

УДК 621.791.75.037

И. В. СМИРНОВ, канд. техн. наук, **А. И. ЗАХАРЕНКО**, инж.

Тольяттинский государственный университет

E-mail: office@tltsu.ru

Управление тепловложением при дуговой сварке неплавящимся электродом

Выполнен анализ существующих способов управления тепловложением в свариваемые кромки при сварке неплавящимся электродом. Приведены методика и результаты экспериментальных исследований, позволяющие определить область применения управления пространственным положением дуги за счет изменения параметров ее собственного магнитного поля при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом током до 200 А.

Analysis of the existing heating force control modes at nonconsumable electrode arc welding of groove faces is carried out. Methods and experimental investigation results allowing for determining application field of the arc attitude positioning due to changing characteristic of its inherent magnetic field at nonconsumable electrode argon-arc welding by current up to 200 A are covered.

Ключевые слова: тепловложение, свариваемые кромки, аргонодуговая сварка, пространственное положение

Key words: heating force, groove face, argon-arc welding, attitude position

На практике постоянно возникают задачи, связанные с необходимостью управления тепловложением в свариваемую поверхность изделия в процессе сварки. Все многообразие факторов, вызывающих необходимость такого управления, можно укрупненно свести к двум большим группам.

Первая группа — это факторы, приводящие к отклонению характера тепловложения от проектного, т. е. это те факторы, воздействие которых на сварочный процесс приводит к необходимости стабилизации тепловложения относительно его характера, согласно проектной технологии сварки. Как правило, к этим факторам относятся возмущающие, воздействие которых на процесс сварки приводит к неконтролируемому изменению пространственного положения сварочной дуги относительно свариваемого стыка: внешние магнитные поля, влияние ферромагнитных масс, непостоянство параметров подготовки и сборки кромок под сварку по длине стыка (наиболее ярко выраженное при сварке корневого слоя шва) и т. д. Основным способом, позволяющим устранить отклонение характера тепловложения в свариваемое изделие от проектного, является устранение неконтролируемого изменения пространственного положения сварочной дуги на свариваемых кромках.

Вторая группа — это факторы, наличие которых приводит к необходимости изменения характера тепловложения в каждый элемент сварного соединения, т. е. это факторы, приводящие к необходимости не стабилизации, а оптимизации тепловложения по заранее заданным критериям. К этой группе факторов можно отнести, например, сварку разнородных материалов, элементов с большой разностью толщин и т. д. Как правило, основным способом, позволяющим оптимизировать процесс вложения теплоты в каждый из свариваемых элементов, является управление пространственным положением дуги на свариваемых кромках.

Таким образом, независимо от причин и факторов, вызывающих необходимость управления тепловложением в свариваемые кромки, основным механизмом реализации такого управления является управление пространственным положением дуги относительно свариваемых кромок. Поэтому цель данной работы — совершенствование методов управления пространственным положением дуги на свариваемых кромках при дуговой сварке неплавящимся электродом.

Из анализа литературных данных установлено, что для управления пространственным положением дуги относительно стыка в настоящее время применяют два основных подхода:

- воздействие на дугу магнитным полем;
- механическое перемещение сварочной горелки по заданной траектории.

Анализ способов управления, основанных на воздействии на дугу магнитным полем, показал наличие двух подходов: воздействие на дугу внешним (управляющим) магнитным полем и управление пространственным положением дуги за счет изменения параметров ее собственного магнитного поля.

Для воздействия на дугу внешним магнитным полем используют поперечное и продольное магнитное поле [1]. Продольное магнитное поле, как правило, не используется для управления пространственным положением дуги, а применяется в основном для изменения ее энергетических и геометрических характеристик (размера пятна нагрева дуги, изменения напряжения, коэффициента сосредоточенности теплового потока и т. д.). Для управления пространственным положением дуги на свариваемых кромках используют поперечное магнитное поле. Анализ публикаций, посвященных использованию поперечных магнитных полей для управления геометрическими характеристиками сварных швов, показал наличие существенных ограничений в применении этого подхода. Одним из основных ограничений является то, что применение поперечных магнитных полей для управления пространственным положением дуги может быть эффективно реализовано только в случае наплавки на плоскость или сварки стыков без разделки кромок. При сварке соединений с разделкой кромок эффективность управления размерами шва (и, соответственно, пространственным положением дуги) резко уменьшается [1—3]. Чем глубже дуга расположена в разделке над поверхностью изделия, тем менее эффективным становится воздействие на нее поперечным магнитным полем. Наиболее ярко данный эффект проявляется при сварке ферромагнитных материалов и объясняется экранирующим влиянием свариваемых кромок [4].

