

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ДУГИ, ОТКЛОНЯЕМОЙ СОБСТВЕННЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

И.В. Смирнов, к.т.н., В.П. Сидоров, д.т.н., А.И. Захаренко, инж., ГОУ «ВПО

«Тольяттинский государственный университет», г. Тольятти

Основной областью применения процесса автоматической аргонодуговой сварки неплавящимся электродом дугой, отклоняемой собственным магнитным полем является сварка корневого слоя шва в многослойных сварных соединениях. Специфика способа заключается в перемещении сварочной дуги по заданной траектории на поверхности свариваемых кромок, при неподвижном электроде, без применения каких либо дополнительных внешних воздействий. Перемещение дуги происходит за счёт её отклонения от оси неплавящегося электрода на некоторый угол, что достигается путём изменения параметров собственного магнитного поля дуги, в результате чего возникает эффект «магнитного дутья», который, в конечном счёте, и приводит к изменению пространственного положения дуги [1]. Параметрами магнитного поля дуги управляют путём периодического изменения места подключения тока к изделию [2]. Ранее авторами было разработано оборудование для реализации описываемого способа [3], а также проведены исследования, направленные на определение области рационального применения способа. Следующим шагом в разработке и исследовании процесса сварки дугой, отклоняемой собственным магнитным полем является создание адекватного физического и математического описания процесса, для целей его дальнейшего моделирования.

Одной из основных задач моделирования процесса сварки, в данном случае, является достаточно точное предсказание размеров сварочной ванны. Поскольку форма проплавления свариваемых кромок напрямую определяется картиной температурного поля в них, то основной целью моделирования системы является – описать основные закономерности процессов протекающих при сварке корня шва

дугой, отклоняемой собственным магнитным полем, значимо влияющих на картину температурного поля в кромках, с учётом влияния на него параметров подготовки и сборки кромок под сварку, энергетических параметров процесса сварки и эффекта отклонения дуги под действием собственного магнитного поля. Для достижения поставленной цели необходимо составить адекватное описание взаимодействия сварочной дуги, как источника нагрева, и свариваемых кромок, как нагреваемого элемента. Для этого потребуется решить три задачи, которые позволят описать условия, отличающие выделенную нами систему, от других систем сварки:

- 1) схематизировать дугу как источника тепла;
- 2) схематизировать нагреваемые (свариваемые) кромки;
- 3) описать пространственное положение дуги на свариваемых кромках.

Описание и схематизация дуги, как источника тепла при сварке корневого слоя шва кромок с разделкой, в том числе и для случая сварки неплавящимся электродом, достаточно подробно приведены в работе [4]. В этой же работе, а также в ряде других работ [5, 6, 7] приведены основные аспекты описания нагреваемых (свариваемых) кромок, с учётом специфических условий, свойственных сварке корневого слоя шва, позволяющие, в частности, учесть влияние параметров подготовки и сборки кромок под сварку на температурное поле в них. Приведённые в вышеуказанных работах описания и схемы могут быть вполне применимы для целей моделирования процесса сварки корневого слоя шва дугой, отклоняемой собственным магнитным полем. Основным специфическим вопросом, требующим отдельного решения, является вопрос, связанный с описанием пространственного положения дуги на свариваемых кромках в условиях сварки корневого слоя шва дугой, отклоняемой собственным магнитным полем.

Для примера рассмотрим процесс сварки, при котором подвод тока к изделию производится поочерёдно в двух точках на поверхности изделия, при этом точки

токоподвода располагаются в одной плоскости, перпендикулярной поверхности изделия и оси стыка. В этих условиях дуга будет совершать периодические колебательные движения в пространстве, отклоняясь от оси электрода на некоторый угол (α) в две противоположные стороны (рис. 1).

