

### МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ГАЗОВ ПРИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКЕ

*А.П. Степанов, ст. преп., Ю.В. Сотокина, инженер, Е.М. Буракова, инженер,  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
E-mail: apsuti@rambler.ru*

При дуговой сварке возникают газовые потоки, оказывающие на качество сварного соединения большое влияние. Возникновение газовых потоков связывают со значительным сжатием дуги у электродов, которое обусловлено радиальными силами собственного магнитного поля. Это сжатие создает большую плотность тока. Электромагнитные силы имеют также некоторую осевую составляющую, направленную в сторону расширения столба. Эти силы вызывают подсосывание окружающего газа к месту сужения, где он разогревается и в виде плазменной струи выталкивается вдоль оси в направлении расширения столба со скоростью  $10^3 - 10^5$  см/сек [1]. Таким образом, предполагается, что внешняя среда нейтральна в отношении собственного магнитного поля дуги и по законам газодинамики засасывается в зону горения дуги.

В работе [2] показано, что движение газовых потоков вызывается динамическим воздействием ионов и электронов на нейтральный газ. При движении заряженных частиц происходит их соударения с молекулами газа, в результате чего происходит ионизация молекул, а также им сообщается определенный импульс движения. Поэтому траектория движения газовых потоков в большой степени определяется закономерностями потока зарядов. Однако в этой работе также не учитывается наличие магнитных свойств молекул газов.

Защитные газы, применяемые при дуговой сварке (Ar, He, N<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub>), обладают диамагнитными свойствами, т.е. веществами, усиливающими внешнее магнитное поле. Кислород обладает парамагнитным свойством, т.е. ослабляет внешнее магнитное поле. Диамагнетики и парамагнетики проявляют разное поведение в магнитном поле дуги (рис. 1). Для парамагнитных молекул магнитный момент  $P_m$  направлен по полю, для диамагнитного – против. Поэтому парамагнитные вещества будут втягиваться в область, где магнитное поле сильнее, а диамагнитный в область, где поле слабее. Учитывая физические свойства газов, попадающих в сферу действия магнитного поля токопроводящего канала, а также учитывая ионизацию газов в результате столкновений и влияния температуры, можно выявить кинетику движения газовых потоков.

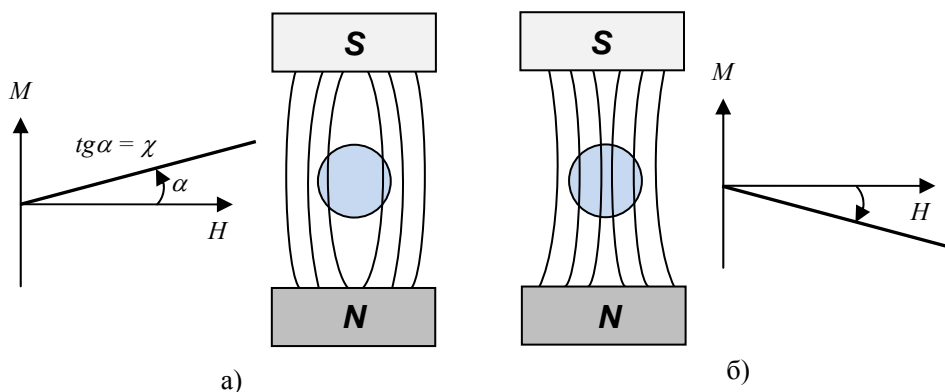


Рис. 1 Поведение веществ в магнитном поле:  
а) парамагнетики; б) диамагнетики

Из таблицы 1 видно, что большинство газов, применяемые при сварке, за исключением кислорода, обладают малой магнитной восприимчивостью [3].

Токопроводящий канал плазменного столба дуги [4] создает магнитное поле, градиент которого возрастает к его оси. Это приводит к возникновению электродинамических сил, действующих на молекулы газа. Токопроводящий канал имеет небольшой диаметр, поэтому его можно рассматривать как длинный провод, по которому течет основной ток дуги (до 90%). Индукция магнитного поля провода с током определяется согласно закону Био-Савара-Лапласа, причем линии представляют собой окружности с центром на оси электрода (рис. 2).

