

УДК 621.791.753

**СТАБИЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА
ДУГОВОЙ СВАРКИ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ
ПРИ ВОЗМУЩАЮЩЕМ ДЕЙСТВИИ ВНЕШНЕГО
МАГНИТНОГО ПОЛЯ**

А.С. Киселев, А.С. Гордынец, Р.И. Дедюх

Томский политехнический университет
E-mail: tskweld@mail.ru

Киселев Алексей Сергеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Оборудование и технология сварочного производства» Института неразрушающего контроля ТПУ. E-mail: tskweld@mail.ru
Область научных интересов: управление параметрами режима дуговой и контактной сварки.

Гордынец Антон Сергеевич, инженер, ассистент кафедры «Оборудование и технология сварочного производства» Института неразрушающего контроля ТПУ. E-mail: mnet@inbox.ru
Область научных интересов: оборудование и процессы дуговой сварки.

Дедюх Ростислав Иванович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Оборудование и технология сварочного производства» Института неразрушающего контроля ТПУ. E-mail: tskweld@mail.ru
Область научных интересов: повышение эффективности дугowych и плазменных источников нагрева.

Показана принципиальная возможность формирования неразъемного соединения в условиях возмущающего воздействия внешнего магнитного поля при ручной дуговой сварке покрытыми электродами переменным прямоугольным током частотой 500 Гц.

Ключевые слова:

Дуговая сварка намагниченных деталей, магнитное дутье, переменный прямоугольный ток, перенос электродного металла.

Введение

Применение постоянного тока для дуговой сварки плавящимся электродом в ряде случаев затруднено или невозможно из-за магнитного дутья. Особенно это актуально при выполнении ремонтных сварочных работ на трубопроводах после магнитной дефектоскопии. В результате такого воздействия индукция магнитного поля в зоне сварки может существенно превышать допустимый уровень 0,004 Тл [1]. Принудительное устранение магнитного поля сопряжено с использованием специализированного оборудования (ПКНТ, ЛАБС-7К, АУРА-7001-3 и т. п.), результаты эксплуатации которого характеризуются низкой эффективностью.

Известна взаимосвязь направления отклонения дуги с полярностью тока при воздействии внешнего магнитного поля, что позволяет сделать выбор в пользу переменного тока для борьбы с магнитным дутьем при сварке [2–5]. Для решения этой проблемы наиболее перспективным является применение переменного тока с прямоугольной формой волны, который характеризуется широкими регулировочными возможностями и малой длительностью коммутационных процессов [6]. Однако до настоящего времени преимущества данного способа борьбы с магнитным дутьем, в частности при сварке покрытыми электродами, в полной мере не реализованы. Об этом свидетельствует тот факт, что проблема решается применением размагничивающих устройств или компенсирующих магнитов.

Сдерживающим фактором решения проблемы магнитного дутья при сварке является отсутствие рекомендаций по адаптации амплитудно-временных параметров переменного тока к величине индукции внешнего магнитного поля.

Цель работы – определение влияния параметров режима горения дуги на её пространственную стабильность и характер переноса металла при сварке покрытыми электродами в условиях возмущающего воздействия внешнего магнитного поля.

Методика проведения исследований

В основу проводимых исследований положен принцип синхронной регистрации электрических параметров и пространственного положения дуги горячей между покрытым электродом и секционированным изделием, в зазоре которого принудительно создавали магнитное поле с индукцией 0,1 Тл [7]. При этом дугу возбуждали на одной секции изделия и затем перемещали в направлении другой секции перпендикулярно зазору. Питание дуги осуществляли как постоянным током обратной полярности, так и переменным током с прямоугольной формой волны, частоту которого задавали в одном случае 50 Гц, а в другом – 500 Гц. Для этой цели использовали экспериментальную установку (рис. 1). В её состав входят: секционированное изделие (1, 2), покрытый электрод 3, вращающийся держатель электрода 4, ограничитель перемещения электрода 5, цифровая высокоскоростная видеокамера 6, цифровой запоминающий осциллограф 7, датчик тока 8, источник питания 9, электромагнит 10. Аналогичные эксперименты проводили при отсутствии магнитного поля в зазоре.