Методы управления пространственным положением дуги, основанные на механическом перемещении сварочной горелки по заданной траектории, обладают фактически тем же основным недостатком, что и методы управления положением дуги путем воздействия на нее поперечным магнитным полем — ограниченно пригодны для управления положением дуги при сварке соединений с разделкой кромок. При расположении горелки внутри разделки кромок существенно ограничены возможности ее перемещения, особенно в поперечном направлении.

Анализ наиболее широко применяемых в настоящее время способов управления пространственным положением дуги относительно стыка пока-

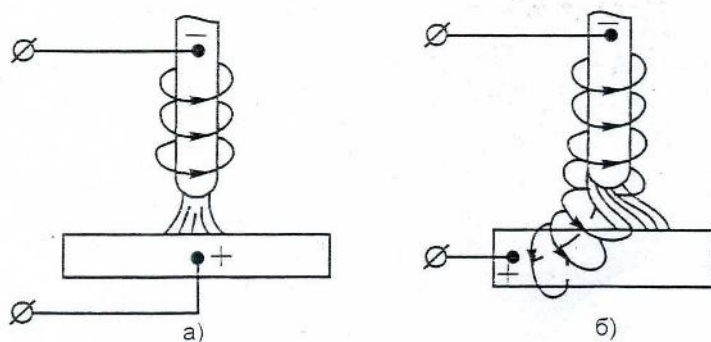


Рис. 1. Действие собственного магнитного поля на дугу: а — при отсутствии искривления магнитного поля; б — при наличии искривления собственного магнитного поля дуги (т. е. "магнитного дутья")

зал, что они эффективны для наплавки на плоскую поверхность или сварки соединений без разделки кромок, но весьма ограниченно могут быть применены для сварки соединений с разделкой кромок, особенно для сварки наиболее ответственной части таких соединений — корневого слоя шва.

Наиболее перспективный способ управления пространственным положением дуги относительно стыка — изменение параметров собственного магнитного поля дуги, а именно использование эффекта "магнитного дутья". Данный эффект основан на том, что при нарушении симметричности собственного магнитного поля сварочной дуги в нем возникают области, в которых плотность линий магнитной индукции увеличивается либо уменьшается. В результате дуга отклоняется от своей оси в сторону области магнитного поля, в которой плотность линий магнитной индукции уменьшается (рис. 1). Используя описанный принцип, предложен¹ подход к управлению пространственным положением дуги, основанный на целенаправленном изменении зональной напряженности собственного магнитного поля дуги за счет периодического изменения места подключения токоподвода к изделию. Изменение места подключения токоподвода производят в процессе сварки автоматически или вручную по заданной программе. Применяя различные схемы подключения токоподвода к изделию и изменяя порядок подключения тока в разных точках изделия, добиваются различных траекторий движения дуги (рис. 2).

Эффект "магнитного дутья" сварочной дуги может быть инициирован в любых условиях сварки: без разделки кромок, сварка толстостенных изделий с разделкой кромок, разный уровень погруженности горелки в разделку, сварка магнитных и немагнитных материалов. Поэтому применение предложенного способа¹ управления пространственным положением дуги по сравнению с рассмотренными ранее способствует повышению эффективности управле-

¹ А. с. 465291 (СССР).

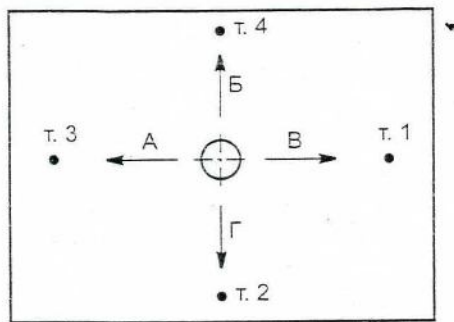


Рис. 2. Схема подключения тока к изделию последовательно в четырех точках (т. 1—4), при котором сварочная дуга будет отклоняться в направлении стрелок А, Б, В, Г

ния пространственным положением дуги и снижает зависимость эффективности управления этим процессом от параметров изделия и условий сварки.

