

УДК 621.791.753.042

Щетинин С.В.*

РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

Установлены закономерности и механизм регулирования энергетической характеристики сварочной дуги за счет формы электрода и флюсов. Разработан способ односторонней высокоскоростной сварки, обеспечивающий качественное формирование швов за счет регулирования энергетической характеристики дуги.

Наиболее эффективным энерго- и материалосберегающим процессом является односторонняя высокоскоростная сварка, применение которой ограничено трудностью обеспечения заданной высоты сварного шва и нарушением стабильности процесса. Для увеличения глубины проплавления повышают сварочный ток за счет роста скорости подачи электрода. При минимальном зазоре это приводит к формированию высокого сварного шва, что ограничено ГОСТом, повышению материалоемкости и энергоемкости процесса.

Одним из способов увеличения глубины проплавления при односторонней высокоскоростной сварке на обратной полярности является повышение катодного падения напряжения и регулирование энергетической характеристики дуги, которая наиболее полно представлена в работах [1 – 5]. Энергетическая характеристика дуги определяет расплавление электрода и основного металла, стабильность процесса и формирование швов. Однако энергетическая характеристика дуги, которую целесообразно регулировать за счет формы электрода, исследована недостаточно.

Разработка энерго- и материалосберегающих процессов односторонней высокоскоростной сварки является важной научно-технической проблемой.

Задачей данных исследований является изучение механизма регулирования энергетической характеристики дуги и разработка способа односторонней высокоскоростной сварки составным электродом, обеспечивающим качественное формирование швов.

Количество энергии в каждой области, определяющее расплавление электродов, зависит от условий существования дуги, величины сварочного тока I , катодного U_K и анодного U_A падений напряжения, градиента потенциала столба E и длины дуги l_D :

$$q = IU_K + IU_A + IEL_D. \quad (1)$$

Для изучения влияния формы электрода на распределение потенциала в дуге построены статические характеристики зависимости напряжения от длины дуги $U_D = f(l_D)$ при постоянном токе прямой полярности $I = 280 - 300$ А для ленты сечением $(45 \times 0,5) \cdot 10^{-3}$ м и проволоки диаметром $5 \cdot 10^{-3}$ м по методике, близкой к методике Г.И. Лескова [2]. Переходные процессы в дуге протекают быстро $< 10^{-4}$ с [6], поэтому ее атмосфера становится равновесной до расплавления и изменения расстояния между электродами. Для стабильности маломощных дуг использовали последовательно соединенные выпрямители, обеспечивающие $U_{XX} = 150$ В.

Построение статических характеристик производили путем измерения напряжения при заданном расстоянии между электродами (рис. 1), которое регулировали винтом 2, изменяя расстояние δ до бурта 3. Перед измерением электрод 6 крепили в нижней части подвижного стержня 1 и закорачивали на пластину 7, расположенную на основании 8. При нажатии кнопки "пуск" включалась протяжка ленты осциллографа и с помощью реле времени РВ через время, достаточное для разгона двигателя протяжки ленты $3 \cdot 10^{-3}$ с, замыкалась сварочная цепь. При протекании сварочного тока срабатывал электромагнит 4, якорь которого освобождал от упора стержень 1 с электродом 6 на конце. Под действием пружины 5 электрод поднимался на заданную высоту δ . При этом возбуждалась дуга длиной $l_D = \delta$, напряжение и ток которой осциллографировался шлейфами Шл1 и Шл2 со скоростью протяжки ленты 1 м/с.