Исследования проводили с использованием электродов марки LB-52U диаметром 3,2 мм. Секционированное изделие собирали из листов (сталь 20) размером 50×50×5 мм. Заданное значение индукции магнитного поля в зазоре между секциями, равном 2,5 мм, создавали электромагнитом и контролировали тесламетром ИМП-97Х. Дугу возбуждали (секция 1) на расстоянии 20...25 мм от зазора, после чего наплавляли валик, перемещая электрод под действием силы тяжести. Одновременно осуществляли видеосъемку зоны горения дуги и регистрацию электрических параметров в сварочной цепи. Ограничитель перемещения электрода настраивали таким образом, чтобы ось электрода совпадала на завершающем этапе с центром зазора между секциями.

Мерой оценки стабильности горения дуги при возмущающем воздействии магнитного поля служило расстояние между торцом электрода и изделием после её погасания при удлинении за счет принудительного ограничения перемещения электрода. Критерием удовлетворительного характера переноса металла служило сплавление кромок пластин секционированного изделия. Среднеквадратичное значение тока в начальный период горения дуги задавали равным 78...82 А. В качестве источника питания служил сварочный выпрямитель ВД-306, который в одном случае подключали непосредственно к электроду и изделию, а в другом – через дополнительный инвертор сварочного тока.

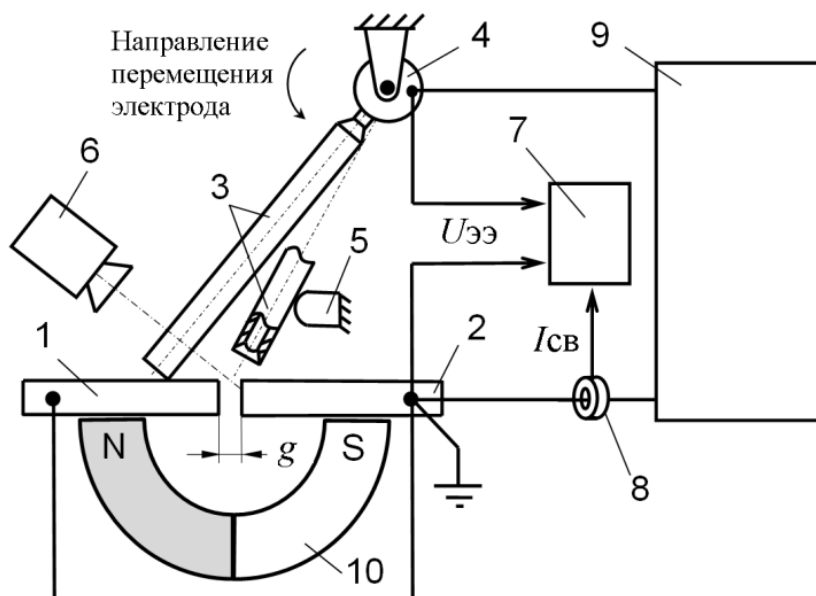


Рис. 1. Экспериментальная установка

Результаты исследований и их обсуждение

Первоначально изучали особенности горения дуги постоянного тока обратной полярности, а также дуги переменного тока частотой 50 и 500 Гц, при отсутствии магнитного поля в зазоре.

Полученные результаты показали, что наличие зазора между пластинами не оказывает существенного влияния на стабильность горения дуги и характер переноса электродного металла. Во всех случаях обеспечивалось сплавление кромок пластин секционированного изделия и снижение в 1,5...2,5 раза частоты следования коротких замыканий межэлектродного промежутка в период нахождения торца электрода над зазором. Эластичность дуги переменного тока частотой 500 Гц характеризуется значением 15,4 мм, а дуги переменного тока частотой 50 Гц и дуги постоянного тока обратной полярности – 13,1 мм.

