



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА МНОГОПРОХОДНОЙ СВАРКИ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

Д. С. БУЗОРИНА^{1,2}, М. А. ШОЛОХОВ², М. П. ШАЛИМОВ¹

¹ Уральский федеральный ун-т. 620002, РФ, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

² ООО «ШТОРМ». РФ, г. Екатеринбург, ул. Народной Воли, 115. E-mail: ekb@shtorm-its.ru

Применение в современном сварочном производстве автоматических и роботизированных установок для сварки требует создания алгоритмов управления параметрами режима сварки, а именно назначения и адаптивной корректировки параметров в зависимости от условий. Кроме основных параметров режима сварки (сварочный ток, напряжение, скорость сварки) и геометрии разделки на параметры, определяющие формирование сварного шва и эффективность использования тепловой энергии дуги для образования сварного соединения, оказывают влияние величина вылета электрода и состав защитного газа. Экспериментально установлены зависимости площади сечения валика и полного теплового КПД процесса сварки от вылета электрода и состава защитного газа. С учетом данных зависимостей усовершенствована ранее разработанная методика для расчета параметров режима сварки. Уравнения учитывают как технологические параметры (угол разделки, положение электрода в разделке, скорость сварки), так и состав защитного газа и величину вылета электрода. Библиогр. 7, рис. 2.

Ключевые слова: многопроходная дуговая сварка, плавящийся электрод, полный тепловой КПД, коэффициент площадей, параметры режима сварки

При проектировании технологии сварки важным моментом является определение параметров режима сварки, обеспечивающих получение сварных соединений с заданными параметрами. Широко применение в современном сварочном производстве автоматических и роботизированных установок для сварки требует создания алгоритмов управления параметрами режима сварки, а именно назначения и адаптивной корректировки параметров в зависимости от условий. Адаптивная корректировка режимов сварки должна основываться на точном определении влияния каждого из параметров процесса и их сочетаний на качественные показатели сварного шва [1]. В основу большинства математических моделей, создаваемых для управления сварочными процессами, заложены статистические зависимости между энергетическими параметрами режима сварки (сварочный ток, напряжение на дуге, скорость сварки и т. д.) и параметрами, характеризующими качество сварного соединения (геометрические характеристики, механические свойства и т. д.) [2].

В работе [3] предложена методика расчета параметров, основанная на результатах исследования влияния технологических факторов (угла разделки α , положения электрода в разделке x , скорости сварки $v_{св}$) на параметры, определяющие формирование сварного шва и эффективность использования тепловой энергии дуги на образование сварного соединения.

Анализ литературных данных показал, что кроме основных параметров режима сварки (сварочный ток, напряжение, скорость сварки) и геометрии

разделки, учитываемых в указанной выше методике [3], на исследуемые параметры (площадь сечения валика и на тепловой КПД процесса сварки) также оказывают влияние вылет электрода [4] и состав защитного газа [4, 5].

Известно, что состав защитного газа оказывает значительное влияние на технологические характеристики и форму проплавления. При постоянном напряжении с ростом доли CO_2 в смеси до 50 % дуга укорачивается, шов становится уже, глубина проплавления и высота усиления увеличиваются, возрастает площадь проплавления [4].

Вылет электрода при сварке сплошными проволоками влияет на стабильность процесса сварки. Обусловлено это изменением нагрева электрода на вылете проходящим током. Допустимый вылет электрода зависит от диаметра, удельного электрического сопротивления электрода и силы сварочного тока. При малых вылетах затрудняется видимость зоны сварки и возможно подплавление токоподвода, а при больших — возможно нарушение стабильности процесса. Увеличение вылета позволяет повысить коэффициент расплавления электрода и уменьшает глубину провара [4]. По данным работы [6] при увеличении вылета электрода ширина шва и глубина проплавления уменьшаются (при прочих равных условиях), а выпуклость шва увеличивается. Механизм влияния вылета электрода на глубину проплавления заключается в том, что при повышенной величине вылета возрастает количество наплавленного металла, усиливается подтекание жидкого металла под дугу; возникает эффект экранирования нерас-

