

УДК 621.791.927.5.01

**Бородина Е. В., Гедрович А. И.**

## **ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ГОРЕНИЯ ДУГИ НА КАЧЕСТВО СВАРНЫХ ШВОВ**

Возникает необходимость использования дополнительных технологий по устранению непроваров, отклонений от оси шва, подрезов, наплывов и других дефектов. В связи с этим исследование возможностей электрической дуги и разработка новых схем сварки плавлением, обеспечивающих качество сварных швов актуальна [1].

Исследованиям сварочной дуги в Украине посвящено большое количество работ [2–5]. Исследованием электрической сварочной дуги занимались: Финкельбург В., Меккер Г. [6], Гаген Ю. Г [7], Тиходеев Г. М. [8] и др. исследователи.

Первая монография, посвященная электрической дуге была, подготовлена К. К. Хреновым и сдана в 1949 году. В 1961 опубликованы многолетние исследования сварочной дуги, выполненные Г. М. Тиходеевым, содержащий подробный обзор работ различных авторов. Монография содержит результаты обширных экспериментальных исследований автора в области электрической дуги, применяемой в сварочной технике. Приведены многочисленные статические характеристики дуговых разрядов до 2000 а, создана приближенная теория, позволяющая производить расчеты характеристик. Исследовано влияние магнитных полей на дуговой разряд. Указаны пути улучшения технологических свойств и повышения экономичности сварочной дуги. Выводы автора представляют интерес не только для сварки, но и для других применений дуги – в светотехнике, электротермии, для конструирования электрической аппаратуры. Книга рассчитана на инженеров, научных работников, аспирантов и студентов, интересующихся техническими, применениями дугового разряда. В работе [9] Лескова Г. И. «Электрическая сварочная дуга» сделана попытка систематизировать имеющиеся экспериментальные и теоретические исследования электрических дуг различного вида. Вследствие недостатка и противоречивости некоторых опытных данных автором в течение многих лет велись эксперименты по их дополнению и уточнению.

В монографии [10] на основе обширного теоретического и экспериментального материала рассмотрены вопросы применения современных информационных технологий в сварочном производстве, науке и технике, а также основные принципы и особенности математического моделирования сварочных процессов [11].

Целью данной статьи является анализ основных факторов, влияющих на стабильность дуги и сварочной ванны в процессе ее перемещения по оси сварки.

Устойчивость дуги – способность дуги к продолжительному горению после ее зажигания. При анализе устойчивости обычно удовлетворяются знанием интегральных величин: напряжением на дуге, силой сварочного тока, длиной дуги, ее диаметром, эластичностью, размером пятна нагрева и скоростью перемещения. Для дуг в любых средах кроме вакуума, важны: способность внешней цепи поддерживать напряжение, необходимое для разряда и способность эмиссионных процессов, обеспечить ток на катоде дуги.

Существенное значение имеет и угол наклона электрода, который также вызывает отклонение дуги (рис. 1). При наклоне электрода «углом назад» соответственно отклоняется и столб дуги. Давлением дуги часть металла оттесняется в хвостовую часть ванны, и глубина проплавления увеличивается. При наклоне «углом вперед» часть столба располагается над поверхностью основного металла и прогревает свариваемые кромки. Давлением столба дуги жидкий металл вытесняется в переднюю часть ванны. Толщина жидкой прослойки под дугой увеличивается, уменьшаются глубина проплавления и высота усиления, а ширина шва несколько возрастает. Сварка «углом назад» и «углом вперед» является одним из технологических приемов, позволяющих получать заданную форму сварного шва.

Одной из причин отклонения дуги может служить магнитное поле сварной цепи при несимметричном его подводе к зоне горения дуги. В других случаях такое отклонение создается искусственно путем возбуждения дуги между стержневым и трубчатым электродами оси, которых совпадают. Сильным фактором, действующим на отклонение дуги, являются ферромагнитные массы: массивные сварные изделия имеют большую магнитную проницаемость, чем воздух, а магнитные силовые линии всегда стремятся пройти по той среде, которая имеет меньшее сопротивление, поэтому дуговой разряд, расположенный ближе к ферромагнитной массе, всегда отклоняется в ее сторону (рис. 2).