Последующие эксперименты проводили при величине индукции магнитного поля в зазоре 0,1 Тл. Горение дуги постоянного тока обратной полярности и сопутствующие процессы характеризуются следующими особенностями. *Во-первых*, в непосредственной близости от зазора (5...7 мм) траектория валика наплавляемого металла изменяет направление, смещение которого на кромке зазора достигает 3...5 мм (рис. 2, а). *Во-вторых*, с момента начала пересечения зазора происходит одностороннее пульсирующее отклонение столба дуги и прекращаются короткие замыкания межэлектродного промежутка, так как расплавленный электродный металл отклоняется в сторону и разбрызгивается. *В-третьих*, незначительное увеличение длины дуги вследствие принудительного ограничения перемещения электрода приводит к её погасанию. При этом расстояние между электродом и изделием не превышает 3 мм (рис. 2, а).



Рис. 2. Внешний вид пластин секционированного изделия и относительное расположение торца электрода после погасания: а) дуги постоянного тока обратной полярности; б, в) дуги переменного прямоугольного тока ($f = 50$ и 500 Гц соответственно)

На рис. 3 приведены осциллограммы тока и напряжения, а также кадры видеосъемки дуги на завершающем этапе её горения. Из них следует, что отклонение дуги носит пульсирующий характер, который сопровождается повышением напряжения и соответствующим уменьшением тока (кадр а). Погасание дуги происходит в момент отрыва капли после вытеснения магнитным полем расплавленного металла за пределы козырька покрытия электрода и выноса дуги за пределы газовой защиты (кадр б).

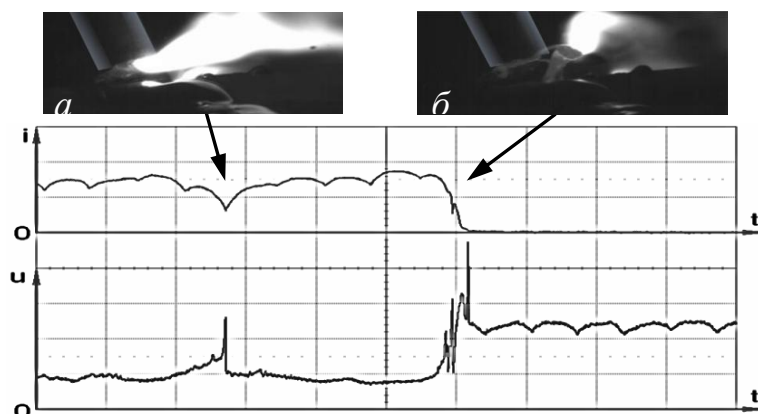


Рис. 3. Осциллограммы электрических параметров и кадры видеосъемки дуги постоянного тока обратной полярности на завершающем этапе её горения при возмущающем воздействии магнитного поля ($\mu_i = 5$ мс/дел; $\mu_u = 50$ А/дел; $\mu_{it} = 25$ В/дел)

При прочих равных условиях применение переменного прямоугольного тока частотой 50 Гц повышает пространственную стабильность дуги, что косвенно подтверждает формирование прямолинейного валика наплавляемого металла (рис. 2, б). Как и в случае применения постоянного тока, возмущающее воздействие магнитного поля на дугу проявляется в непосредственной близости от зазора.

С этого момента направление отклонения столба дуги и, соответственно, расплавленного электродного металла меняется синхронно с частотой смены полярности тока. При этом наблюдается повышенное разбрызгивание электродного металла, что обусловлено продолжительностью полупериодов протекания тока разной полярности, в течение которых магнитное поле успевает вытеснить расплавленный металл за пределы козырька покрытия электрода.