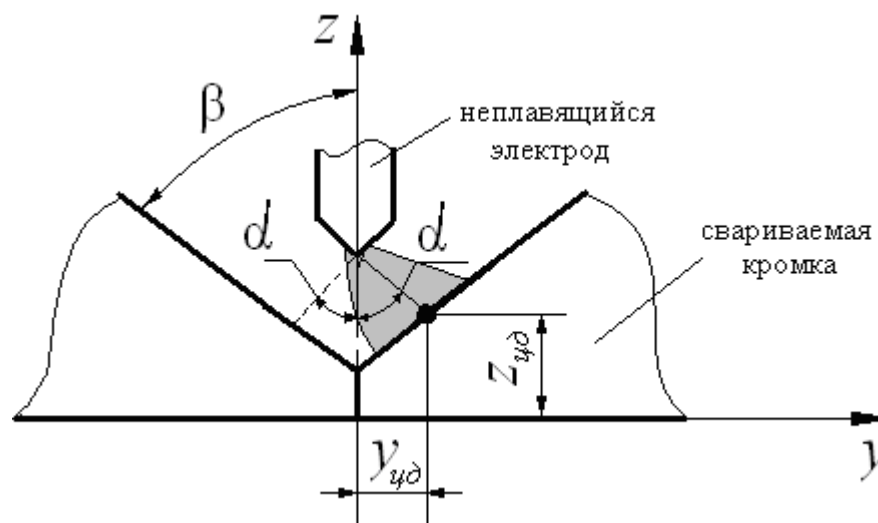


Рис. 1: Схема отклонения дуги от оси электрода.

Пространственное положение пятна нагрева дуги на свариваемых кромках будем описывать положением центра пятна нагрева дуги с координатами ($X_{цд}$; $Y_{цд}$; $Z_{цд}$), зависящими от угла отклонения сварочной дуги, который в свою очередь зависит от силы сварочного тока, расстояния от оси электрода до токоподвода, и частоты изменения направления токоподвода. Положение центра пятна нагрева дуги на каждой из свариваемых кромок будет изменяться в соответствии с циклограммой, приведённой на рис. 2.

Первоначально дуга отклоняется от оси электрода на некоторый угол (α) и горит на одну из свариваемых кромок. Это происходит в течении периода времени $T/2-t_{п}$. (см. рис. 2) Затем дуга, в течении времени $t_{п}$, горит по центру стыка. Затем происходит отклонение дуги на угол (α) в противоположную, от первоначальной, сторону, и дуга горит на вторую свариваемую кромку. Это происходит в течении периода времени $T/2-t_{п}$. Затем дуга, в течении времени $t_{п}$, вновь горит по центру стыка.

Т.о. за период времени T , дуга совершает полный колебательный цикл, который затем многократно повторяется.

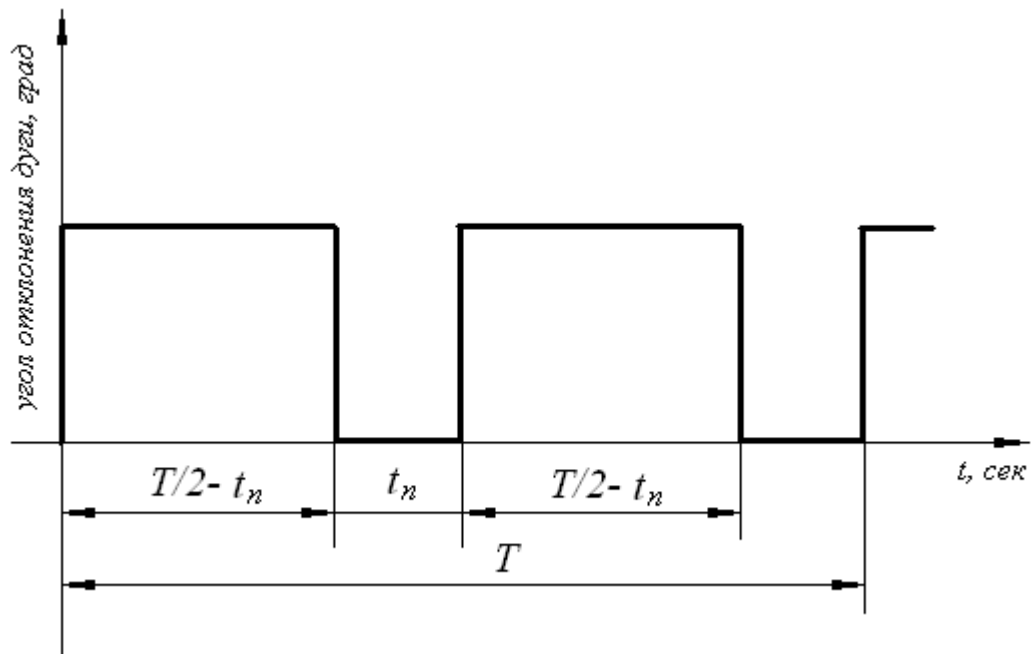


Рис. 2: Циклограмма изменения угла отклонения сварочной дуги от оси электрода

В общем случае, руководствуясь правилами геометрии можно утверждать, что в зависимости от угла отклонения дуги (α), координаты $X_{цд}$ и $Y_{цд}$ (рис. 1) точки центра пятна нагрева дуги в крайнем отклонённом положении, будут вычисляться по следующим зависимостям:

$$y_{цд} = \frac{L_d \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta}{\sin(180 - \beta - \alpha)} \quad (1)$$

$$z_{цд} = \frac{L_d \cdot \sin \alpha \cdot \sin(90 - \beta)}{\sin(180 - \beta - \alpha)} \quad (2)$$

где: L_d – длина дуги, мм; β – угол разделки кромки, град.

