

С.А.ЕРМОЛИН, канд. техн. наук, доцент, sae0706@yandex.ru

А.С.ТАРАСОВ, канд. техн. наук, доцент, ast47@rambler.ru

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

S.A.ERMOLIN, PhD in eng. sc., associate professor, sae0706@yandex.ru

A.S.TARASOV, PhD in eng. sc., associate professor, ast47@rambler.ru

National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИНВЕРТОРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

В статье рассмотрены технологические возможности инверторных источников питания промышленного назначения (ток до 500 А; ПН не менее 60 %; частота преобразования не менее 20 кГц) для механизированного способа сварки. Проанализированы их технические и технологические преимущества перед тиристорными выпрямителями.

Ключевые слова: сварка, дуга, инвертор, разбрызгивание, технология.

TECHNOLOGICAL CAPABILITIES OF INVERTER POWER SOURCE FOR GAS METAL ARC WELDING

The article is about an inverter power source used in the industry (a current up to 500 A, a duty cycle up to 60%, an inverter frequency not below 20 kHz) for the gas metal arc welding. There technical and technological advantages over the thyristor rectifier are discussed.

Key words: welding, inverter, power source, metal spattering, technology.

Аппараты современных заводов нефтегазодобывающей и нефтехимической отраслей, узлы авиационной и космической техники, оборудование объектов атомной промышленности изготавливаются из металлов, не обладающих однозначно хорошей свариваемостью. Разработка новых сварочных процессов сокращает количество металлов и сплавов, изготовление сварных конструкций из которых не обеспечивает необходимой работоспособности и экономически нецелесообразно.

Начальный результат от внедрения первых инверторных источников в сварочную отрасль – сокращение материалоемкости – дал некоторый экономический эффект. Однако прорыва в области сварочных технологий сразу не получилось, сварочные свойства

инверторных источников оставались некоторое время на уровне «доинверторной» техники из-за недостаточности опыта их применения и разработки. При этом еще в 70-х годах теоретически и на экспериментальных установках было доказано, что сварочные свойства обычных выпрямителей ограничены их низким быстродействием.

К 2000 г. промышленность освоила выпуск инверторных источников на токи до 500 А для всех способов дуговой сварки. Данную группу источников можно условно разделить по виду структурных схем на две, совершенно не конкурирующие друг с другом. Первая – последовательная цепь «выпрямитель 1 – фильтр 1 – инвертор – высокочастотный трансформатор – выпрямитель 2 – фильтр 2». Вторая – также последовательная

цепь «низкочастотный трансформатор – выпрямитель – фильтр 1 – ШИРегулятор – фильтр 2». Отличительные признаки инверторов обоих типов – современные транзисторы и диоды с малыми потерями в силовой части, микропроцессор, способный за несколько микросекунд рассчитать время очередного выключения транзистора, в системе управления. Еще одна отличительная черта – изменение принципа управления источником – переход от стабилизации выходной величины (сварочные ток или напряжение) в заданных пределах к регулированию сварочного тока по заданной программе.

Источники из обеих групп способны изменять ток в сварочной цепи со скоростью до 1000 А/мс, что удовлетворяет требованиям к динамическим характеристикам и является практически предельной скоростью при напряжении холостого хода выпрямителя до 100 В. Теоретически такие источники должны превосходить своих предшественников по технологическим возможностям, так как требуемое быстродействие достигнуто. На практике так и есть, однако, степень превосходства конкретного источника зависит от усилий инженеров в области сварочных технологий и от реализаций результатов этих усилий в виде программ управления этим источником. Итак, проблема быстродействия источников питания для дуговой сварки пока разрешена и в настоящее время важно, используя техническое преимущество инверторных источников, придать им новые технологические возможности, максимально удовлетворить требования к источнику со стороны технологического процесса.

Для выполнения качественных швов требуется соблюсти следующие основные условия:

- надежное возбуждение дугового разряда;
- стабилизация погонной энергии, если нет другого заданного алгоритма контроля погонной энергии;
- стабильность и повторяемость сварочного процесса;
- минимальное разбрызгивание расплавленного металла.