Однако авторы способа¹ приводят лишь общий принцип управления пространственным положением дуги, отсутствуют конкретные рекомендации, касающиеся области его применения с учетом применяемых процессов и их параметров, а также данные, ограничивающие применение предлагаемого принципа, что создает существенные препятствия, а иногда и невозможность его практического применения. В связи с полной неопределенностью условий, в которых может быть осуществлен предлагаемый принцип управления, при заданных параметрах процесса сварки невозможно заранее сказать, будет ли вообще достигнут эффект отклонения дуги. Так, например, величина отклонения дуги под действием магнитного дутья в значительной степени определяется расстоянием от оси электрода до места подключения тока к изделию. Эффект "магнитного дутья" наблюдается при сравнительно небольших расстояниях от оси электрода до токоподвода, а при больших расстояниях он вообще не проявляется. Отклонение дуги под действием магнитного дутья также значительно зависит от сварочного тока. При определенном расстоянии от оси электрода до токоподвода имеется некоторое минимальное пороговое значение тока, при котором начинает проявляться эффект отклонения дуги. При токе меньше порогового отклонения дуги не наблюдается. Причем это минимальное пороговое значение будет различно для каждого расстояния от оси электрода до токоподвода, т. е. является величиной непостоянной. Важным фактором является частота переключения направления токоподвода. Частота может меняться в широком диапазоне¹. Однако следует иметь в виду, что электрическая дуга имеет определенную скорость реакции на изменения магнитного поля, т. е. наблюдается инерционность. При достижении частоты изменения направления токоподвода некоторого максимально возможного крити-

ческого значения дуга перестает (а точнее, не успевает) реагировать на изменения магнитного поля.

Отсутствие конкретных рекомендаций, касающихся области применения, существенно ограничивает возможности практического использования способа управления пространственным положением дуги, основанного на изменении параметров ее собственного магнитного поля. Поэтому исследование процесса сварки с управлением пространственным положением дуги за счет изменения параметров ее собственного магнитного поля является актуальной задачей.

В данной работе исследовали процесс аргонодуговой сварки неплавящимся электродом. Были поставлены три задачи:

- определить максимальное расстояние от оси электрода до контакта подвода тока к изделию, при котором наблюдается эффект отклонения дуги;
- определить зависимость минимального значения сварочного тока, при котором начинает проявляться эффект отклонения дуги от расстояния между осью электрода и контактом подвода тока к изделию;
- определить максимально возможную частоту коммутации тока между отдельными каналами подвода тока к изделию, при которой наблюдается эффект отклонения дуги.

Для проведения исследований разработали экспериментальную установку, основная часть которой — разработанный авторами источник питания, изготовленный на базе промышленно выпускаемого выпрямителя ВСВУ-315. Достаточно эффективно можно управлять тепловложением в свариваемые кромки, придавая дуге поперечные колебания в сочетании с перемещением ее вдоль стыка со скоростью сварки, т. е. достаточно обеспечить возможность возвратно-поступательного движения дуги между двумя крайними точками на поверхности кромок. Для этого в промышленно выпускаемом источнике была полностью изменена схема выпрямительного тиристорного блока, в результате экспериментальный источник питания в отличие от стандартно выпускаемых имеет один отрицательный полюс (один выход "-") и два положительных полюса (два выхода "+"). Отрицательный полюс подключается к неплавящемуся электроду, а два положительных полюса — к изделию в разных точках. Коммутацию тока/напряжения между двумя положительными полюсами источника осуществляет специально разработанный блок управления (электронный коммутатор), позволяющий задавать и плавно изменять сварочный ток в каждом из каналов, частоту коммутации тока между двумя каналами, а также задавать время пропускания тока через каждый канал подвода тока к изделию в отдельности.

Для практического осуществления способа также была разработана экспериментальная модель разделенного токоподвода (рис. 3). Токоподвод конструктивно совмещен со сварочной горелкой и состоит из двух, электрически изолированных между собой плеч. На каждом плече расположен скользящий по поверхности изделия графитовый контакт токоподвода. Каждый скользящий контакт соединен кабелем с одним из двух положительных полюсов источника питания. Каждый контакт может перемещаться вдоль плеча, тем самым регулируя расстояние от оси вольфрамового электрода до каждого контакта токоподвода.