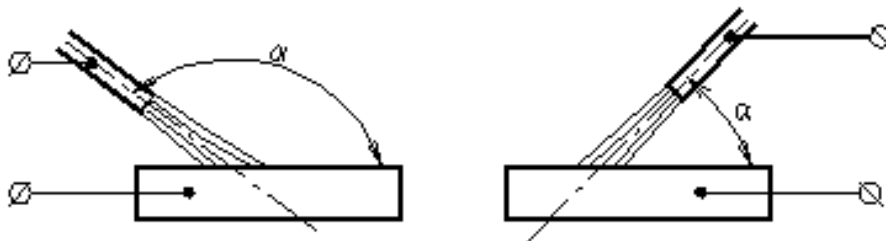


Рис. 1. Влияние угла наклона электрода на отклонение дуги

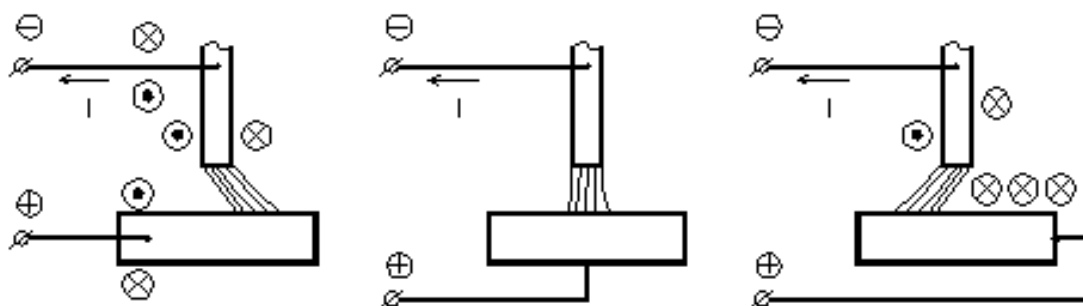


Рис. 2. Отклонение дуги постоянного тока под действием магнитного поля

В установившемся положении отклоняющая сила собственного магнитного поля (пропорциональная квадрату тока) уравновешивается противодействующими силами, вызванными «жесткостью» столба дуги [3]. К силам сопротивления относятся сила аэродинамического сопротивления  $F_1$  сила трения увлекаемых дугой газов  $F_2$  о стенки зазора, представляющего собой узкую щель, и сила  $F_3$ , противодействующая перемещению активных пятен дуги [12].

Сила аэродинамического сопротивления зависит от скорости перемещения дуги и напряженности магнитного поля. Сила трения потока газов зависит от скорости перемещения дуги, а также от величины зазора. Сила, противодействующая перемещению активных пятен дуги, зависит от материала электродов, формы электродов, состояния и температуры их поверхностей.

Движение эластичного проводника – дуги – будет происходить всегда только в сторону уменьшения плотности магнитных силовых линий.

Наличие значительных ферромагнитных масс вблизи дуги может вызвать ее отклонения, относимые также к магнитному дугу. Можно считать, что в ферромагнитной массе, благодаря ее высокой магнитной проницаемости «стремятся» сконцентрироваться магнитные силовые линии контура. Вследствие этого магнитное давление со стороны ферромагнитной массы снижается, и дуга отклоняется (рис. 3). Поэтому дуга может часто отклоняться

в сторону заваренного шва или от кромки в сторону основной массы изделия. При рассмотрении магнитного дутья следует учитывать, что металл в ванне и вблизи нее нагрет выше точки Кюри и практически немагнитен.