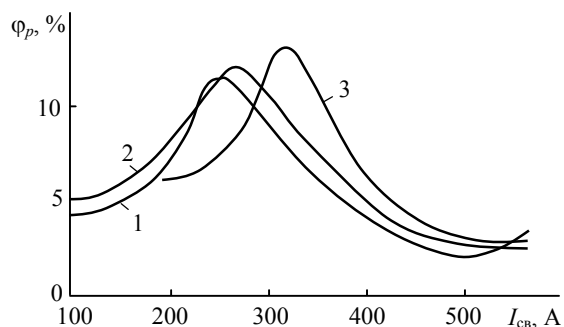


Рис. 1. Зависимости потерь металла на разбрызгивание от тока дуги

1, 2, 3 – диаметры электродной проволоки, соответственно 1,2; 1,4; 2,0 мм

Формально требования такие же, как и до изобретения сварочного инвертора. Но теперь и средства измерения регулируемых величин, и процессор, и исполнительное устройство, и критерии выполнения перечисленных условий – все на другом, более совершенном уровне.

Не главным, но коренным условием из четырех является условие снижения потерь металла при сварке, так как именно оно заставило более подробно взглянуть на физические процессы в дуговом промежутке и понять движение электродного металла в сварочную ванну. Методы и приемы, используемые для снижения разбрызгивания, позволили повысить стабильность сварочного процесса и надежность зажигания дуги и даже получить новые технологии.

На рис.1 приведены кривые зависимости потерь металла на разбрызгивание при механизированной сварке углеродистой стали в CO_2 . Аналогичные результаты с другими металлами и в других защитных газах, а также причины разбрызгивания при сварке плавящимся электродом известны с начала 70-х годов. Повышенное разбрызгивание при сварке в многоатомных газах многие воспринимали как должное, а в тех случаях, когда внешний вид имел принципиальное значение, применялся один из доступных приемов. Во-первых, использовалась аргонодуговая сварка (малопроизводительно, дорого, но качественный внешний вид), во-вторых, исключались интервалы с максимумом потерь из используемых режимов методом изменения диаметра электрода (сни-

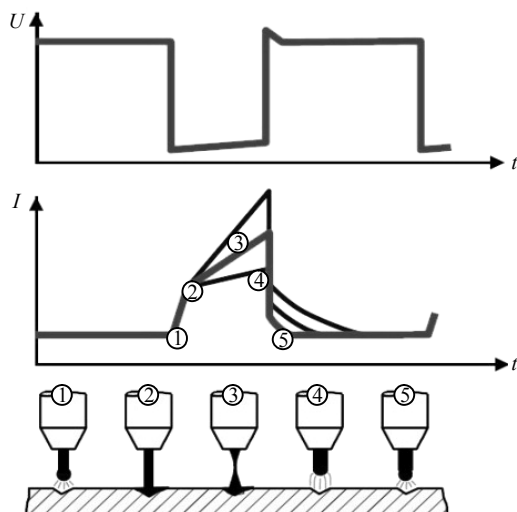


Рис.2. Изменение напряжения на дуговом промежутке U и сварочного тока I в процессе сварки. Моменты времени характерных состояний дугового промежутка: 1 – непосредственно перед к.з.; 2 – капля слилась с ванной; 3 – утоньшение жидкой перемычки; 4 – образование дугового разряда; 5 – образование очередной капли

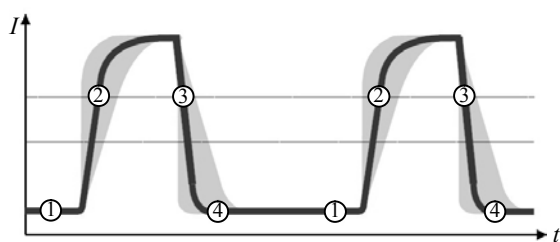


Рис.3. Режим сварки «один импульс – одна капля»

жение разбрызгивания минимум в два раза заметно улучшало внешний вид), в-третьих, в защитный газ добавлялось необходимое количество аргона, чтобы применить импульсно-дуговой способ с принудительным сбросом электродного металла. Последний способ с небольшими модификациями успешно применяется и сегодня.