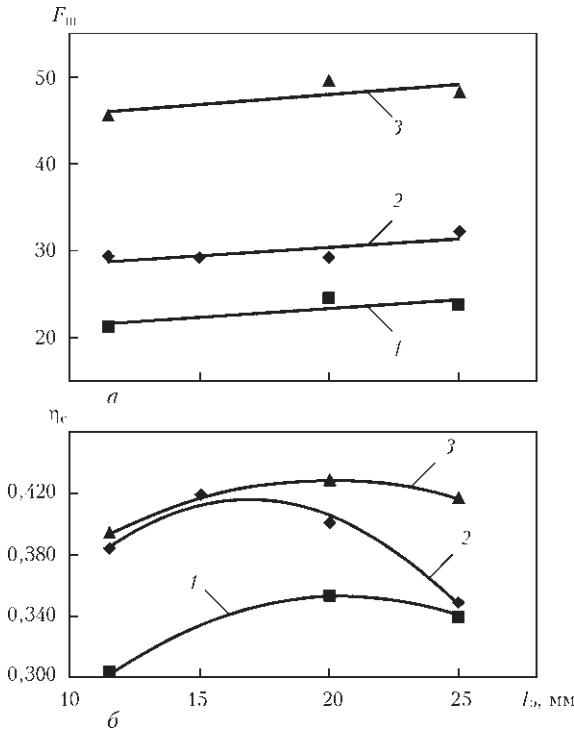


Рис. 1. Влияние вылета электрода на площадь сечения валика (а) и на полный тепловой КПД процесса сварки (б) (1 — 180; 2 — 220; 3 — 260 А)

плавленного основного металла прослойкой жидкого металла, что приводит к уменьшению глубины проплавления свариваемого металла [7].

Таким образом, для применения методики расчета параметров режима многопроходной сварки [3] на практике, например, при создании алгоритмов управления параметрами режима сварки, в уравнениях должны учитываться как основные технологические параметры (угол разделки, положение электрода в разделке, скорость сварки), так и состав защитного газа и вылет электрода, оказывающие влияние на формирование сварного шва.

Цель работы — установление зависимостей между параметрами, характеризующими формирование сварного шва, и технологическими параметрами сварки, в том числе составом защитного газа и вылетом электрода, а также определение на основе полученных зависимостей параметров режима многопроходной сварки, обеспечивающих отсутствие несплавлений.

В общем виде уравнения для определения площади сечения валика и полного теплового КПД могут быть записаны в следующем виде:

$$F = F_{III}^v(\alpha, x, v_{CB}) \theta_l^F(I_{CB}) \theta_{\%CO_2}^F \theta_{l_3}^F \quad (1)$$

$$\eta_c = \eta_c^v(\alpha, x, v_{CB}) \theta_l^n(I_{CB}) \theta_{\%CO_2}^n \theta_{l_3}^n \quad (2)$$

где $F_{III}^v(\alpha, x, v_{CB})$, $\eta_c^v(\alpha, x, v_{CB})$ — функции зависимости площади сечения валика и теплового КПД соответственно от угла разделки α , положения электрода в разделке x , скорости сварки v_{CB} . Определяются по формулам, приведенным в работе [3]:

$$F_{III} = (47,50 - 0,031\alpha + 4,21x - 0,956v_{CB} - 0,113\alpha x + 0,003\alpha v_{CB} - 0,143xv_{CB} + 0,004\alpha xv_{CB})(0,0134I_{CB} - 1,559) \quad (3)$$

$$\eta_c = (0,125 - 0,006\alpha + 0,018x + 0,024v_{CB} + 0,00006\alpha^2 + 0,0006x^2 - 0,0005v_{CB}^2 - 0,0005\alpha x + 0,00012\alpha v_{CB} - 0,00013xv_{CB})(0,0047I_{CB} + 0,084), \quad (4)$$