В общем случае задача по описанию пространственного положения дуги будет заключаться не только в описании координаты центра пятна нагрева дуги в зависимости от угла её отклонения, но и в описании изменения этих координат во времени в соответствии с циклограммой на рис. 2. Математическое описание

изменения координаты центра пятна нагрева дуги будет выглядеть следующим образом:

$$Y_{уд} = \begin{cases} \frac{L_{\delta} \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta}{\sin(180 - \beta - \alpha)}; & T \cdot (N - 1) \leq t \leq T \cdot (N - 1) + \left(\frac{T}{2} - t_n\right). \\ 0; & T \cdot (N - 1) + \left(\frac{T}{2} - t_n\right) < t \leq T \cdot (N - 1) + \frac{T}{2}; \\ & T \cdot (N - 1) + (T - t_n) < t \leq T \cdot (N - 1) + T. \\ -\frac{L_{\delta} \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta}{\sin(180 - \beta - \alpha)}; & T \cdot (N - 1) + \frac{T}{2} \leq t \leq T \cdot (N - 1) + (T - t_n). \end{cases} \quad (3)$$

$$Z_{уд} = \begin{cases} \frac{L_{\delta} \cdot \sin \alpha \cdot \sin(90 - \beta)}{\sin(180 - \beta - \alpha)}; & T \cdot (N - 1) \leq t \leq T \cdot (N - 1) + \left(\frac{T}{2} - t_n\right); \\ & T \cdot (N - 1) + \frac{T}{2} \leq t \leq T \cdot (N - 1) + (T - t_n). \\ c; & T \cdot (N - 1) + \left(\frac{T}{2} - t_n\right) < t \leq T \cdot (N - 1) + \frac{T}{2}; \\ & T \cdot (N - 1) + (T - t_n) < t \leq T \cdot (N - 1) + T. \end{cases} \quad (4)$$

$$X_{уд} = v \cdot t \quad (5)$$

где: T – период цикла колебаний дуги, сек; N – число повторений цикла колебаний дуги на текущий момент времени; v – скорость сварки, мм/сек; t – время, прошедшее с момент начала сварки, сек.

Период цикла колебаний дуги вычисляется исходя из установленной на источнике питания частоте изменения направления горения дуги (f), Гц:

$$T = \frac{1}{f} \quad (6)$$

Число повторений цикла колебаний дуги (N) на текущий момент времени (t) можно вычислить по нижеприведённой зависимости с округлением полученной цифры до целого числа в большую сторону.

$$N = \frac{t}{T} \quad (7)$$

Ещё одним важным моментом в описании пространственного положения дуги на свариваемых кромках является определение величины угла отклонения сварочной дуги от оси электрода в зависимости от текущих параметров процесса сварки. Для установления зависимости, позволяющей вычислить значение угла отклонения сварочной дуги нами выполнены экспериментальные исследования по выявлению зависимости угла отклонения сварочной дуги от основных параметров процесса, таких как расстояние от токоподвода до оси электрода, мм, величина сварочного тока, А, частота коммутации тока, Гц. Эксперимент выполнялся по стандартной методике с построением плана трёхфакторного эксперимента. Условия проведения эксперимента приведены в табл. 1. Функция отклика – угол отклонения дуги, град.

Таблица 1

Условия проведения эксперимента

Кодовое обозначение факторов	Наименование факторов и размерность	Уровни варьирования			Шаг варьирования
		- I	0	+I	
X1	Расстояние до токоподвода, мм	6	43	80	±37
X2	Сварочный ток, А	60	130	200	±70
X3	Частота коммутации, Гц	0,1	1,55	3	±1,45

Эксперименты проводились с использованием экспериментальной установки, состоящей из источника питания для сварки дугой, отклоняемой собственным магнитным полем (собственного изготовления), сварочного трактора с закреплёнными на нём горелкой для аргонодуговой сварки и разделённым токоподводом тока к

изделию. Процесс сварки фиксировали на цифровую видеокамеру Panasonic NV DC 50. Определение угла отклонения дуги от оси электрода выполняли путём обработки кадров видеосъёмки на персональном компьютере с применением прикладных программ обработки видеоизображений.