*ПГТУ, канд. техн. наук

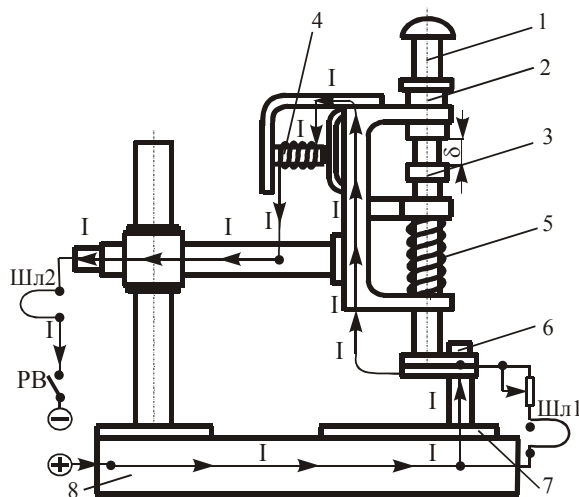


Рис. 1 – Установка для измерения энергетической характеристики сварочной дуги

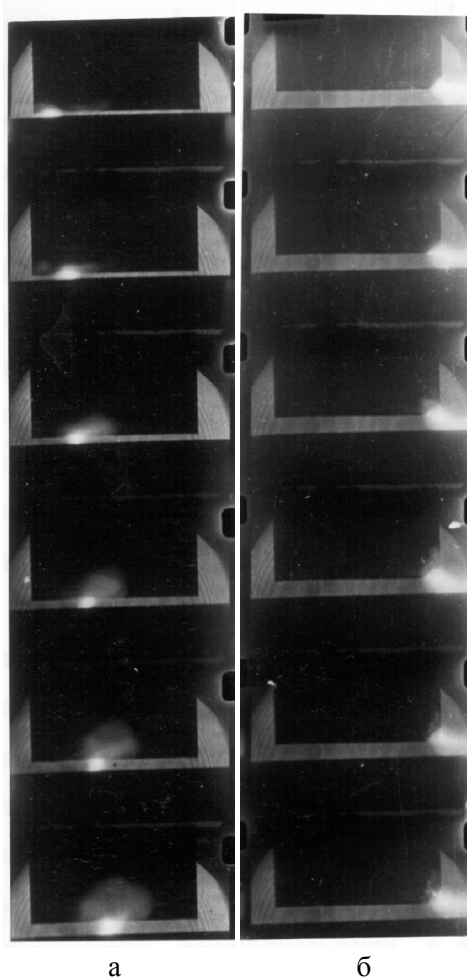


Рис. 2 – Кинограмма движения (а) и отклонения дуги (б) под действием магнитного поля сварочного тока: величина тока 280 – 300 А; лента $(0,5 \times 45) \cdot 10^{-3}$ м; интервал между кадрами $6 \cdot 10^{-4}$ с

Через определенный промежуток времени срабатывало реле, размыкая сварочную цепь и останавливая протяжку осциллографической ленты. Время горения дуги 0,12 – 0,2 с. Для получения на ленте длины дуги в пределах для проволоки $(1,5 - 6) \cdot 10^{-3}$ м, ее поднимали на расстояние $(0,25; 0,5; 1,0 \text{ и } 1,25) \cdot 10^{-3}$ м от пластины.

Соответствие реальной длины дуги заданной установлено скоростной кино съемкой процесса возбуждения дуги и подъема ленты на расстояние $4 \cdot 10^{-3}$ м (рис. 2) кинокамерой СКС-1М со скоростью 1500 кадров в секунду на негативную киноплёнку типа А-2 чувствительностью 350 ед. Источником контрсвета служила лампа накаливания мощностью 500 Вт, контрсвет которой проектировался через конденсор. Центры источника контрсвета, конденсора, межэлектродного зазора и объектива кинокамеры устанавливали на одной линии. Для съемки применяли комбинированный набор нейтрального серого, красного и желтого светофильтров и объектив с фокусным расстоянием 0,135 м. Диафрагма составляла 22. Подъем электрода осуществлялся за $(4 - 8) \cdot 10^{-3}$ с со скоростью $V_{\Pi} = 1$ м/с. Высокая скорость подъема электрода, которая обеспечивалась мощной пружиной, приводила к резкому изменению магнитного поля сварочного тока и повышению индукции. Под действием электромагнитной силы $F_{ЭМ} = IBl_{д}$, дуга двигалась по торцу электрода в сторону меньшей напряженности, не оплавливая ленту 0,01 – 0,012 с, со скоростью $V_{д} = 3,3$ м/с, определенной по кинограммам процесса возбуждения дуги и подъема ленты.

При построении статических характеристик дуги в открытой атмосфере напряжение определяли по осциллограмме в момент установления заданной длины дуги. Как установлено (рис. 3), в открытой атмосфере градиент потенциала столба дуги, горящей на ленте выше, чем на проволоке, вследствие сжатия столба в результате охлаждения при движении дуги по торцу ленты. В то же время сумма приэлектродных падений напряжения $U_{к+а}$, определенная путем экстраполяции зависимости $U_{д} = f(I_{д})$ до $I_{д} = 0$, для ленты и проволоки одинакова. Это свидетельствует, что условия охлаждения активных пятен не влияют на $U_{к+а}$ из-за незначительной роли термоэмиссии.

