

УДК 621.791.754.6

В. В. АТРОЩЕНКО, В. М. БЫЧКОВ, А. С. СЕЛИВАНОВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ТОКОВЫХ НАГРУЗОК ДЛЯ ЛАНТАНИРОВАННЫХ ВОЛЬФРАМОВЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

Описаны основные причины потери работоспособности неплавящихся электродов, рассмотрен механизм локального перегрева электрода. Описаны оборудование, методика подготовки и проведения эксперимента по определению предельных токовых нагрузок. Представлены результаты для лантанированных вольфрамовых электродов диаметром 1,0; 1,6; 2,0 мм. *Дуговая сварка в инертных газах; вольфрамовые электроды; сварочные материалы*

При аргонодуговой сварке неплавящимся электродом применяются электроды из вольфрама, легированные окислами лантана, тория и иттрия. В производственных условиях для сварки на постоянном токе прямой полярности применяются электроды, изготовленные из прутков круглого сечения, с конусной заточкой рабочей части на острый угол. Такая форма удобна тем, что позволяет стабилизировать дуговой разряд и быстро восстанавливать утраченную в процессе сварки исходную форму рабочего участка электрода. Электроды устанавливаются в горелку с некоторым вылетом из держателя (рис. 1), обычно в пределах 20–40 мм, который необходим для формирования стабильного потока защитного газа и обеспечения надежной газовой защиты зоны сварки [1].

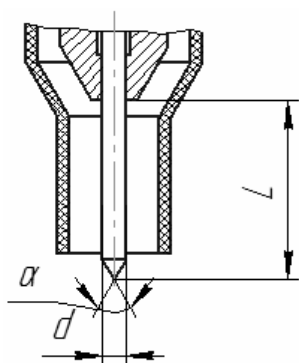


Рис. 1. Расположение электрода в сварочной горелке, L – величина вылета, d – диаметр электрода, α – угол заточки электрода

При аргонодуговой сварке неплавящимся электродом происходит снижение исходных

технологических свойств, необходимых для обеспечения стабильного процесса сварки. Обеспечению стойкости электродов посвящено немало работ, однако по сей день нет четких рекомендаций по применению активированных вольфрамовых электродов, а имеющиеся в различной справочной литературе данные носят ориентировочный характер и оговаривают только марку и диаметр неплавящегося электрода для заданной величины и рода тока [7, 8].

Стойкость электрода сильно зависит от условий его работы и может составлять от нескольких минут до 3–4 часов [2, 3]. Можно выделить две основных причины потери работоспособности неплавящихся электродов:

1. Локальный перегрев электрода выше температуры плавления материала электрода и его разрушение, вследствие превышения допустимых токовых нагрузок.

2. Потеря технологических свойств электрода и нарушение стабильности формирования шва вследствие эрозии и снижении эмиссионных свойств рабочего участка электрода в процессе длительной работы.

Рассмотрим первую причину. В процессе сварки электроды работают в условиях значительных тепловых нагрузок, которые могут привести к разрушению электрода при перегреве выше температуры плавления вольфрама. В стержневых электродах при большом их вылете велико влияние тепловыделения при прохождении тока, вследствие низкой электропроводности вольфрама при высокой температуре. При этом влияние эффекта термоэмиссионного охлаждения в катодном пятне и теплоотвод в горелку в месте зажима электрода обуславливают перегрев электрода в некоторой точке, расположенной на вольфрамовом стержне ме-

жду рабочим концом электрода и местом его крепления в цанге горелки [4, 5]. Условие разрушения стержня электрода в его средней части зависит от ряда факторов, которые определяют тепловое состояние электрода: силы сварочного тока, величины вылета электрода, его диаметра, условий теплоотвода в горелку, угла заточки электрода, химического состава материала электрода. Критические токи, при которых происходит расплавление электродного стержня, определялись в работе [6] для нескольких марок вольфрамовых электродов. Существенным недостатком работы [6] является отсутствие указания величины вылета электрода из цанги при проведении эксперимента, так как количество выделяющегося тепла и температура на вылете электрода возрастают с увеличением длины стержня, поэтому на разных вылетах можно получить различные значения критического тока. Кроме того, в данной работе не определялись критические токи для электродов диаметром менее 2 мм и электродов марки ВЛ-10, которые широко применяются в производстве. Опубликованных работ, посвященных определению предельных токовых нагрузок для электродов марки ВЛ-10, найти не удалось.