Основными причинами разбрызгивания металла при сварке являются:

- взрыв перегретой жидкой перемычки между электродом и сварочной ванной в конце короткого замыкания;
- взрыв-отражение капли электродного металла при касании ее о сварочную ванну в начале короткого замыкания;
- падение мимо сварочной ванны капли, испытывающей на себе действие суммы сил с направлением в сторону от ванны.

Четвертой причиной условно можно назвать элемент случайности, обусловленный подвижностью поверхностей жидкого металла и токопроводящего канала в дуговом промежутке. Не являясь причиной, фактор случайности делает невозможным рассчитать заранее момент начала или конца короткого замыкания, что существенно осложняет противодействие разбрызгиванию.

Появление инверторных источников для сварки с микропроцессорным управлением постепенно разрешило проблему разбрызгивания.

Сварку короткой дугой – режим небольших токов иллюстрирует рис.2. Небольшое разбрызгивание обеспечено ограничением тока в начале и в конце короткого замыкания. В первом случае малая электродинамическая сила, действующая на каплю, не препятствует слиянию капли с ванной, во втором – мала энергия, выделяющаяся в жидкой перемычке во время ее разрыва. Регулируемая форма тока помогает перейти металлу с электрода в ванну за заданное время. Этот метод используется для сварки сталей и совершенно не подходит для сварки алюминия, марганца и их сплавов.

Действие алгоритма, который условно называется «один импульс – одна капля», иллюстрирует рис.3. Базируется алгоритм на некотором соответствии между частотой сброса капель расплавленного электрода в ванну и скоростью подачи электродной проволоки. Энергия импульса достаточная для расплавления очередной порции проволоки и придания капле вектора движения в ванну. Если амплитуда тока в импульсе превышает критическое значение, то вместо капли образуется струя из мелких капель. Между импульсами горит малоамперная дуга, поддерживая электрическую проводимость дугового промежутка, не вызывая заметного плавления электрода.

Этот же алгоритм применяется и для сварки на малых токах. Отличие состоит в повышенном напряжении дуги, чтобы избавиться от коротких замыканий и связанных с этим последствий. Регулируя соотношение мощности в фазах «дуга – короткое замыкание» возможно менять количество напла-

ляемого металла. Дуга во время импульса оказывает силовое воздействие на поверхность сварочной ванны, разрушая окисные пленки, если они есть. Этот метод используется для сварки любых сталей, хромоникелевых сплавов, алюминия и его сплавов в соответствующих защитных газах.

Для расширения диапазона в сторону меньших токов был разработан алгоритм переноса «холодного» металла с электрода в сварочную ванну. Для этого в подающий механизм был поставлен дополнительный реверсивный привод, позволяющий совершать до 70 возвратных движений в секунду. Действие инверторного источника на сверхмалых токах показано на рис.4 – во время короткого замыкания ток практически выключается, одновременно проволока отводится от сварочной ванны. После возникновения промежутка между ванной и электродом зажигается дуга, возобновляется плавление проволоки, которая опять движется в сторону сварочной ванны до следующего короткого замыкания. В этом режиме используются малые значения токов, при которых возможна сварка-пайка стальных и алюминиевых листов от 0,3 мм, а разбрызгивания в принципе не может быть. По этой же технологии можно осуществлять пайку оцинкованного железа или металлов, свариваемость которых сильно ограничена.

На рис.5 изображен алгоритм переноса электродного металла силами поверхностного натяжения, суть которого заключается в снижении тока почти до нуля в моменты начала короткого замыкания и его конца. Плавление изделия и электрода происходит после повторного зажигания дуги, сразу выделяется количество энергии, необходимое для плавления очередной капли. Далее ток дуги снижается, поддерживая в расплавленном состоянии сварочную ванну и каплю. В начале фазы короткого замыкания, после небольшой паузы действует импульс тока и под действием пинч-эффекта жидкая перемычка сжимается ближе к электроду. Силы поверхностного натяжения действуют с момента касания-слияния капли с ванной и металл капли перетягивается с электрода в ванну.