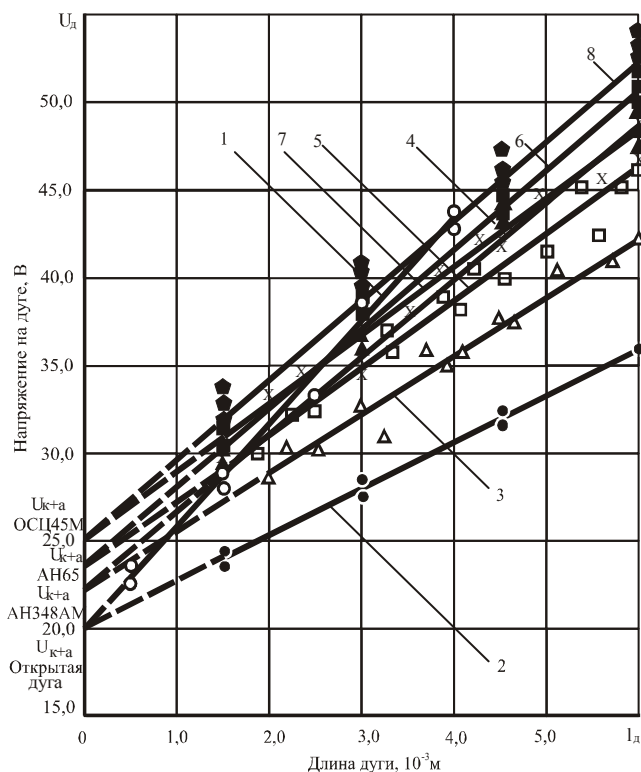


Рис. 3 – Энергетическая характеристика сварочной дуги: 1, 2 – открытая дуга; 3, 4, 5, 6, 7, 8 – дуга под флюсом, 3, 4 – АН-348АМ, 5, 6 – АН-65, 7, 8 – ОСЦ-45М; 1, 3, 5, 7 – ленточный электрод $(0,5 \times 45) \cdot 10^3$ м, 2, 4, 6, 8 – проволочный электрод диаметром $5 \cdot 10^{-3}$ м

Статические характеристики $U_d = f(l_d)$ дуги на ленте под флюсом строили по наибольшему расстоянию между электродами после обрыва дуги и максимальным значениям напряжений на осциллограмме U_d с исключением падения в вылете. При возбуждении на кромке ленты (рис.2б) дуга отклоняется, и длина дуги увеличивается, поэтому l_d измеряли при оплавлении электрода посередине ленты, когда отклонения дуги минимальны.

При сварке под флюсом, как и открытой дугой, $U_{к+а}$ не зависит от формы электрода и зависит от состава флюса (рис. 3), вследствие воздействия окислов на эмиссию катода [8]. Окислы Al_2O_3 и SiO_2 , снижающие эмиссию электронов с катода, повышают катодное падение, а TiO_2 , MgO и CaO , усиливающие эмиссию, снижают U_k . Действие CaF_2 обусловлено созданием мономолекулярным слоем электроотрицательного фтора на границе металла поля, повышающего работу выхода. Флюсы влияют на величину $U_{к+а}$ и E в зависимости от содержания SiO_2 , Al_2O_3 , CaF_2 , высокое содержание которых повышает сумму приэлектродных падений напряжения до $U_{к+аАН-348АМ} = 22 - 23$ В под флюсом АН-348АМ, $U_{к+аАН-65} = 23 - 24$ В под флюсом АН-65 и $U_{к+аОСЦ-45М} = 24 - 25$ В под флюсом ОСЦ-45М. Аналогично воздействию на $U_{к+а}$ флюсы повышают градиент потенциала в столбе $E_{АН-348АМ} = 4,0 \cdot 10^3$ В/м, $E_{АН-65} = 4,3 \cdot 10^3$ В/м, $E_{ОСЦ-45М} = 4,5 \cdot 10^3$ В/м. Повышение U_k под ОСЦ-45М необходимо использовать для увеличения глубины проплавления при односторонней высокоскоростной сварке.

Градиент потенциала столба дуги $E = \frac{I}{\pi R^2 \gamma}$ под флюсом на проволоке выше, а на ленте

ниже, чем в открытой атмосфере, вследствие увеличения радиуса столба R [9] из-за снижения скорости движения и уменьшения охлаждения. Влияние флюсов на E обусловлено действием на эмиссию катода. С увеличением работы выхода повышается E и усиливается блуждание

Для определения энергетической характеристики закрытой дуги ее возбуждали под флюсами АН-348АМ, ОСЦ-45М и АН-65 (рис.3). При возбуждении дуги под флюсами на проволоке после подъема электрода на заданное расстояние напряжение вначале возрастает при неизменном расстоянии между электродами [2], а затем при образовании капли снижается. Поэтому максимальные значения напряжения на осциллограмме соответствуют заданной длине дуги. При возбуждении дуги на ленте, напряжение, равное падению в вылете U_B при коротком замыкании, мгновенно возрастает в момент размыкания контакта до катодного U_k . При подъеме электрода напряжение растет на величину $U_A = 2 - 3$ В [7] и падения напряжения в столбе, а затем стабилизируется. Под флюсом оплавление ленты начинается через 0,012 с, дуга углубляется в ленту, ее длина возрастает, и напряжение повышается. При стекании капли по выплавленному своду дуга движется на участки ленты, расположенные ближе к основному металлу, напряжение падает и вновь возрастает при оплавлении электрода.