Для определения максимальной допустимой токовой нагрузки на постоянном токе прямой полярности исследовали электроды марки ВЛ-10 диаметром 1,0; 1,6; 2,0 мм при фиксированном вылете равном 25 мм. С целью определения влияния угла заточки на величину предельного тока опыты проводили на трех различных углах заточки электрода 30°, 45° и 60°.

В экспериментах использовались вольфрамовые прутки производства ОАО «ПОБЕДИТ» марки ВЛ-10, изготовленные по ТУ 48-19-27-88. Содержание окиси лантана по заводским сертификатам для прутков диаметром 1,0 и 2,0 мм не менее 0,85%, для прутков диаметров 1,6 мм не менее 0,8%, сумма примесей не более 0,015%.

Подготовка электродов заключалась в заточке рабочего торца на конус с точностью ± 1 градус, в специальном приспособлении в токарном станке, без притупления конуса. Внешний вид электрода после заточки приведен на рис. 2. Исследования стойкости электродов производились на специально разработанной установке, созданной на базе токарно-винторезного станка 1К62 и оснащенной дополнительным приводом вращения, щеточным узлом для обеспечения подвода тока к образцу, сварочной горелкой с механизмом регулирования ее положения, механической копирной сис-

темой для обеспечения постоянства длины дуги, и цифровой фотокамерой с возможностью видеосъемки (рис. 3).

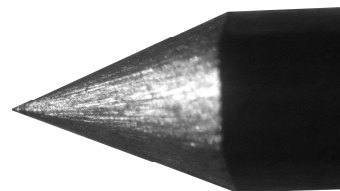


Рис. 2. Внешний вид заточенного электрода

Источником питания дуги являлся выпрямитель марки ВД-306УЗ. Сила тока измерялась при помощи шунта (500А) и цифрового мультиметра VC9804А. Колебания силы тока в процессе проведения эксперимента составляли не более 3 А. Напряжение на дуге измерялось также с помощью цифрового мультиметра.

Имитатором свариваемого изделия служила труба из стали 10, зачищенная до металлического блеска и обезжиренная бензином «нефрас». Эксперименты проводились на следующих фиксированных режимах сварки:

1. Длина дуги – 3 мм.
2. Вылет электрода – 25 мм.
3. Диаметр сопла горелки – 18 мм.
4. Расход аргона – 6 л/мин.
5. Расход воды в горелку – 5 л/мин.

Скорость сварки было выбрана в диапазоне, обеспечивающем формирование шва без дефектов, и устанавливалась равной 18 м/час для электродов диаметром 1,0 и 1,6 мм, 10 м/час для электродов диаметром 2,0 мм.

За критерий минимально допустимой работоспособности электрода при неизменном токе было принято условие работы без расплавления в течение 20 мин. Исследования максимально допустимой токовой нагрузки электродов диаметров 1,0, 1,6 и 2,0 мм при вылете 25 мм, показали, что практически во всех случаях перегрев и расплавление наступало на вылете электрода, на расстоянии от 9 до 16 мм от места закрепления электрода в держателе горелки, а предельный ток практически не зависит от угла заточки электрода. На рис. 4 (а, б, в) видно, что после оплавления произошел отрыв части электрода, расположенной ниже места оплавления.

В результате обработки экспериментальных данных были определены максимально допустимые токовые нагрузки, при которых не происходит расплавление средней части стержневого электрода, которые составили для электродов диаметром 1,0; 1,6; 2,0 мм соответственно 90, 188, 271 А.