В результате проведения эксперимента по плану полного трёхфакторного эксперимента и обработки полученных данных с использованием регрессионного анализа, получено уравнение регрессии в следующем виде:

$$\alpha = 21,94 - 9,56 \cdot X_1 + 0,44 \cdot X_2 - 1,44 \cdot X_3 \quad (8)$$

где: α – текущий угол отклонения дуги от оси электрода, град; X_1 , X_2 , X_3 – кодовые обозначения уровней факторов.

Перейдя из безразмерной системы в размерную, получим следующую зависимость:

$$\alpha = 21,94 - 9,56 \cdot \left(\frac{l - 43}{37} \right) + 0,44 \cdot \left(\frac{I - 130}{70} \right) - 1,44 \cdot \left(\frac{f - 1,55}{1,45} \right) \quad (9)$$

где: l – текущее расстояние от токоподвода до оси электрода, мм; I – текущее значение силы сварочного тока, А; f – текущее значение частоты коммутации тока, Гц.

Проверка адекватности полученной зависимости (9) проводилась путём сопоставления рассчитанных по ней углов отклонения дуги, и аналогичных данных полученных в ходе проведения натуральных экспериментов. Проверка адекватности выполнялась по методике приведённой в работе [8]. В результате проведённой проверки установлено, что применение предлагаемой зависимости для расчёта угла отклонения дуги позволяет получить расчётные результаты, не имеющие значимых расхождений с результатами эксперимента (поскольку дисперсионное отношение ни в одном из опытов не превышало значения критерия Фишера).

Выводы:

1. Получено математическое описание изменения координат центра пятна нагрева дуги во времени, в условиях сварки корневого слоя шва автоматической сваркой неплавящимся электродом дугой, отклоняемой собственным магнитным полем.
2. На основе проведённых экспериментальных исследований получена зависимость, позволяющая рассчитать угол отклонения сварочной дуги от оси электрода в зависимости от расстояния от токоподвода до оси электрода, величина сварочного тока, и частоты коммутации тока.

Список литературы

1. Сидоров В.П. Управление пространственным положением дуги в процессе сварки корня шва за счёт её собственного магнитного поля /В.П. Сидоров, И.В. Смирнов, Н.Е. Машнин, И.В. Толстошеев, А.И. Захаренко// Современные проблемы повышения эффективности сварочного производства: сборник статей по докладам Всероссийской НТК – Тольятти: ТГУ, 2006 – ч.1 – с. 144 – 147.
2. А.с. № 465291. Способ дуговой сварки / А.М. Макара, А.Т. Назарчук, В.Г. Гордонный, А.Т. Дибец (СССР). - № 465291. – Оpubл. 30.03.75. – Бюл. № 12.
3. Сидоров В.П. Повышение пространственной устойчивости дуги на кромках при сварке корня шва /В.П. Сидоров, И.В. Смирнов, Н.Е. Машнин, А.И. Захаренко, И.В. Толстошеев// Современные проблемы повышения эффективности сварочного производства: сборник статей по докладам Всероссийской НТК – Тольятти: ТГУ, 2006 – ч.1 – с. 141 – 144.
4. Диссертация
5. Смирнов И.В. Методика расчёта температурных полей при сварке корня шва неплавящимся электродом /И.В. Смирнов И.В., В.П. Сидоров.// Сборник

докладов Всероссийской научно-технической конференции «Сварка и контроль – 2004», Пермь, том 2, стр. 205 – 211.

6. Смирнов И.В. Метод учёта размеров и формы разделки на процесс распространения тепла в кромке при сварке /И.В. Смирнов// Сб. материалов международной научной конференции «Компьютерное моделирование и информационные технологии в науке, инженерии и образовании», Пенза, 2003 – с. 151-154.
7. Смирнов И.В. Особенности распространения тепла при сварке корня шва в стыковом соединении с V-образной разделкой кромок /И.В. Смирнов// Сб. трудов Всероссийской научно-технической конференции «Сварка – XXI век», Тольятти, 2002 – с. 153-158.
8. Судник В.А. Адекватность компьютерной имитации процессов сварки /В.А. Судник, В.А. Ерофеев, Д. Радаи// Сборник избранных научных трудов 2-й Всероссийской научно-технической конференции «Компьютерные технологии в соединении материалов», Тула, ТулГУ, 1999 – с. 5-21.