Эксперименты проводили в диапазоне сварочного тока до 200 А, стандартно применяемого для сварки углеродистых и низколегированных сталей. Дискретно изменяли расстояние от оси электрода до центра скользящего контакта токоподвода. Для улучшения условий визуального наблюдения за дугой для каждого из плеч токоподвода принимали одинаковые расстояния. Расстояния изменяли от минимально возможного для токоподвода (10 мм) с шагом 10 мм. Для каждого значения расстояния путем плавного увеличения сварочного тока определяли минимальное значение сварочного тока, при котором начинает визуально наблюдаться эффект отклонения сварочной дуги. Процесс сварки снимали на цифровую видеокамеру Panasonic NV DS50, а также проводили запись тока и напряжения при протекании тока через каждый канал подвода тока к изделию с помощью многоканального мобильного регистратора процессов сварки MPC-02M.

Результаты исследований приведены на рис. 4. Для упрощения нахождения минимального значения сварочного тока, при котором начинает проявляться эффект отклонения сварочной дуги на заданном расстоянии, результаты эксперимента преобразованы в уравнение регрессии с помощью

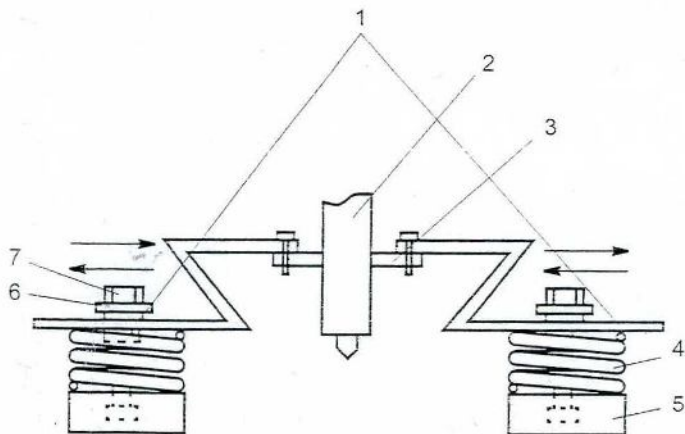


Рис. 3. Экспериментальная модель разделенного токоподвода: 1 — стальное основание; 2 — корпус сварочной горелки; 3 — изолятор; 4 — стальные пружины; 5 — графитовые контакты токоподвода; 6 — клемма провода; 7 — болт и гайка

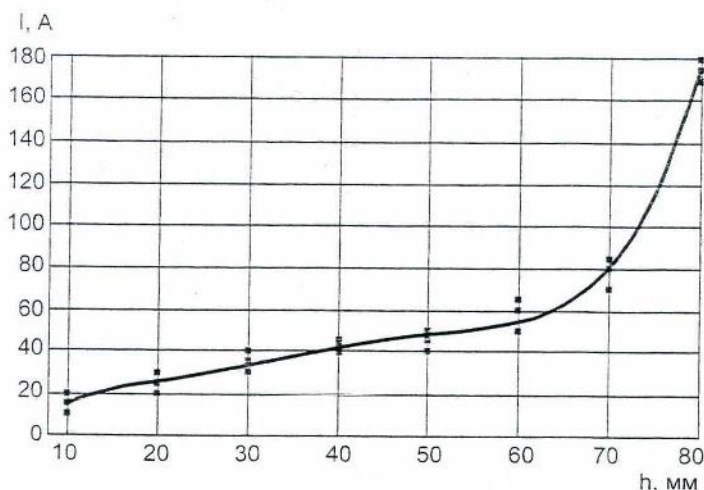


Рис. 4. Зависимость минимального значения сварочного тока от расстояния токоподвода до оси электрода

программы статистической обработки данных Statistica 6.0. Уравнение представлено в виде полинома пятой степени:

$$I = 4,466h - 0,4h^2 + 0,0147h^3 - 0,225 \cdot 10^{-3}h^4 + 1,236 \cdot 10^{-6}h^5,$$

где I — минимальный сварочный ток дуги, при котором наблюдается эффект отклонения столба дуги, А; h — расстояние от оси неплавящегося электрода до контакта токоподвода, мм.

На максимальном для проводимого исследования сварочном токе 200 А эффект отклонения дуги полностью исчезал при расстоянии от оси электрода до токоподвода примерно 85—90 мм.

