

УДК 621.791.753.042

Щетинина В.И.¹, Щетинин С.В.², Мельников А.Е.³, Голубков С.П.⁴, Будыка А.В.⁵

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПРИ СВАРКЕ ТРУБ

Исследовано влияние расположения токоведущего кабеля внутри трубы на электромагнитное поле сварочного тока. Установлено, что при расположении токоведущего кабеля у верхней стенки трубы электромагнитное поле и магнитное дутье максимально.

Электромагнитное поле сварочного контура создается током, протекающим по электроду, дуге и изделию. Электромагнитное поле тока, протекающего по дуге, приводит к пинч-эффекту и давлению дуги на жидкий металл сварочной ванны [1,2]. Электромагнитное поле тока, протекающего по изделию, приводит к отклонению дуги и магнитному дутью.

Магнитное дутье и воздействие электромагнитного поля на формирование швов значительно усиливаются при сварке труб [3,4,5,6]. Считают [4], что в результате нагрева металла на всю толщину выше точки Кюри в зоне сварки магнитный поток не шунтируется основным металлом. При этом дуга оказывается под воздействием поперечного электромагнитного поля и отклоняется вдоль продольной оси трубы. Однако электромагнитное поле сварочного контура при сварке труб исследовано недостаточно [7,8].

Электромагнитное поле тока, протекающего по изделию, является поперечным и приводит к отклонению дуги в процессе сварки, в направлении меньшего поля. Положение дуги в пространстве определяет магнитогидродинамические явления, движение жидкого металла в сварочной ванне и, как следствие, формирование сварных швов.

Известные формулы для определения величины электромагнитного поля [9] не учитывают влияние формы проводника и сварочного контура на индукцию. Поэтому целесообразно исследовать влияние формы изделия на индукцию электромагнитного поля сварочного контура..

На распределение и величину электромагнитной индукции в зазоре стыка значительно влияет форма изделия. При протекании тока по трубе резко возрастает максимальное значение индукции с 0,08Т при протекании тока по пластинам до 0,24Т (рис.1). При этом направление индукции не изменяется, а максимальное значение достигается на середине толщины металла трубы. Изменение характера распределения и величины индукции является результатом того, что силовые линии электромагнитного поля концентрируются в замкнутом ферромагнитном теле трубы, контур которой совпадает с силовыми линиями электромагнитного поля. Значение индукции равно нулю в центре и имеет противоположное направление в области нижней стенки трубы.

Как установлено, при протекании тока по трубе силовые линии электромагнитного поля в области зазора стыка выходят на поверхность внутри и с внешней стороны трубы. В области нижней стенки трубы индукция равна нулю. В области зазора при удалении от верхней стенки индукция электромагнитного поля сварочного тока резко падает и на расстоянии $25 \cdot 10^{-3}$ м индукция практически равна нулю. Это подтверждает, что увеличение индукции при протекании тока по трубе является результатом концентрации силовых линий электромагнитного поля в ферромагнитном теле трубы.

¹ ПГТУ, д-р техн. наук

² ПГТУ, канд. техн. наук

³ ПГТУ, аспирант

⁴ ПГТУ, аспирант

⁵ ПГТУ, аспирант

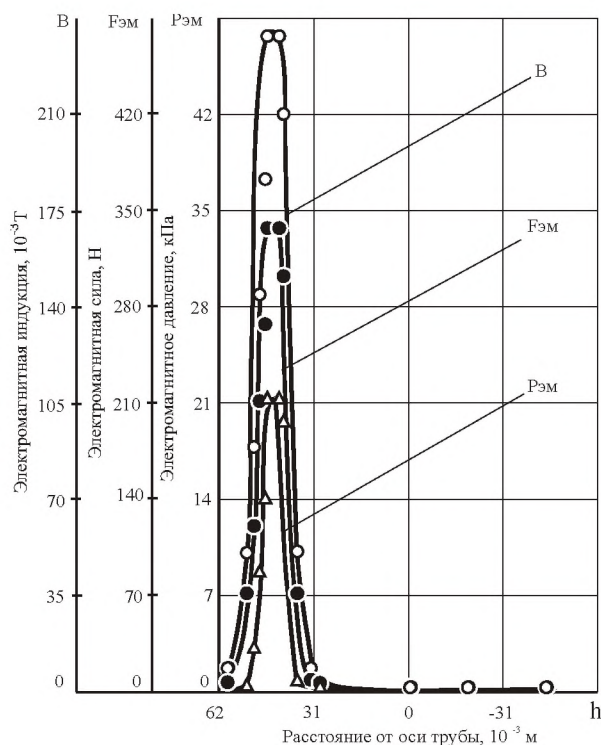


Рис. 1—Электромагнитное поле сварочного тока в трубе

том, одновременно с функцией несущей конструкции выполняет функцию токоведущего элемента, по которому протекает сварочный ток. Поэтому проведены исследования влияния токоведущего кабеля, расположенного внутри трубы, на электромагнитное поле сварочного тока. Исследования проводились при моделировании процесса путем пропускания тока по трубе с расположенным внутри трубы токоведущим кабелем (рис.2).