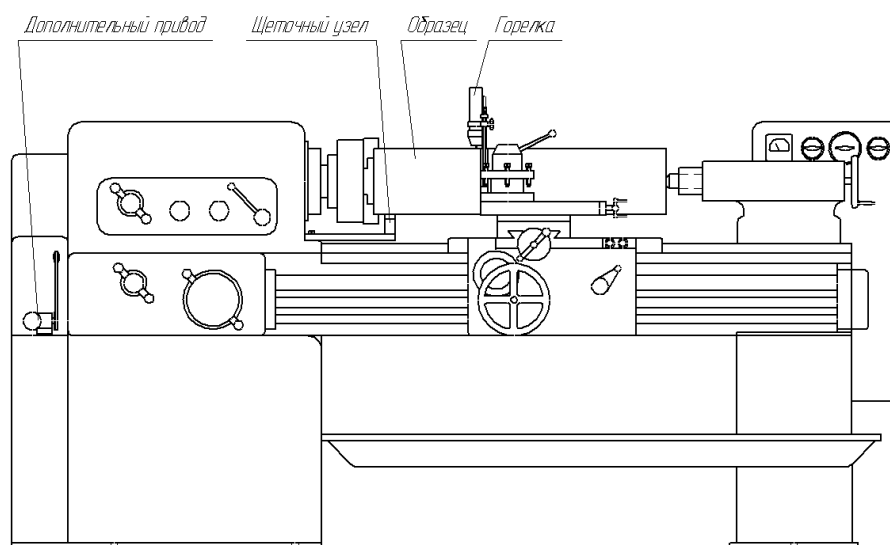


Рис. 3. Экспериментальная установка на базе токарно-винторезного станка 1К62



Рис. 4. Электроды после разрушения: *а* – диаметр 1,0 мм, сила тока 109 А; *б* – диаметр 1,6 мм, сила тока 194 А; *в* – диаметр 2,0 мм, сила тока 275 А; *г* – диаметр 2,0 мм, сила тока 274 А

На рис 5. показан электрод диаметром 1,0 мм и его рабочий участок после оплавления по вылету без отрыва нижней части электрода, при этом видно, что рабочий конус электрода не претерпевает значительных изменений.

Зафиксирован однократный случай (рис. 6) оплавления электрода по конусной рабочей части электрода на токе 190 А, при диаметре электрода 1,6 мм и угле заточки 30°, что, вероятно, связано с дефектом структуры материала электрода, который получают из порошковой композиции прессованием, прокаткой и протяжкой.

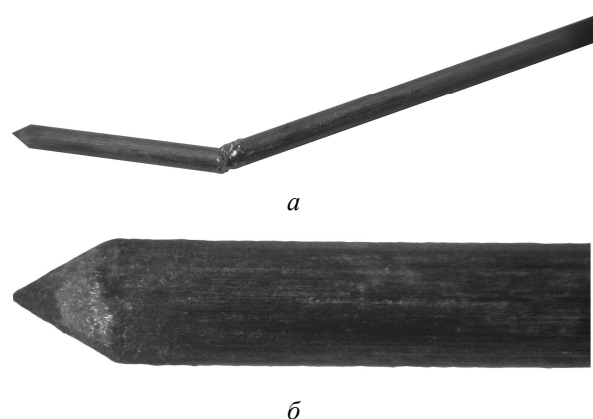


Рис. 5. Электрод диаметром 1,0 мм после разрушения на токе 96 А: *а* – разрушение по вылету; *б* – рабочий участок электрода

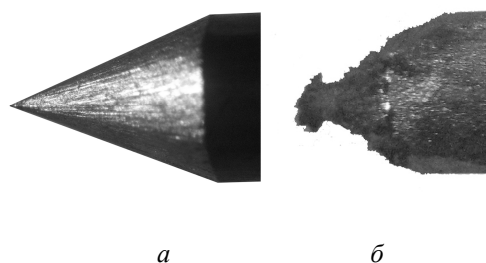


Рис. 6. Электрод *а* – после заточки, *б* – после оплавления по конусной части

На рис. 7 представлен график зависимости допустимого тока от диаметра электрода при постоянном вылете 25 мм, из которой видно, что зависимость критического тока от диаметра электрода для исследованного диапазона диаметров электродов близка к линейной, и может

быть аппроксимирована функцией вида $I_{кр} = 180d_{эл} - 92$, где $d_{эл}$ – диаметр электрода в мм.