катода [10]. Значение $E = (3,5 - 4,5) \cdot 10^{-3}$ В/м при сварке под флюсом показывает, что при $U_d = 30 - 32$ В и $U_{K+A} = 22 - 24$ В длина дуги $l_d = \frac{U - U_{K+A}}{E}$, короткая $l_d = \frac{30 - 22}{4} = 2 \cdot 10^{-3}$ м.

При односторонней сварке дуга погружена и расплавляет металл за счет движения под действием магнитного поля. При односторонней высокоскоростной сварке усиленное охлаждение приводит к сокращению диаметра катода, U_K при этом изменяется незначительно, E дуги вследствие уменьшения сечения столба возрастает, что снижает стабильность процесса.

На основании установленных закономерностей разработан способ односторонней высокоскоростной сварки составным электродом под флюсом ОСЦ-45М, обеспечивающий увеличение катодного падения напряжения, глубины проплавления и снижение высоты валика.

Установленные закономерности регулирования энергетической характеристики дуги и разработанный способ могут быть использованы при сварке газо- и нефтепроводных труб.

Дальнейшие исследования в данном направлении являются перспективными, так как позволяют разработать новые энерго- и материалосберегающие процессы односторонней сварки.

Выводы

1. Установлены закономерности и механизм регулирования энергетической характеристики сварочной дуги за счет формы электрода и состава флюса путем воздействия на эмиссионную способность катода. Форма электрода не влияет на сумму приэлектродных падений напряжения и действует на градиент потенциала в столбе, который определяет стабильность.
2. На основании киносъемки установлен механизм и скорость движения дуги под действием электромагнитной силы. При сварке ленточным электродом под флюсом градиент потенциала столба дуги снижается по сравнению с проволочным вследствие уменьшения скорости движения и охлаждения дуги, поэтому применение ленты целесообразно для повышения стабильности односторонней высокоскоростной сварки.
3. Односторонняя высокоскоростная сварка составным электродом под флюсом ОСЦ-45М обеспечивает повышение катодного падения напряжения, увеличение глубины проплавления и снижение высоты шва, стабильность процесса и качественное формирование швов на флюсовой подушке, снижение материал- и энергоемкости процесса.

Перечень ссылок

1. Тиходеев Г.М. Энергетические свойства электрической сварочной дуги / Г.М. Тиходеев. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1961. – 254 с.
2. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга / Г.И. Лесков. – М.: Машиностроение, 1970. – 334 с.
3. Акулов А.И. К вопросу о падении напряжения в приэлектродных областях сварочных дуг / А.И. Акулов // Автоматическая сварка. – 1964. – № 9. – С. 42 – 46.
4. Акулов А.И. Некоторые электрические параметры дуги в аргоне плавящимся электродом / А.И. Акулов // Автоматическая сварка. – 1966. – № 7. – С. 23 – 27.
5. Мазель А.Г. Технологические свойства электрической дуги / А.Г. Мазель. – М.: Машиностроение, 1969. – 178 с.
6. Самервилл Дж. М. Электрическая дуга / Дж. М. Самервилл. – М.: Госэнергоиздат, 1962. – 119 с.
7. Фролов В.В. Теоретические основы сварки / В.В. Фролов, В.А. Винокуров, В.Н. Волченко. – М.: Высшая школа, 2002. – 591 с.
8. Фоменко А.С. Эмиссионные свойства элементов и химических соединений. Справочник / А.С. Фоменко. – К.: Изд-во АН УССР, 1965. – 485 с.
9. Энгель А. Физика и техника электрического разряда в газах. – Т. 2 / А. Энгель, М. Штеенбек. – М.: ОНТИ, НКТН, 1936. – 251 с.
10. Тиходеев Г.М. Явление блуждающей (неустойчивой) сварочной дуги / Г.М. Тиходеев. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1936. – 42 с.

Рецензент: А.Д. Размышляев
д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 17.03.2009