Такой характер переноса металла препятствует сплавлению кромок пластин секционированного изделия (рис. 2, б). Принудительное ограничение перемещения электрода предоставляет возможность увеличения длины дуги при возмущающем воздействии магнитного поля, что свидетельствует о достаточно высокой стабильности её горения. При этом расстояние между электродом и изделием после гашения дуги соответствует значению 4,1...4,6 мм.

На рис. 4 приведены осциллограммы тока и напряжения, а также кадры видеосъемки дуги при максимальном возмущающем воздействии магнитного поля. Из них следует, что направление отклонения столба дуги и её физическая устойчивость определяются полярностью тока (кадры а, б). При этом отклонения дуги не достигают предельных значений из-за смены полярности тока.

Отличительной особенностью регистрируемых коротких замыканий межэлектродного промежутка является их малая длительность (рис. 4, 5). При этом в процессе колебательного движения расплавленный электродный металл (рис. 5, а) кратковременно соприкасается с поверхностью сварочной ванны (рис. 5, б), а после возбуждения дуги вытесняется за пределы козырька покрытия электрода (рис. 5, в), отрывается и покидает зону сварки. Учитывая, что смена полярности тока происходит раньше отрыва капли, дуга по этой причине не гаснет.

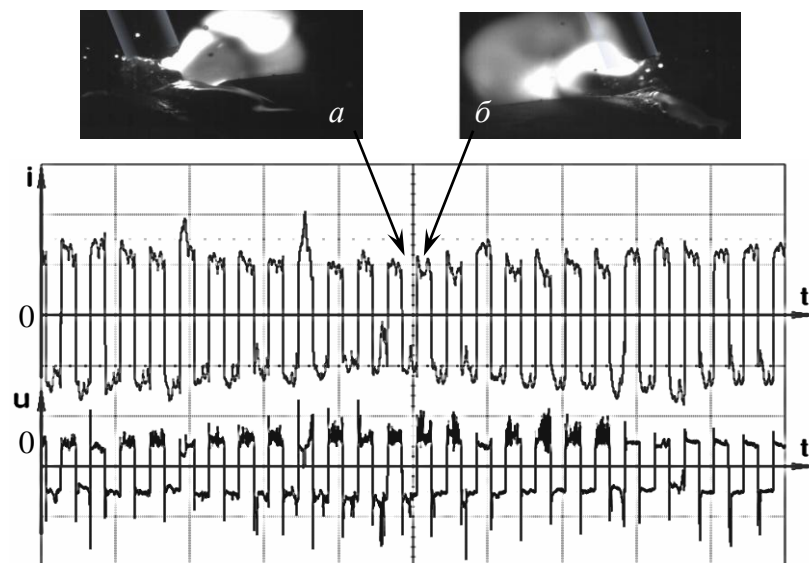


Рис. 4. Осциллограммы электрических параметров и кадры видеосъемки дуги переменного тока ($f = 50$ Гц) при возмущающем воздействии магнитного поля ($\mu_t = 50$ мс/дел; $\mu_i = 50$ А/дел; $\mu_u = 50$ В/дел)

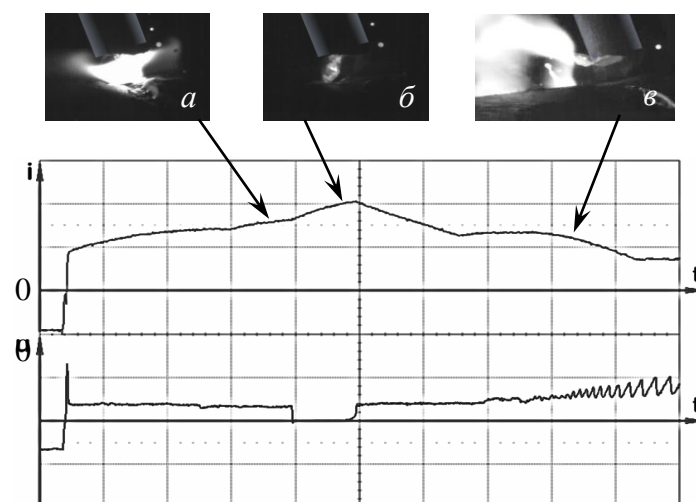


Рис. 5. Осциллограммы электрических параметров и кадры видеосъемки дуги переменного тока ($f = 50$ Гц) при возмущающем воздействии магнитного поля ($\mu_t = 1$ мс/дел; $\mu_i = 50$ А/дел; $\mu_u = 50$ В/дел)

