис. 13.

«Пилообразности» швов при сварке торцевых соединений избежать невозможно, и нет строгой теории, объясняющей ее возникновение [14, 15].

По результатам экспериментов рекомендуемые режимы сварки торцевых соединений приведены в табл. 1.

Выводы

1. При использовании стандартных вольфрамовых электродов диаметром 1–2,5 мм обеспечивается устойчивое горение дуги при силе тока менее 10 А.
2. Подобраны режимы сварки, обеспечивающие проплавление алюминиевых листов толщиной 0,18 – 0,5 мм.
3. Формируются швы при сварке различных металлов по отбортовке толщиной 0,06–0,2 мм в аргоне и азоте с зазорами и превышением кромок более толщины изделия.
4. Обеспечивается формирование швов при сварке электродом прямоугольного сечения.
5. При сварке на малых токах наблюдается блуждание катодного пятна.

Список литературы

- [1] Косович, В. А., Лапин И. Е., Русол О. А. // Сварочное производство. 1999. № 1. С. 1517.
- [2] Косович, В. А., Лапин И. Е., Русол О. А. // Сварочное производство. 2000. № 4. С. 68.
- [3] Radio-frequency-free arc starting in gas tungsten arc welding // Weld. J. 1986. 38. № 2. P. 3341.
- [4] Сварочное оборудование, сварочные материалы, аксессуары «Welding the world together»: Каталог // Lincoln electric. The welding experts, 2006.
- [5] Сварка особо тонкостенных труб / под ред. Д.А. Дудко. М.: Машиностроение, 1977. 128 с.

- [6] Глушко, В. Я., Лейбзон В. М., Лосицкий Н. Т. и др. // Сварочное производство. 1974. № 4. С. 2324.
- [7] Мейстер, Р. А., Мейстер, А. Р. // Сварочное производство. 2006. № 7. С. 2831.
- [8] Мейстер, Р. А., Мейстер, А. Р. Пат. 2251473 РФ (2003) // Б. И. 2005. № 13.
- [9] Лесков, Г. И. Электрическая сварочная дуга. М.: Машиностроение. 1970. 335 с.
- [10] Столбов, В. И. Сварочная ванна. Тольятти: ТГУ, 2007. 14 с.
- [11] Латин, И. Е. Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Волгоград, 2004. 39 с.
- [12] Кесаев, И. Г. Катодные процессы ртутной дуги и вопросы ее устойчивости. М.-Л.: Госэнергоздат, 1961. 320 с.
- [13] Шубин, В. И., Буянов М. В., Бородин Ю. М. и др. // Сварочное производство. 1979. № 2. С. 1213.
- [14] Шнеерсон, В. Я. // Сварочное производство. 1988. № 8. С. 3639.
- [15] Шнеерсон, В. Я. // Сварочное производство. 1989. № 12. С. 3739.

Special Features of Welding by a Low-Ampere Arc with Tungsten Electrodes

Robert A. Meyster and Andrey R. Meyster
*Siberian Federal University,
26 Kyrenskogo st., Krasnoyarsk, 660074 Russia*

When the arc is powered by a single-phase rectifier with a condenser voltage multiplier using tungsten electrodes with a diameter of 1-2,5 mm, the arc ignites and burns in argon and nitrogen with a current of 4-10 A. Stable arc burning at a reverse polarity provides full penetration of aluminum sheets with a thickness of 0,18-0,5 mm without outflow of a molten pool. In welding of end connections made of low-carbon steel, stainless steel, copper, brass, aluminum with a thickness of 0,06-0,2 mm, with a gap larger than sheet thickness, in argon and nitrogen of high grade, the weld is formed by cylindrical and rectangular electrode at the current of 2,5-9 A. At these low currents Intensive wandering of the active spots are detected.

Keywords: mig welding, non-consumable electrode welding, non-consumable electrode, tungsten electrode, aluminum welding, welding in shielding gases, welding arc, nitrogen, weld end connectioin, cylindrical electrode, rectangular electrode.