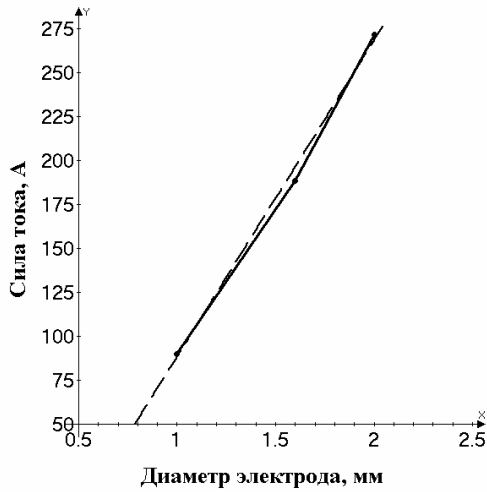


Рис. 7. График зависимости допустимого тока от диаметра электрода

График зависимости допустимого тока от отношения длины вылета к диаметру электрода, представленный на рис. 8, показывает, что соотношение геометрических параметров стержня электрода сильно влияет на значения допустимого тока, и с увеличением отношения $L/d_{эл}$ допустимый ток резко уменьшается. Соответственно, уменьшая вылет при неизменном диаметре можно увеличить токовую нагрузку на электрод.

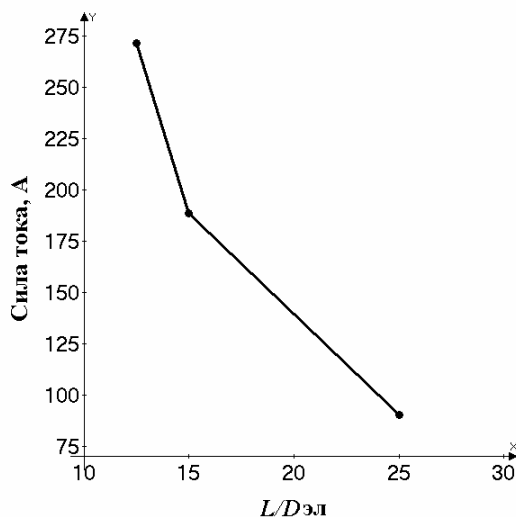


Рис. 8. График зависимости допустимого тока от отношения $L/D_{эл}$

Допускаемая плотность тока падает с увеличением диаметра электрода, что видно из графика на рис. 9. Это связано с изменением соотношения удельного тепловыделения в

стержне и изменением поверхностной теплоотдачи излучением и конвекцией пропорционально диаметру электрода.

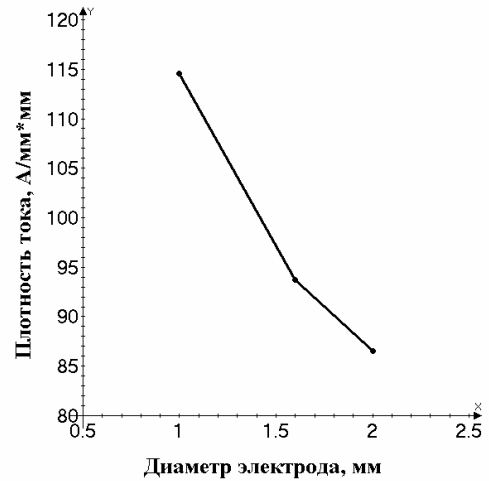


Рис. 9. График зависимости допустимой плотности тока от диаметра электрода

Стоит отметить, что рекомендуемые значения тока, приведенные в справочной литературе, существенно ниже допускаемых значений, установленных в данной работе. Так, в [7] для вольфрамовых электродов диаметром 1–2 мм рекомендуется сила тока от 75 до 170 А, а в [8] для электродов марки ВЛ диаметром 2,0 мм рекомендуется ток 150А.