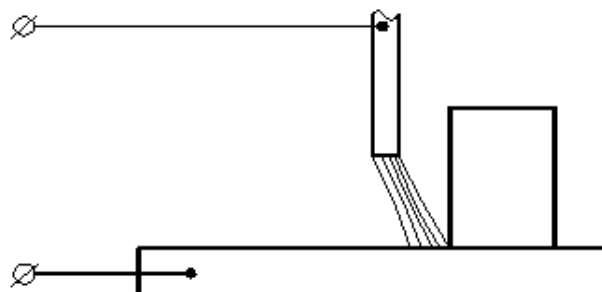


Рис. 3. Влияние ферромагнитных масс на отклонение дуги

Все сказанное выше о магнитном дутье относится в основном к дуге постоянного тока. При сварке дугой переменного тока в металле изделия создается система – замкнутых вихревых токов. Вихревые токи создают собственную переменную магнитодвижущую силу, сдвинутую почти на  $180^\circ$  по фазе по отношению к сварочному току. Результирующий магнитный поток контура оказывается значительно меньшим, чем при постоянном токе [12, 13].

При сварке под флюсом магнитное дутье обычно мало. Однако при сварке продольных швов труб из-за значительной ферромагнитной массы и замкнутого контура трубы возникает поперечное магнитное поле, сдувающее дугу вдоль трубы. Изменяя токоподвод или наклон электрода, можно ликвидировать отрицательное влияние дутья.

Возможности стабилизации дуги подробно исследованы Б. Е. Патонем, В. П. Никитиным, И. Я. Рабиновичем, В. К. Лебедевым и М. Н. Сидоренко. В случае сварочной дуги существует множество возмущающих факторов:

- непрерывное перемещение дуги на новые участки свариваемого изделия
- плавление и перенос металла
- чередование полярности переменного тока, неравномерность и неоднородность потока частиц поступающих в межэлектродный промежуток.

Плавление и перенос металла через столб являются причиной нарушения устойчивости процесса сварки [14].

Наличие оксидных пленок на катоде может, как повышать, так и понижать устойчивость горения дуги. На стабилизацию дуги влияют составляющие покрытия.

В настоящее время исследования, основанные на опыте научных работ разных ученых (Козлов В. В., Лесков Г. И., Дроздов А. П., Шаньгин А. М.) создают предпосылки для постановки новых задач, поскольку не всегда обеспечивают полноту ответа на все вопросы, интересующие современное производство, в частности, связанные с решением вопросов о стабильности горения дуги, влияние на нее различных внешних факторов [14].

Влияние магнитных полей и ферромагнитных масс можно устранить путем изменения места токоподвода, угла наклона электрода, путем временного размещения ферромагнитного материала для создания симметричного поля и заменой постоянного тока переменным.

Наличие вблизи сварочной дуги значительных ферромагнитных масс также нарушает симметричность магнитного поля дуги и вызывает отклонение дуги в сторону этих масс.

Магнитные поля зависят от множества факторов: исходной остаточной намагниченности, геометрических параметров разделки, обработки сварочной разделки и т. д.

Магнитное дутье ухудшает стабилизацию горения дуги и затрудняет процесс сварки. Для снижения влияния магнитного дутья на сварочную дугу необходимо применять специальные меры. К таким мерам относятся: сварка короткой дугой; подвод сварочного тока

к точке, максимально близкой к дуге; наклон электрода в сторону действия магнитного дутья; размещение у места сварки дополнительных ферромагнитных масс. Эти методы не всегда возможны из-за различной геометрии свариваемого изделия.

Если невозможно избавиться от влияния магнитного дутья указанными способами, то следует заменить источник питания и производить сварку на переменном токе, при котором влияние магнитного дутья значительно меньше, но при этом анодное и катодное пятно меняются местами с частотой, равной частоте тока в начале и в конце каждого полупериода дуга гаснет температура активных пятен и дугового промежутка снижается. Вследствие этого происходит уменьшение электропроводности столба дуги.

Также для устранения магнитного дутья широко применяют постоянные магниты. Небольшая масса и габаритные размеры применяемых магнитов, простота невысокая стоимость по сравнению с устройствами и установками размагничивания (рис. 4).