где F_{III} — площадь сечения валика, мм²; η_c — полный тепловой КПД процесса сварки; α — угол разделки, град; x — положение электрода в разделке, мм; v_{CB} — скорость сварки, м/ч; I_{CB} — сварочный ток, А; $\theta_l^F(I_{CB})$, $\theta_{\%CO_2}^F$, $\theta_{l_3}^F$ — функции зависимости площади сечения валика от сварочного тока I_{CB} , состава защитного газа (процентного содержания углекислого газа %CO₂ в смеси Ag + CO₂) и вылета электрода l_3 соответственно; $\theta_l^n(I_{CB})$, $\theta_{\%CO_2}^n$, $\theta_{l_3}^n$ — функции зависимости полного теплового КПД процесса сварки от сварочного тока I_{CB} , состава защитного газа (процентного содержания углекислого газа в смеси Ag + CO₂) и вылета электрода l_3 соответственно.

Для определения функций

$$\theta_l^F(I_{CB}), \theta_{\%CO_2}^F, \theta_{l_3}^F,$$

$$\theta_l^n(I_{CB}), \theta_{\%CO_2}^n, \theta_{l_3}^n$$

провели ряд экспериментов.

При исследовании влияния вылета электродной проволоки и состава защитного газа приняли два допущения: состав защитного газа и вылет электродной проволоки оказывают независимое от ранее исследованных параметров (I , U_d , v_{CB} , x , α) влияние на площадь сечения валика и полный тепловой КПД процесса сварки; состав защитного газа и вылет электродной проволоки не оказывают взаимного влияния на площадь сечения валика и полный тепловой КПД процесса сварки.

По полученным в ходе экспериментальных работ данным построены графики влияния вылета электрода на площадь сечения валика и на полный тепловой КПД процесса сварки (рис. 1).

Графики, приведенные на рис. 1, а показывают, что при увеличении сварочного тока в исследуемом диапазоне характер зависимости площади сечения валика от вылета электрода фактически не изменяется. Следовательно, при определении площади сечения валика можно принять ранее введенное допущение об отсутствии взаимного влияния вылета электрода и сварочного тока на площадь сечения валика. После обработки результатов экспериментов функция зависимости площади сечения валика от вылета электрода l_3 может быть записана в следующем виде:

$$\theta_{l_3}^F = 0,001l_3 + 0,956. \quad (5)$$

Иной характер зависимости наблюдается при рассмотрении влияния вылета электрода на пол-

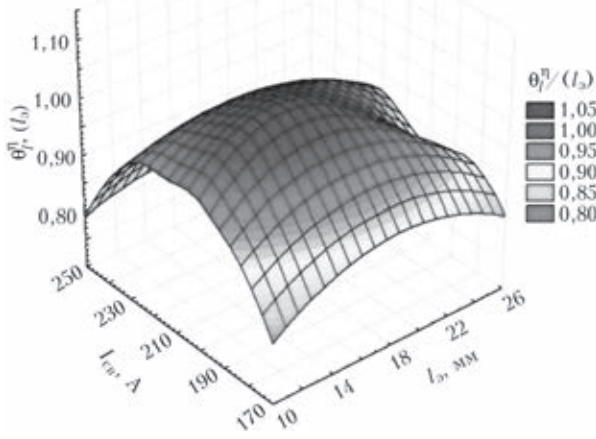


Рис. 2. Поверхность отклика функции $\theta_1^n(I_3)$ в зависимости от значения сварочного тока и вылета электрода

ный тепловой КПД процесса сварки (рис. 1, б). Анализ полученных результатов показывает, что при увеличении сварочного тока изменяется характер влияния вылета электрода на полный тепловой КПД, следовательно, можно сделать вывод о взаимном влиянии вылета электрода и сварочного тока на полный тепловой КПД процесса сварки. Функция $\theta_1^n(I_3)$ может быть представлена в виде полинома второй степени от двух аргументов (I_{CB}, l_3) и после обработки экспериментальных данных с помощью регрессионного анализа записана в следующем виде:

$$\theta_1^n(I_3) = -I_{CB}^2 \cdot 10^{-4} - 0,001l_3^2 + 0,05I_{CB} + 0,03l_3 - 3,98. \quad (6)$$

На рис. 2 представлена поверхность отклика функции $\theta_1^n(I_3)$ в зависимости от сварочного тока и вылета электрода.