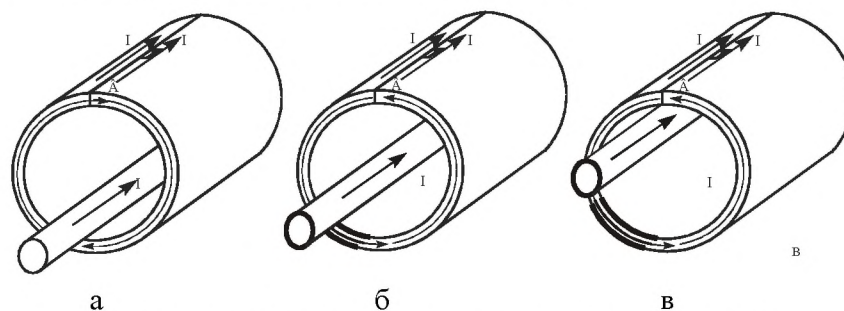


Рис.2 – Схема расположения токоведущего кабеля внутри трубы

а– токоведущий кабель на нижней стенке трубы; б – токоведущий кабель в центре трубы; в – токоведущий кабель у верхней стенки трубы

В результате проведенных исследований установлено, что индукция, электромагнитная сила и электромагнитное давление значительно усиливаются при расположении внутри токоведущего кабеля, направление тока в котором совпадает с направлением тока в трубе. При пропускании внутри трубы тока одинакового направления с током, протекающим по трубе, и расположении токоведущего кабеля на нижней стенке трубы максимальное значение индукции электромагнитного поля смещается с середины к нижней поверхности и возрастает до 0,55 Т (рис.3). Это является результатом суммирования магнитных полей, создаваемых каждым током в отдельности:

$$\bar{B} = \bar{B}_1 + \bar{B}_2, \text{ Т}, \quad (1)$$

где B_1 – индукция электромагнитного поля, создаваемая током, протекающим по трубе;

B_2 – индукция электромагнитного поля, создаваемая током, протекающим по токоведущему кабелю внутри трубы.

Пропорционально индукции форма изделия влияет на максимальную электромагнитную силу, которая при протекании тока по трубе значительно возрастает:

Поэтому при автоматической сварке труб, особенно с повышенной скоростью и большой величине тока, усиливается магнитное дутье и влияние электромагнитного поля на формирование швов.

При сварке прямошовных труб от токоподвода электромагнитная сила отклоняет дугу вперед так, что периодически длина ее увеличивается до естественного обрыва и вновь возбуждается при закорачивании электрода на изделие. При этом режим становится нестабильным, формирование швов нарушается. При сварке на токоподвод дуга отклоняется назад, погружается в основной металл и стабилизируется, но шов формируется с подрезами.

Сварка прямошовных труб для газо- и нефтепроводных магистралей производится на медной подкладке или флюсовой подушке, расположенной в штанге, на которую надевается труба. Массивная ферромагнитная штанга, выполненная из швеллеров, соединенных листом,