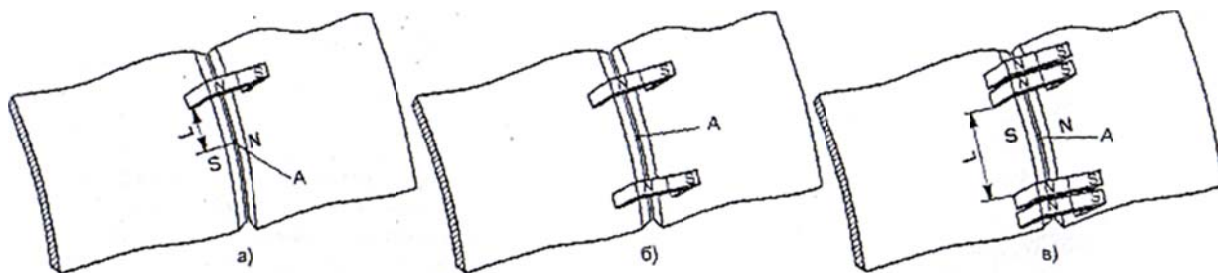


Рис. 4. Схема установки одного (а), двух, симметрично отстоящих от зоны сварки (б) и расположенных попарно, симметрично от зоны сварки (в), постоянных компенсационных магнитов (А – зона сварки)

На собранном стыке проводят контроль магнитной индукции в сварочном зазоре и рядом с разделкой отмечают величину и знак намагниченности. Магниты устанавливают перпендикулярно собранному стыку и определяют участок для нанесения прихваток корневого шва [15]. Два магнита ставят для увеличения эффективности. После установки магниты вновь контролируют индукция магнитного поля в сварочном зазоре.

В этом способе присутствуют некоторые недостатки: ограниченная эффективность, небольшая длина участка компенсации свариваемого стыка, необходимость определенных навыков при применении, предлагается еще подход, позволяющий компенсировать действие внешнего магнитного поля на сварочную дугу, за счёт использования только внутренних резервов сварочной системы, без использования дополнительных технических устройств и технологических операций. При этом принцип компенсации действия внешнего магнитного поля остаётся тем же, т. е. наложение на зону сварки третьего (компенсирующего) магнитного поля. Как известно, магнитное дутьё может быть вызвано несимметричным (относительно оси электрода) расположением контакта подвода тока к изделию. Этот эффект вызван взаимодействием собственного магнитного поля дуги, с магнитным полем тока протекающего по изделию. Предлагается использовать в качестве третьего (компенсирующего) магнитного поля именно магнитное поле тока, протекающего через изделие полей с индукцией  $V1$  и  $V3$ . При этом достаточно знать, в каком месте на поверхности изделия необходимо расположить токоподвод. Место приложения будет характеризоваться двумя параметрами направлением и расстоянием от оси электрода до токоподвода [16].

Однако предлагаемый подход может быть эффективно использован для компенсации действия внешнего магнитного поля на пространственное положение дуги, только при величине индукции внешнего магнитного поля не более 6 мТл. При большей величине индукции магнитного поля в разделке применение предлагаемого подхода [15] для устранения действия внешнего магнитного поля на сварочную дугу не эффективно.

## ВЫВОДЫ

Электрическая дуговая сварка является ведущим технологическим процессом в производстве сварных конструкций. Электротехнические, тепловые, и металлургические процессы образования сварного соединения непосредственно связаны с процессами в сварочной дуге. Для разработки новых методов необходимо глубокое знание этих процессов и способов управления ими. (Лесков Г. И. Электрическая сварочная дуга / Г. И. Лесков. – М. : Машиностроение, 1970. – 335 с.)

Из опыта работ [17–19] максимальная остаточная намагниченность, при которой возможно нормальное выполнение ручной сварки покрытым электродом, составляет 3200 А/м.