Полученные результаты и данные, представленные на рис. 2, косвенно подтверждают ранее сделанные выводы [3] о сложном взаимном влиянии параметров режима сварки на формирование сварного шва. Существует сочетание факторов, обеспечивающих максимально эффективное использование энергии дуги.

При исследовании влияния состава защитного газа установлено, что при увеличении доли CO_2 в смеси защитных газов (от 0 до 30 %) площадь сечения валика увеличивается. В данном случае увеличение площади сечения валика обусловлено возрастанием площади проплавления, что согласуется с известными литературными данными [5].

После обработки результатов экспериментов получены функции зависимости площади сечения валика и теплового КПД соответственно от процентного содержания CO_2 :

$$\theta_{\%}^f(\%CO_2) = 0,003 \cdot \%CO_2 + 0,945. \quad (7)$$

$$\theta_{\%}^n(\%CO_2) = 0,003 \cdot \%CO_2 + 0,907. \quad (8)$$

Тогда общие уравнения (3), (4) примут вид:

$$F = (47,50 - 0,03\alpha + 4,21x - 0,96v_{CB} - 0,113\alpha x + 0,003\alpha v_{CB} - 0,143xv_{CB} + 0,004\alpha xv_{CB}) \times (0,013I_{CB} - 1,56)(0,001l_3 + 0,956)(0,003 \cdot \%CO_2 + 0,945),$$

$$\eta_{CB} = (0,125 - 0,006\alpha + 0,018x + 0,024v_{CB} + 0,00006\alpha^2 + 0,0006x^2 - 0,0005v_{CB}^2 - 0,0005\alpha x + 0,00012\alpha v_{CB} - 0,00013xv_{CB})(0,005I_{CB} + 0,084) \times (-I_{CB}^2 \cdot 10^{-4} - 0,001l_3^2 + 0,05I_{CB} + 0,03l_3 - 3,98)(0,003 \cdot \%CO_2 + 0,907).$$

Учитывая зависимости, ранее предложенные авторами в работе [3], и полученные в настоящей работе зависимости площади сечения валика и теплового КПД от вылета электрода (5), (6) и процентного содержания CO_2 (7), (8), уравнения для определения параметров режима сварки могут быть представлены в следующем виде:

Сварочный ток:

$$I_{CB} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \quad A \quad (9)$$

Коэффициенты a, b, c определяются по формулам:

$$a = -0,015 \frac{\pi d^2}{F_H}.$$

$$b = 0,64 + 0,06x + \frac{\pi d^2}{F_H} (3,34 + 0,35x - 0,01\alpha).$$

$$c = -74,05 + 0,05\alpha - 6,56x -$$

$$-\frac{\pi d^2}{F_H} (185,97 - 0,6\alpha x - 0,58\alpha + 27,81x) -$$

$$\frac{(1 + \kappa)F_H}{(0,001l_3 + 0,956)(0,003 \cdot \%CO_2 + 0,945)},$$

где d — диаметр электрода, мм; F_H — площадь наплавленного металла, mm^2 ; κ — коэффициент площадей (при сварке плавящимся электродом при используемых режимах $\kappa = 0,18 \dots 4,0$).

Напряжение:

$$U_{эф} = \frac{B_{эф} v_{III}}{\eta_c I_{CB}}, \quad B \quad (10)$$

Значение коэффициента $B_{эф}$ определяется по формуле

$$B_{эф} = \gamma_M H_{пл} \frac{(1 + k)}{4} \pi d^2.$$

Значение теплового КПД процесса сварки определяется по формуле

$$\eta_{CB} = (0,125 - 0,006\alpha + 0,018x + 0,024v_{CB} + 0,00006\alpha^2 + 0,0006x^2 - 0,0005v_{CB}^2 - 0,0005\alpha x + 0,00012\alpha v_{CB} - 0,00013xv_{CB}) \times (0,0047I_{CB} + 0,084)(-I_{CB}^2 \cdot 10^{-4} - 0,001l_3^2 + 0,05I_{CB} + 0,03l_3 - 3,98)(0,003 \cdot \%CO_2 + 0,91),$$

где γ_M — удельная плотность металла, kg/m^3 ; $H_{пл}$ — энтальпия при температуре плавления с учетом скрытой теплоты плавления, $Dж/kg$; k — коэффициент сплавления.