Для решения третьей задачи дискретно изменяли расстояние от оси электрода до центра скользящего контакта токоподвода: от минимально возможного значения для токоподвода (10 мм) до 90 мм с шагом 10 мм. Для каждого значения расстояния рассчитывали по предложенной зависимости минимальное значение сварочного тока, при котором наблюдается эффект отклонения дуги. При горении дуги на рассчитанном минимальном и максимальном (200 А) токе путем плавного увеличения частоты коммутации тока между каналами определяли максимальную частоту коммутации тока, при которой наблюдался эффект отклонения дуги (т. е. частоту, при которой дуга успевала реагировать на изменение направления токоподвода). Для исследований использовали то же оборудование, что и для решения первой и второй задач.

Установили, что независимо от расстояния между электродом и контактом токоподвода и значения сварочного тока максимально возможная частота коммутации тока между отдельными каналами токоподвода не превышает 4 Гц.

Используя полученные данные, можно утверждать, что при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом током до 200 А можно управлять пространственным положением сварочной дуги путем изменения параметров ее магнитного поля (за счет периодического изменения места подключения тока к изделию) при расстоянии от оси электрода до контакта токоподвода не более 90 мм. При этом минимальное значение сварочного тока, при котором на заданном расстоянии от электрода до токоподвода наблюдается эффект отклонения дуги, должно быть не менее, чем расчетное значение, а частота коммутации тока между отдельными каналами токоподвода не должна превышать 4 Гц.

ВЫВОДЫ

1. Основным и наиболее простым способом управления тепловложением в свариваемые кромок является управление пространственным положением дуги на поверхности свариваемых кромок.

2. Управление пространственным положением дуги, основанное на изменении параметров собст-

венного магнитного поля дуги, способствует повышению эффективности управления ее пространственным положением и снижает зависимость эффективности управления от параметров изделия и условий сварки.

4. Установлена область применения способа управления пространственным положением дуги за счет изменения параметров ее собственного магнитного поля при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом током до 200 А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Размышляев А. Д. Управление геометрическими размерами шва при дуговой сварке и наплавке воздействием магнитных полей (обзор) // Сварочное производство. 1994. № 9. С. 28—31.

2. Шейпкин М. З., Шмелева И. А. Применение магнитных колебаний дуги при сварке под флюсом // Сварочное производство. 1969. № 6. С. 24—25.

3. Пацкевич И. Р., Зернов А. В., Иванцов В. Я. Распределение индукции наведенного магнитного поля в зоне горения сварочной дуги // Сварочное производство. 1970. № 2. С. 9—10.

4. Размышляев А. Д., Маевский В. Р. Влияние управляющих магнитных полей на геометрические размеры шва при дуговой сварке под флюсом // Сварочное производство. 1996. № 2. С. 17—19.

УДК 621.791.75.03-52

А. П. БИРЮКОВ, инж.

(Рязанский приборный завод),

А. П. МИШАЧЕВ, инж., А. И. БАРДИН, инж., А. В. РОМАНОВ, инж.

(Рязанский государственный радиотехнический университет)

E-mail: info@grpz.ru

Исследование возможности эксплуатации сварочных аппаратов "ФОРСАЖ" при питании от передвижных автономных источников электропитания

Приведены режимы работы электростанций при питании однофазных сварочных аппаратов серий "Форсаж-160, -160АД, -200" и трехфазных сварочных аппаратов серии "Форсаж". Показано, что питание однофазных и трехфазных аппаратов от передвижных электростанций в составе передвижных сварочных постов является безопасным.

Electric power station operating conditions at feeding single-phase welding apparatus of the "Forsage-160, -160AD, -200" series and three-phase welding apparatus of the "Forsage" series are given. It is shown that feeding of the single-phase and three-phase devices by the mobile power plant as part of mobile welding station is safe.

Ключевые слова: сварочные аппараты "Форсаж", электростанция, выходное напряжение, ток потребления

Key words: "Forsage" welding apparatus, electric power station, output voltage, current consumption

Проведение сварочных работ при ремонте и строительстве магистральных трубопроводов, а также при монтаже металлоконструкций в полевых условиях требует обеспечения питания сварочного

оборудования от автономных передвижных источников электропитания (ПАИЭП). Мобильное инверторное сварочное оборудование из-за малых размеров и массы идеально подходит для данных работ.