Предположение о целесообразности уменьшения длительности периодов горения дуги подтверждается результатами экспериментальных исследований при питании сварочной цепи переменным прямоугольным током частотой 500 Гц. Как следствие, амплитуда отклонений столба дуги становится незначительной даже при максимальном возмущающем воздействии магнитного поля (рис. 6, а, б), а объем расплавленного электродного металла в силу инерционных свойств практически не подвержен колебаниям. В результате нормализуется перенос электродного металла, что способствует сплавлению кромок пластин секционированного изделия (см. рис. 2, в). При этом основной показатель стабильности горения дуги – эластичность – характеризуется максимальным значением, что подтверждают результаты измерений расстояния между торцом электрода и изделием после гашения дуги (11,3...15,5 мм).

Осциллограммы электрических параметров сварочной цепи в период сплавления кромок пластин секционированного изделия подтверждают отмеченные преимущества, а также характеризуют стабильность горения дуги соответствующей полярности и про-

цесс переноса электродного металла (рис. 6). Относительно большая длительность коротких замыканий межэлектродного промежутка обусловлена соответствующим объемом расплавленного металла (рис. 7, *а*). При этом особенностью переноса электродного металла является его симметричное расположение относительно оси электрода в течение всего периода (рис. 7, *а, б, в*), что подтверждает характерное расположение столба дуги в момент её возбуждения после разрыва перемычки жидкого металла (рис. 7, *г*).

Таким образом, полученные результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о возможности применения переменного прямоугольного тока частотой 500 Гц для осуществления процесса ручной дуговой сварки покрытыми электродами намагниченных деталей с величиной индукции магнитного поля в зазоре до 0,1 Тл.

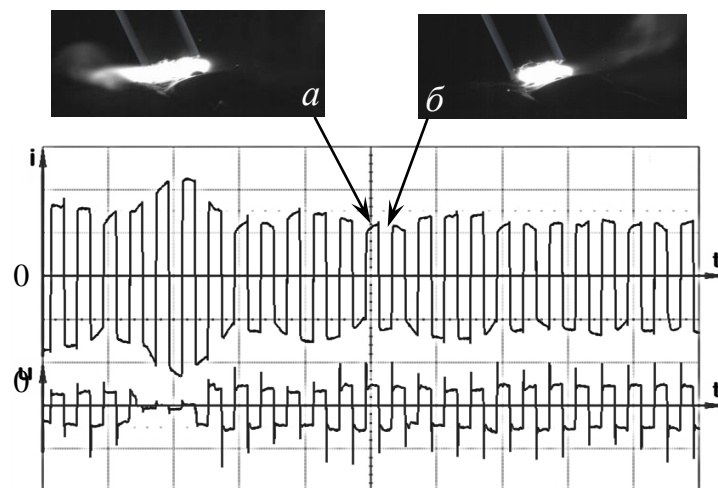


Рис. 6. Осциллограммы электрических параметров и кадры видеосъемки дуги переменного тока ($f = 500$ Гц) при возмущающем воздействии магнитного поля ($\mu_t = 5$ мс/дел; $\mu_i = 50$ А/дел; $\mu_u = 50$ В/дел)