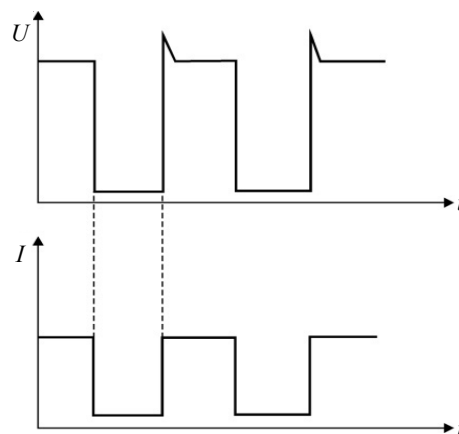


Рис.4. Режим сварки на малых токах

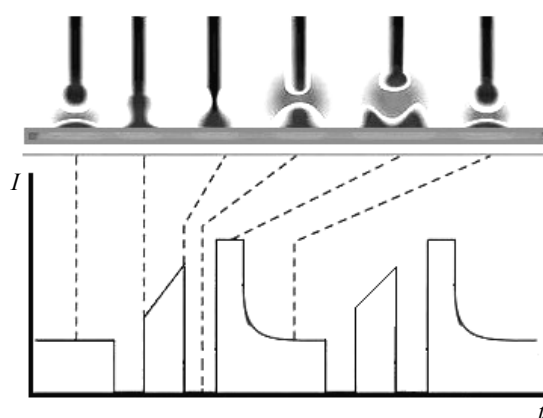


Рис.5. Режим переноса электродного металла силами поверхностного натяжения

Снижение потерь металла на разбрызгивание практически до нуля происходит за счет точной фиксации начала короткого замыкания и сброса накопленной энергии индуктивности сварочного контура в подключаемый резистор, а также точной фиксации начала разрыва жидкой перемычки и повторного сброса накопленной энергии индуктивности сварочного контура в подключаемый резистор. На сегодняшний день это лучший алгоритм, а сварочный источник – лучший источник (более 15 лет на рынке) для заварки промежутков и корневых швов труб из низкоуглеродистых и легированных сталей.

Успех STT-технологии закрепился после дополнения STT-источника технологией импульсно-дуговой сварки с импульсами регулируемой формы. Импульс меняется по девяти параметрам, что позволяет настроить

его на сварку любых сталей, хромоникелевых сплавов, алюминия и его сплавов в соответствующих защитных газах.

Данная статья написана по материалам из открытых источников Cloos, ESAB, EWM, Fronius, Kemppu, Lincoln Electric, Lorch, Merkle, Miller, OTC и других разработчиков сварочного оборудования. Каждая из этих фирм самостоятельно прошла путь приобретения положительного опыта использования повышенных технических характеристик, трансформируя их в технологические преимущества современных сварочных технологических установок. Отметим практическую ценность описанных инженерных и научных достижений:

- Потери металла на разбрызгивание практически сведены до 1 %. Попадающий на изделие металл имеет форму мелких шариков. Ценно, что капли при этом не наплавляются на изделие.

- Быстродействующий контроль тока дуги позволяет дозировать энергию в дуговом промежутке, управлять скоростями плавления электрода и основного металла, перемещать металл с электрода в ванну, контролировать длительность фазы горения дуги.

- Быстродействующий контроль тока короткого замыкания позволяет снизить до минимума разбрызгивание, перемещать металл в сторону сварочной ванны, изменять геометрию жидкой перемычки, контролировать длительность короткого замыкания.

- Быстродействующий контроль тока позволяет получить устойчивый дуговой разряд при первом же касании.

- Микропроцессорная система управления позволяет сделать процессы в зоне сварки стабильными, предсказуемыми и повторяемыми.

Авторы благодарны компании «МИОН» за предоставление оборудования для испытаний.