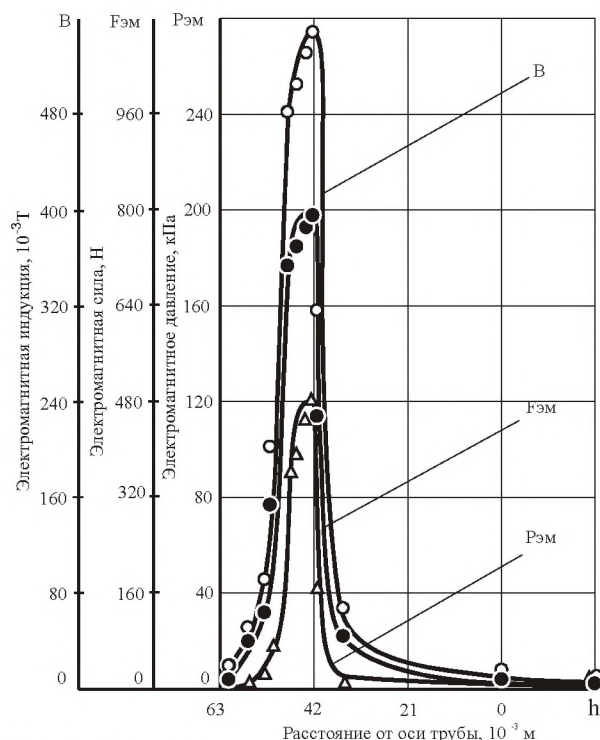


Рис.3 – Электромагнитное поле с токоведущим кабелем на нижней стенке трубы

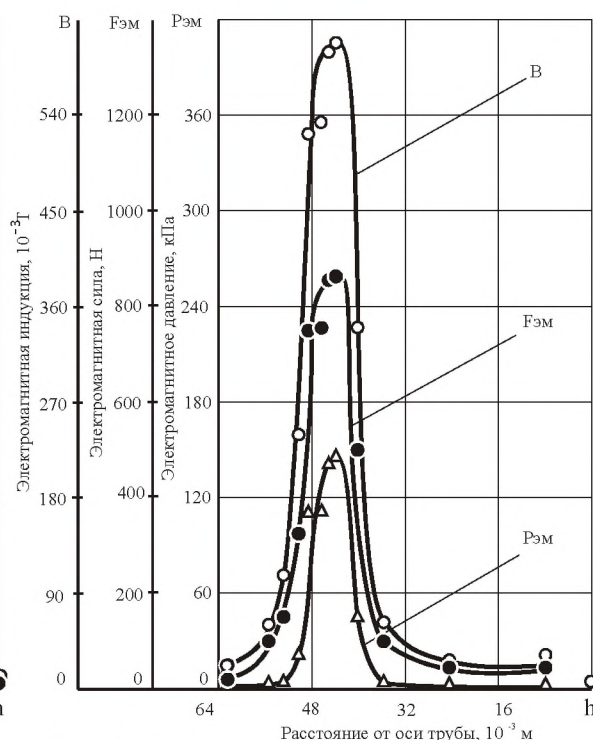


Рис.4 – Электромагнитное поле с токоведущим кабелем в центре трубы

Пропорционально индукции при протекании внутри трубы тока, направление которого совпадает с током в трубе, электромагнитная сила возрастает с 337 Н до 792 Н и электромагнитное давление – с 21,9 кПа до 121 кПа. При протекании тока внутри трубы индукция электромагнитного поля сварочного тока внутри трубы не равна нулю и зависит от расположения токоведущего кабеля.

При расположении токоведущего кабеля в центре трубы индукция электромагнитного поля сварочного тока в зазоре трубы возрастает с 0,55Т до 0,6Т (рис.4). Соответственно с 792Н до 864Н возрастает электромагнитная сила и с 121 кПа до 144 кПа – электромагнитное давление. Это обусловлено приближением проводника с током к месту измерения индукции и подтверждено при расположении токоведущего кабеля непосредственно под стыком трубы.

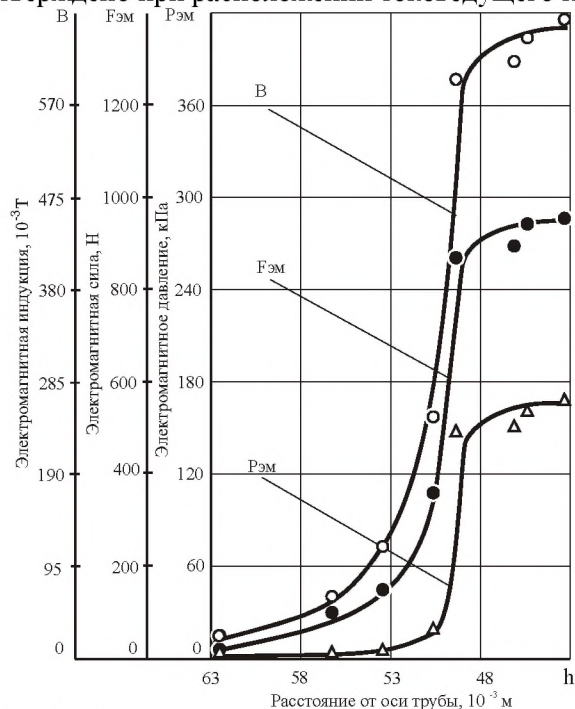


Рис.5 – Электромагнитное поле при расположении токоведущего кабеля у верхней стенки трубы

При расположении токоведущего кабеля у верхней стенки трубы под стыком индукция электромагнитного поля сварочного тока увеличилась с 0,6Т до 0,66Т (рис.5) по сравнению с расположением кабеля в центре трубы. Общее увеличение индукции при приближении токоведущего кабеля с нижней до верхней стенки трубы, т.е. на $88 \cdot 10^{-3}$ м составило 0,11Т, что значительно меньше расчетных данных, согласно которым индукция обратно пропорциональна расстоянию от проводника с током. Это является результатом концентрации силовых линий электромагнитного поля тока, протекающего внутри трубы, в ферромагнитном теле трубы независимо от расположения токоведущего кабеля.