Электродинамическая сила, действующая на молекулы газа со стороны магнитного поля канала дуги, согласно работе [5], определяется уравнением

$$F_r = V_m \chi H \frac{dB}{dr}, \quad (1)$$

где  $V_m$  – объем молекулы;  $\chi$  – магнитная восприимчивость;  $B$  – индукция магнитного поля;  $H$  – напряженность магнитного поля. С учетом закона Био-Савара-Лапласа это уравнение принимает вид

$$F_r = V_m \chi \mu_0 \frac{I^2}{4\pi^2 r^3}. \quad (2)$$

Таблица 1

Газ	Удельная магнитная восприимчивость, $\chi \cdot 10^6$	$\frac{\chi}{\chi_{O_2}}$
Кислород	+107,8	1
Кислород жидкий	+259,6	2,32
Двуокись азота	+3,80	0,038
Закись азота	-0,428	-0,0043
Гелий	-0,47	-0,0044
Водород	-1,99	-0,0184
Азот	-0,43	-0,0043
Углекислый газ	-0,525	-0,0053
Аргон	-0,490	-0,0045

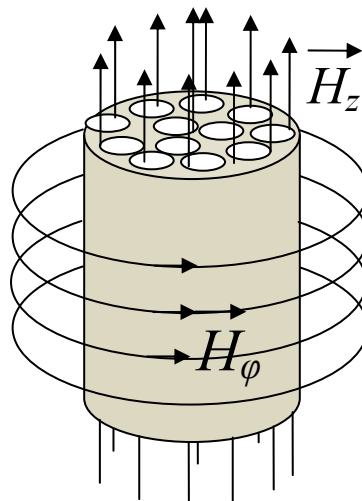


Рис. 2. Магнитное поле токопроводящего канала

Из этой формулы следует, что в диапазоне сварочных токов от 200 до 800 А действие сил магнитного поля на молекулы кислорода проявляется на расстоянии 40 – 100 мм. Под действием этой силы молекулы кислорода будут притягиваться к токопроводящему каналу плазменного столба дуги. Вблизи электрода происходит сильное сжатие плазмы, т.е. возникает большая плотность тока, поэтому на молекулы кислорода согласно формуле (2) будет действовать и большая сила. Это приводит к эффекту засасывания газа у электрода.

По мере приближению к центру столба дуги возрастает температура и плотность частиц в плазме столба, значит, будет более высокой вероятностью столкновений молекул кислорода с другими молекулами и заряженными частицами плазмы столба дуги. При этом будет происходить частичная или полная ионизация молекул кислорода. В этом случае на ионизированные молекулы кислорода со стороны магнитного поля токопроводящего канала будет действовать сила Лоренца (рис. 3), которая приведет к возникновению потоков газа вдоль столба дуги. Этим объясняется возникновение "конвективных" потоков газа.

По мере приближения к центру столба дуги будет возрастать динамическое воздействие ионов и электронов токопроводящего канала на ионизированный газ. Заряженные частицы токопроводяще-

го канала находятся в вихревом движении [4], поэтому в результате столкновений ионизированный газ будет обладать и вращательной компонентой скорости.

Таким образом, в результате засасывания кислорода из окружающей среды будет происходить интенсивное смешивание наружных слоев защитного газа. Это связано с тем, что парамагнитные молекулы кислорода, обладающие химической активностью, будут в виде вихревого потока пронизывать внешний защитный газовый поток, достигать зоны плавления и оказывать влияние на качество сварного соединения. В тоже время диамагнитные свойства защитных газов ( $Ar$ ,  $He$ ,  $H_2$  и  $CO_2$ ) будут приводить к выталкиванию их магнитным полем токопроводящего канала, создавая противоположно направленные потоки защитного газа. Основным фактором, влияющим на поведение газов в столбе дуги, являются магнитные свойства газов. Поэтому при анализе потоков газов в плазменном столбе варочной дуги их необходимо учитывать.

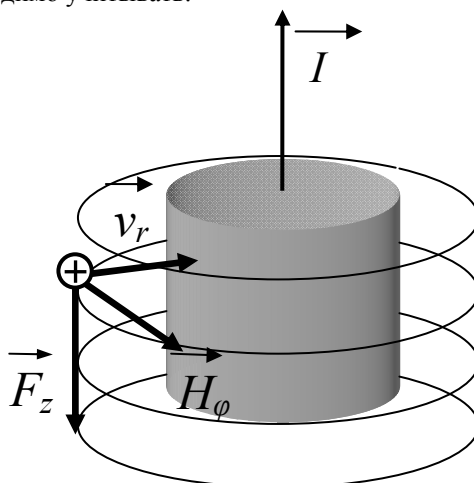


Рис. 3. Сила Лоренца, действующая на ион кислорода в поперечном магнитном поле дуги

#### Литература.

1. Финкельбург В., Меккер Г. Электрические дуги и термическая плазма: Перевод с нем. под ред. В.А. Фабриканта. – М.: ИЛ, 1961.
2. Лесков Г.И., Погодин-Алексеев Г.И. «Термическая теория электрической дуги»// Автоматическая сварка. 1958, №5.
3. Агейкин Д.И. Магнитные газоанализаторы. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 423 с.
4. Немова Т.Н., Степанов А.П. «Вихревой механизм возбуждения электрической дуги»// Известия вузов, «Физика». 2007. т. 50, № 9/2. С. 141-144.
5. Фриш С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики: Учебник. В 3-х тт. Т.2. Электрические и электромагнитные явления. – СПб.: Издательство «Лань», 2006.- 528 с.