Для рассмотрения влияния магнитного поля на дугу в каждом конкретном случае необходимо экспериментальным путем (например, подробное зажигание дуги и т. д.) провести исследования сварки в стесненных условиях, выяснить, как поведет себя дуга и как повлияет магнитное поле на стабильность горения дуги.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патон Б. Е. Сварка активированным плавящимся электродом в защитном газе / Б. Е. Патон, Н. М. Воробай // Автоматическая сварка. – 1979. – № 1. – С. 1–7, 13.
2. Вибродуговая наплавка в среде водяного пара / Л. С. Сапиро, Э. В. Пономаренко, В. А. Маслов, М. А. Клебанов // Сварочное производство. – 1968. – № 5. – С. 42–43.
3. Дудко Д. А. Сварка плавящимся электродом в защитных газах с применением активирующего флюса / Д. А. Дудко, А. М. Савицкий, М. М. Савицкий // Автоматическая сварка. – 1986. – № 10. – С. 54–55.
4. Походня И. К. Процессы в дуге и плавление электродов / под ред. И. К. Походни; АН УССР. Ин-т электросварки им. Е. О. Патона. – К. : Наук. думка, 1990. – 224 с.
5. Оборудование и технологические особенности сварки электрической дугой, управляемой магнитным полем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aspar.com.ua/dugsvarka/39.html>.
6. Финкельбург В. Электрические дуги и термическая плазма : пер. с нем. / В. Финкельбург, Г. Меккер ; под ред. В. А. Фабриканта. – М. : ИЛ, 1961. – 370 с.
7. Гаген Ю. Г. Сварка магнитоуправляемой дугой / Ю. Г. Гаген, В. Д. Таран. – М. : Машиностроение, 1970. – 157 с.
8. Тиходеев Г. М. Энергетические свойства электрической сварочной дуги / Г. М. Тиходеев. – М. – Л. : Изд-во АН СССР, 1961. – 254 с.
9. Савицкий М. М. Особенности сварки сталей вольфрамовым электродом с активирующими флюсами (АТИГ-процесс) / М. М. Савицкий, Б. Н. Кушиниренко, О. И. Олейник // Автоматическая сварка. – 1999. – № 12. – С. 20–29.
10. Савицкий М. М. Механизм влияния электроотрицательных элементов на проплавляющую способность дуги с вольфрамовым катодом / М. М. Савицкий, Г. Н. Лесков // Автоматическая сварка. – 1980. – № 9. – С. 17–22.
11. Сапиро Л. С. Сварка в среде водяного пара / Л. С. Сапиро. – М. : Машиностроение, 1963. – 98 с.
12. Грецкий Ю. Я. Металлургические особенности подводной мокрой сварки покрытыми электродами (Обзор) // Автоматическая сварка. – 1995. – № 1. – С. 10–15.
13. Гедрович А. И. Возможность получения качественного соединения при сварке в комплексной защитной среде / А. И. Гедрович, О. Н. Друзь // Вестник ВНУ им. В. Даля. – Луганск : Изд-во ВНУ, 2003. – № 11. – С. 46–50.
14. Гедрович А. И. Влияние состава защитной среды на технологические свойства дуги и качество сварных соединений / А. И. Гедрович, О. Н. Друзь // Современные проблемы сварки и ресурса конструкций : материалы междунар. науч. конф. – Киев, 2003. – С. 19–20.
15. Воробай Н. М. Влияние конструкции активированной проволоки на характеристики процесса сварки в углекислом газе / Н. М. Воробай // Автоматическая сварка. – 1982. – № 1. – С. 44–47.
16. Гвоздецкий В. С. Контрагирование столба сварочной дуги / В. С. Гвоздецкий // Автоматическая сварка. – 1974. – № 2. – С. 1–4.
17. Рыжов Р. М. Магнітне керування якістю зварних з'єднань / Р. М. Рыжов, В. Д. Кузнєцов. – К. : Екотехнологія, 2010. – 288 с.
18. Лебедев В. А. Техника и технология дуговой сварки и наплавки (нестационарные процессы и режимы работы) : монография / В. А. Лебедев, А. И. Гедрович. – Луганск : Ноулидж, 2010. – 255 с.
19. Лесков Г. И. Электрическая сварочная дуга / Г. И. Лесков. – М. : Машиностроение, 1970. – 335 с.