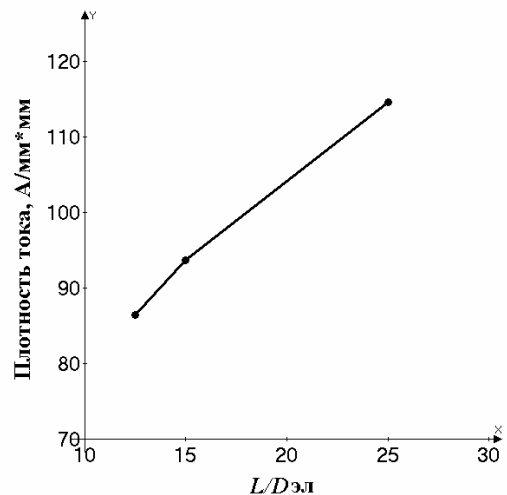


Рис. 10. График зависимости допустимой плотности тока от отношения $L/D_{эл}$

ВЫВОДЫ

1. Определены предельные нагрузки на постоянном токе прямой полярности для стержневых электродов марки ВЛ диаметром 1,0; 1,6; 2,0 мм при типичном для сварочных горелок

вылете электрода 25 мм, которые составили 90, 188 и 271 А соответственно.

2. Влияние угла заточки электродов в исследованной области изменения параметров не оказывает существенного влияния на предельную токовую нагрузку.

3. Полученные предельные токи значительно превышают рекомендованные в справочной литературе, что дает возможность расширить область применения исследованных электродов при сварке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Петров А. В., Штрикман М. М.** Исследование параметров струи защитного газа при дуговой сварке // Сварочное производство. 1961. № 5. С. 5–8.

2. **Баранов А. К., Крюковский В. И., Раймонд Э. Д.** Горелка для аргоно-дуговой сварки с интенсивным охлаждением вольфрамового электрода // Сварочное производство. 1970. № 8. С. 48–49.

3. Стойкость прямоугольных и круглых вольфрамовых электродов при длительной работе / Шубин В. И. [и др.] // Сварочное производство. 1979. № 1. С. 12–13.

4. **Savage W.F., Struck S. S., Nishikava I.** The effect of electrode in gas tungsten arc welding // Welding Journal. 1965. v. 44, №11. P. 489–496.

5. **Бадьянов Б. Н., Давыдов В. А., Панюхин А. В.** Расчет температур по длине вольфрамового электрода при аргонодуговой сварке // Сварочное производство. 1994. № 1. С. 34–35.

6. **Иванова О. Н., Рабкин Д. М., Будник В. П.** Допустимые значения тока при аргоно-дуговой сварке вольфрамовыми электродами // Автоматическая сварка. 1972. № 11. С. 38–40.

7. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: Учеб. для вузов / А. И. Акулов [и др.]. М.: Машиностроение, 2003. 560 с.

8. Сварка. Резка. Контроль: справочник в 2-х томах / Н. П. Алешин [и др.]. М.: Машиностроение, 2004. Т. 2. 624 с.

ОБ АВТОРАХ



Атрощенко Валерий Владимирович, проф., зав. каф. оборуд. и техн. сварочн. пр-ва. Дипл. инж.-электромех. (УАИ, 1974). Д-р техн. наук по автоматизации техн. процессов пр-ва (Ленинградск. электротехн. ин-т, 1991).



Бычков Владимир Михайлович, доц. той же каф. Дипл. инж.-мех. (УАИ, 1976). Канд. техн. наук по машинам и технологим сварочн. производства (Уральск. политехн. ин-т, 1980). Иссл. в обл. физики и техники дуговых и плазменных процессов в сварочном производстве.



Селиванов Алексей Сергеевич, ст. преп. той же каф. Дипл. магистра техники и технологии (УГАТУ, 2005). Готовит дис. в обл. повышения качества процесса аргоно-дуговой сварки вольфр. электродом.