Однако при приближении токоведущего кабеля увеличивается количество силовых линий тока, замыкающихся в ферромагнитном теле трубы, поэтому электромагнитное поле в зазоре стыка возрастает. Возможно, при расположении токоведущего кабеля на нижней стенке трубы он вытягивает на себя

силовые линии поля с области зазора стыка, поэтому индукция в зазоре уменьшается. При расположении токоведущего кабеля у верхней стенки трубы он выталкивает силовые линии электромагнитного поля из трубы, в результате чего индукция в зазоре стыка возрастает.

Индукция электромагнитного поля определяется магнитным потоком, который по периметру трубы не изменяется, и площадью, по которой протекает магнитный поток. Поэтому индукция электромагнитного поля, зависит от площади, по которой протекает магнитный поток. При расположении токоведущего кабеля на нижней стенке трубы, когда увеличивается площадь, на которой распределяются силовые линии электромагнитного поля, индукция уменьшается. При расположении токоведущего кабеля в центре и, особенно у верхней стенки трубы, площадь, на которой расположены силовые линии, уменьшается, поэтому индукция возрастает.

Выводы

1. На основании моделирования процесса установлено, что расположение токоведущего кабеля внутри трубы влияет на величину и распределение индукции в зазоре стыка. При направлении тока, протекающего в токоведущем кабеле внутри трубы, совпадающем с направлением тока, протекающего по трубе, величина индукции в зазоре стыка возрастает, и максимальное значение располагается на нижней поверхности трубы.
2. При расположении токоведущего кабеля на нижней стенке трубы индукция в зазоре стыка уменьшается, так как силовые линии электромагнитного поля вытягиваются из зазора, и индукция в трубе не равна нулю.
3. При расположении токоведущего кабеля у верхней стенки трубы индукция увеличивается, так как все силовые линии электромагнитного поля концентрируются в ферромагнитном теле трубы. В результате усиливается магнитное дутье при сварке труб.

Перечень ссылок

1. Финкельбург В. и Меккер Г. Электрические дуги и термическая плазма. – М.: Изд-во иностр. лит, 1961. – 369 с.
2. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга. – М.: Машиностроение, 1970. – 334 с.
3. Патон Б.Е., Мандельберг С.Л. Сварка под флюсом при изготовлении труб большого диаметра // Автоматическая сварка. – 1968. – № 3. – С.41-46.
4. Мандельберг С.Л., Лопата В.Е. Влияние магнитного поля сварочного контура на форму швов, свариваемых внутри трубы // Автоматическая сварка. – 1962. – № 3 – С. 1-6.
5. Устранение влияния ферромагнитных масс при сварке внутренних швов /В.М. Иваненко, Н. М. Будник, Р. М. Гуфан, В. Т.Кошкарёв //Автоматическая сварка. – 1966. – № 9. – С.50-51.
6. Гаген Ю.Г, Таран В.Д. Сварка магнитоуправляемой дугой. – М.: Машиностроение, 1970.– 157 с.
7. Guill A.E. The magnetic movement of short arc. With reference to arc welding problems // Brit. Weld. j. –1966. – 13, № 6. – P. 8-11.
8. Jennings C.H. and White A.B. Magnetic arc Blow // The Welding Journal. – 1941. – Vol. 20, № 10. – P. 11-13.
9. Зильберман Г.Е. Электричество и магнетизм. – М.: Наука, 1970. – 383с

Щетинина Вера Ивановна. Д-р техн. наук, профессор кафедры М и ТСП (ПГТУ), окончила Ждановский металлургический институт в 1966 г. Основные направления научных исследований – теоретические основы и разработка способов сварки с повышенной скоростью.

Щетинин Сергей Викторович. Канд. техн. наук, ст. науч. сотр. кафедры М и ТСП (ПГТУ), окончил Ждановский металлургический институт в 1986 году. Основные направления научных исследований – теоретические основы односторонней сварки и электромагнитного поля сварочного тока

Мельников Андрей Евгеньевич. Аспирант ПГТУ, окончил ПГТУ в 1999 году. Основные направления научных исследований – закономерности регулирования электромагнитного поля сварочного тока

Голубков Сергей Петрович. Аспирант ПГТУ, окончил ПГТУ в 2000 году. Основные направления научных исследований – закономерности регулирования электромагнитного поля сварочного тока.

Будька Александр Владимирович. Аспирант ПГТУ, окончил ПГТУ в 1998 году. Основные направления научных исследований – закономерности регулирования электромагнитного поля.

Статья поступила 11.12. 2001