Скорость сварки:

$$v_{св} = \frac{\pi d^2 (0,078 I_{св} - 8,32) \cdot 60}{4 F_H}, \text{ м/ч} \quad (11)$$

Выводы

1. Получены в аналитическом виде функции зависимости теплового КПД процесса сварки и площади сечения валика от вылета электрода и состава защитного газа.

2. Полученные уравнения для определения расчета параметров режима многопроходной механизированной сварки в защитных газах на основе определения полного теплового КПД процесса сварки позволяют рассчитать режимы сварки (с точностью около 12 %) при условии получения гарантированного проплавления (при заданном коэффициенте площадей k). Данные уравнения учитывают как технологические параметры (угол разделки, положение электрода в разделке, скорость сварки), так и состав защитного газа и вылет электрода. Уравнения могут быть применены

при разработке технологии многопроходной сварки углеродистых, низколегированных и среднелегированных сталей в смесях защитных газов на основе аргона.

1. Полосков С. И., Ерофеев В. А., Масленников А. В. Определение оптимальных параметров автоматической орбитальной сварки на основе компьютерного моделирования // Свароч. пр-во. – 2005. – №10. – С. 6–13.
2. Лебедев В. А. Управление проплавлением при механизированной сварке и наплавке // Там же. – 2011. – № 1. – С. 3–11.
3. Шолохов М. А., Бузорина Д. С. Расчет параметров режима наплавки пристеночного валика при многопроходной сварке в защитных газах // Автомат. сварка. – 2013. – № 7. – С. 63–67.
4. Потаповский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. – М.: Машиностроение, 1974. – 240 с.
5. Лащенко Г. И. Способы дуговой сварки стали плавящимся электродом. – Киев: Екотехнологія, 2006. – 384 с.
6. Жерносеков А. М. Влияние вылета электрода на параметры шва при импульсно-дуговой сварке сталей // Автомат. сварка. – 2004. – № 8. – С. 52–53.
7. Березовский Б. М. Математические модели дуговой сварки: в 3 т. – Т. 2. Математическое моделирование и оптимизация формирования различных типов сварных швов. – Челябинск: Изд-во ЮурГУ, 2003. – 601 с.

Поступила в редакцию 26.02.2014



7.04 – 10.04 2015 г.
 Место проведения: Беларусь, Минск,
 проспект Победителей, 20/2
 Организатор: ЗАО «МинскЭкспо»

Направления экспозиций

- ▶ Материалы для сварки, наплавки и пайки
- ▶ Оборудование и технологии сварки, резки, наплавки, пайки и термообработки
- ▶ Источники питания и системы управления сварочным оборудованием
- ▶ Оборудование для орбитальной сварки и обработки труб
- ▶ Электронно-лучевая, лазерная, плазменная сварка и резка
- ▶ Автоматизированные комплексные системы и агрегаты для сварки и резки
- ▶ Автоматизация сварочных производственных и технологических процессов, программное обеспечение
- ▶ Приборы для неразрушающего контроля сварных соединений
- ▶ Научное и информационное обеспечение сварки
- ▶ Система подготовки, переподготовки и аттестации сварщиков
- ▶ Охрана труда и экологическая безопасность в сварочном производстве
- ▶ Сертификация сварочного оборудования.

Выставка проводится одновременно с международными специализированными выставками «Металлообработка», «Порошковая металлургия» и международным специализированным салоном «Защита от коррозии. Покрытия».

Руководитель проекта: Федорова Елена Владимировна
 тел.: +375 17 226 98 58, 226 90 83 факс: +375 17 226 98 58, 226 99 36; e-mail: e_fedorova@solo.by