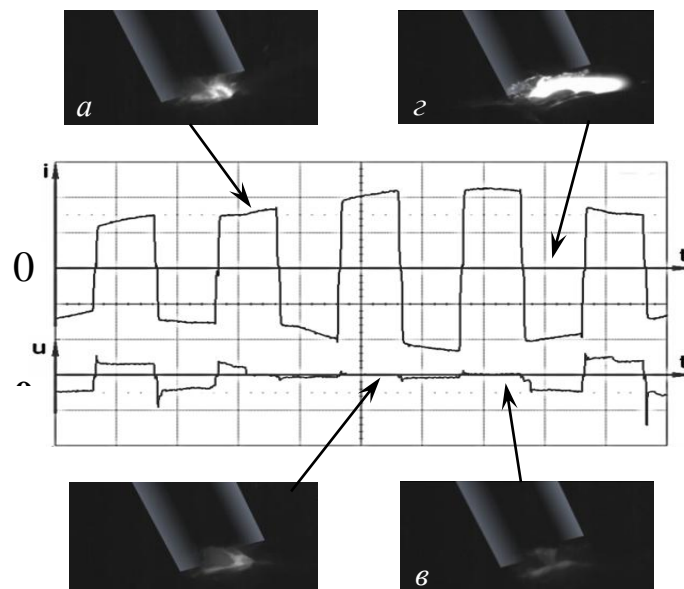


Рис. 7. Осциллограммы электрических параметров и кадры видеосъемки дуги переменного тока ($f = 500$ Гц) при возмущающем воздействии магнитного поля ($\mu_t = 1$ мс/дел; $\mu_i = 50$ А/дел; $\mu_u = 50$ В/дел)

Выводы

1. Предложена методика, позволяющая оценить влияние параметров режима горения дуги на её пространственную стабильность и характер переноса металла при сварке покрытыми электродами в условиях возмущающего воздействия внешнего магнитного поля.
2. Причиной погасания дуги постоянного тока обратной полярности при величине индукции магнитного поля в зазоре 0,1 Тл является вытеснение магнитным полем расплавленного металла за пределы козырька покрытия электрода и последующий отрыв капли.
3. Применение переменного прямоугольного тока частотой 50 Гц при возмущающем воздействии внешнего магнитного поля характеризуется повышенным разбрызгиванием расплавленного электродного металла, что препятствует сплавлению кромок пластин секционированного изделия.
4. Экспериментально установлено, что наличие индукции магнитного поля в зазоре между пластинами до 0,1 Тл не препятствует их сплавлению при питании сварочной цепи переменным прямоугольным током частотой 500 Гц, временные параметры которого обеспечивают стабилизацию пространственного положения расплавленного электродного металла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корольков П.М. Природа возникновения и методы устранения магнитного дутья при сварке // Сварочное производство. – 1998. – № 5. – С. 6–8.
2. Теория сварочных процессов / В.Н. Волченко, В.М. Ямпольский, В.А. Винокуров и др.; под ред. В.В. Фролова. – М.: Высшая школа, 1988. – 559 с.
3. Something new is happening in the Submerged Arc Welding process: многопредмет. сбор. стат. / Lincoln Electric UK (Ltd). URL: <http://www.lincolnelectriceurope.com/knowledge/help/article.asp?PID=1630> (дата обращения: 27.06.2013)
4. Methodology for Parameter Calculation of VP-GMAW / L.O. Vilarinho, A.S. Nascimento, D.V. Fernandes, C.A.M. Mota // Welding Journal. – 2009. – № 88 (4). – P. 92–98.
5. Pan J. L., Arc welding control. – Cambridge: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, 2003. – 603 p.
6. Новейшее оборудование ЭСАБ и расходные материалы для продольной сварки // SVETSAREN. – 2008. – Т. 63, № 1. – С. 27–31
7. Гордынец А.С. Управление процессом дуговой сварки при возмущающем воздействии магнитного поля: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.10 / А.С. Гордынец. – Томск, 2012. – 16 с.

Поступила 02.10.2013 г.