

УДК 621.791.753.042

**Чигарев В. В., Щетинина В. И., Щетинин С. В., Сергиенко Ю. В., Сагиров Д. А., Савкова М. А., Дмитриев Э. А., Новохацкая А. С., Ходарина К. В.**

### **ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ НА МАГНИТНОЕ ПОЛЕ СВАРОЧНОГО ТОКА**

Основными видами продукции тяжелого машиностроения являются железнодорожные цистерны и полувагоны, несущим элементом которых являются хребтовые балки из двух зетовых профилей. Энергоемкость и производительность процесса зависят от скорости автоматической сварки, которая ограничена нарушением стабильности процесса и формирования сварных швов.

Стабильность процесса снижается при магнитном дутье. Полузамкнутый контур хребтовых балок усиливает магнитное дутье, нарушает стабильность процесса и формирования швов. Поэтому для обеспечения качественного формирования швов при односторонней высокоскоростной сварке необходимо уменьшать магнитное дутье и стабилизировать процесс.

Наиболее полно магнитное поле сварочного тока исследовано при сварке труб [1–7], когда магнитные силовые линии, стремясь замкнуться через обладающий большой магнитной проницаемостью металл, концентрируются в ферромагнитном теле трубы. При этом на дугу действует электромагнитная сила, направление которой зависит от точки токоподвода. Усиление магнитного дутья при сварке труб общеизвестно, однако магнитное поле при сварке хребтовых балок из зетовых профилей изучено недостаточно.

Сварка хребтовых балок из зетовых профилей производится за два прохода. Для предотвращения вытекания жидкого металла из сварочной ванны первый проход производится полуавтоматической сваркой в среде углекислого газа проволокой Св 08Г2С диаметром 2 мм на режиме: величина тока 400–450 А, напряжение 30–32 В, скорость сварки 15 м/ч, второй проход – автоматической сваркой под флюсом проволокой Св08ГА диаметром 4 мм на режиме: величина тока 800 – 850 А, напряжение 36–38 В, скорость сварки 30 м/ч.

Сварка за два прохода и низкая скорость значительно повышают энергоемкость, снижают производительность процесса, качество швов и увеличивают себестоимость хребтовой балки. Поэтому разработка энергосберегающих процессов односторонней однопроходной высокоскоростной сварки хребтовых балок, обеспечивающих повышение скорости и улучшение качества сварных швов, является важной научно-технической проблемой.

Целью данных исследований является изучение механизма воздействия формы изделия на магнитное поле сварочного тока и разработка энергосберегающего процесса односторонней однопроходной высокоскоростной сварки хребтовых балок.

Исследование магнитного поля сварочного тока зетовых профилей производилось путем моделирования процесса сварки (рис. 1) при пропускании постоянного тока величиной 2100 А по зетам и измерения индукции магнитного поля в зазоре стыка тесламетром ЭМ4305. В качестве источника питания использовали сварочный выпрямитель ВМГ 5000.

Для адекватности магнитного поля сварочного тока реальным условиям процесса сварки модель зетовых профилей выбрана в соответствии с конструкцией хребтовой балки и закономерности воздействия формы изделия на индукцию поля устанавливались на моделях пластин и трубы, изготовленных из металла одной толщины, ширины и длины.

Величина магнитного поля определяется индукцией, которая прямо пропорциональна величине тока и обратно пропорциональна расстоянию от проводника  $B = m \frac{I}{4\pi r}$ , Т [8, 9]. Эта формула, выведенная для проводника с током круглого сечения, не отражает зависимости индукции от формы проводника.

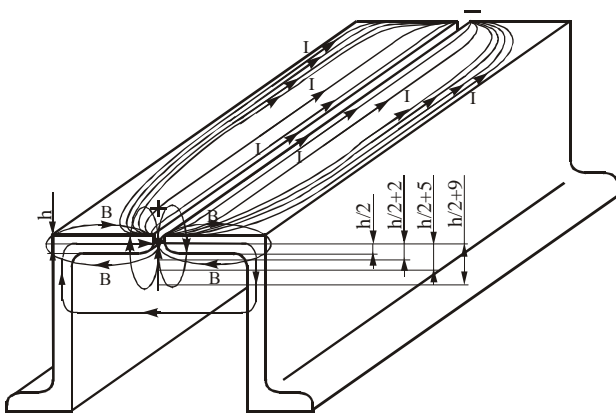


Рис. 1. Методика измерения магнитного поля сварочного тока в зетовых профилях:

I – сварочный ток; B – силовые линии магнитного поля

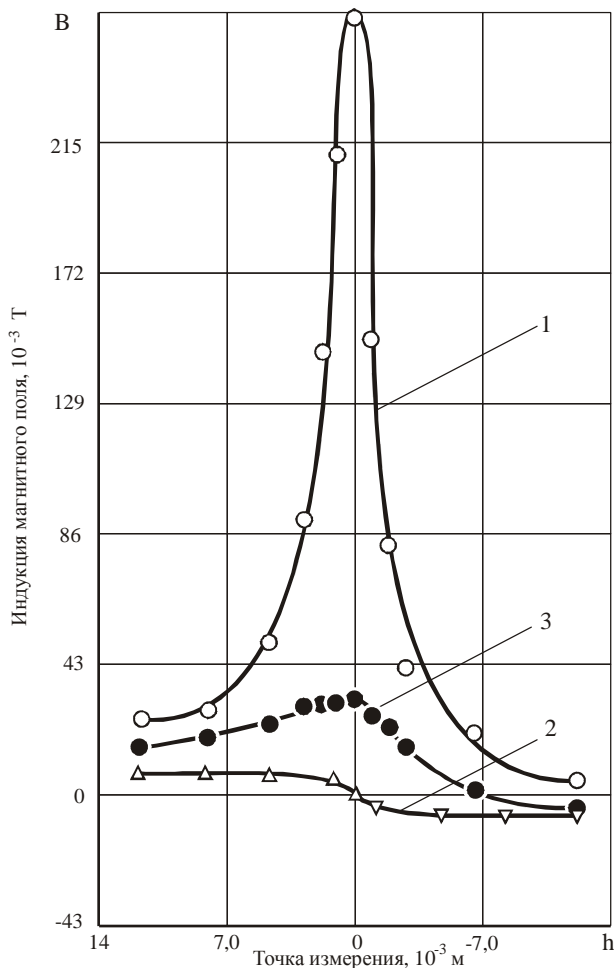


Рис. 2. Зависимость индукции магнитного поля от формы изделия:

- 1 – труба  $(3 \times \text{Ø}300 \times 300) \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ;
- 2 – пластины  $(3 \times 500 \times 300) \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ;
- 3 – зеты  $(3 \times 108 \times 140 \times 45 \times 300) \cdot 10^{-3} \text{ м}$

Как установлено, при протекании тока по пластинам индукция магнитного поля на середине толщины металла равна нулю (рис. 2). При приближении к поверхности пластины индукция возрастает и достигает максимального значения на поверхности. При удалении от поверхности пластины индукция магнитного поля изменяется незначительно вследствие большой ширины пластин. В соответствии с направлением магнитного поля при переходе от середины к нижней поверхности пластин направление индукции изменяется на противоположное.

На распределение и величину индукции магнитного поля в зазоре стыка значительно влияет форма изделия. При протекании тока по трубе резко возрастает максимальное значение индукции с 0,007 Т при протекании тока по пластинам до 0,255Т. 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 магнитного поля концентрируются в замкнутом ферромагнитном теле трубы, так как силовые линии магнитного поля совпадают с контуром трубы. Значение индукции равно нулю в центре трубы и имеет противоположное направление в области нижней стенки. Пропорционально индукции форма изделия влияет на действующую на дугу электромагнитную силу  $F_{ЭМ} = IBL$ , Н [10] (рис. 3), которая при протекании тока по трубе значительно возрастает, вследствие чего усиливается магнитное дутье и влияние поля на формирование швов. При протекании тока по зетам закономерность распределения индукции магнитного поля в зазоре стыка аналогична распределению индукции в трубе. Индукция в зазоре стыка не изменяет направление, максимальное значение индукции магнитного поля достигается на середине толщины зетов. Однако максимальное значение индукции при протекании тока по зетовым профилям резко уменьшается с 0,255 Т в трубе до 0,032 Т в зетах вследствие увеличения магнитного сопротивления, так как зетовые профили создают полузамкнутый контур.

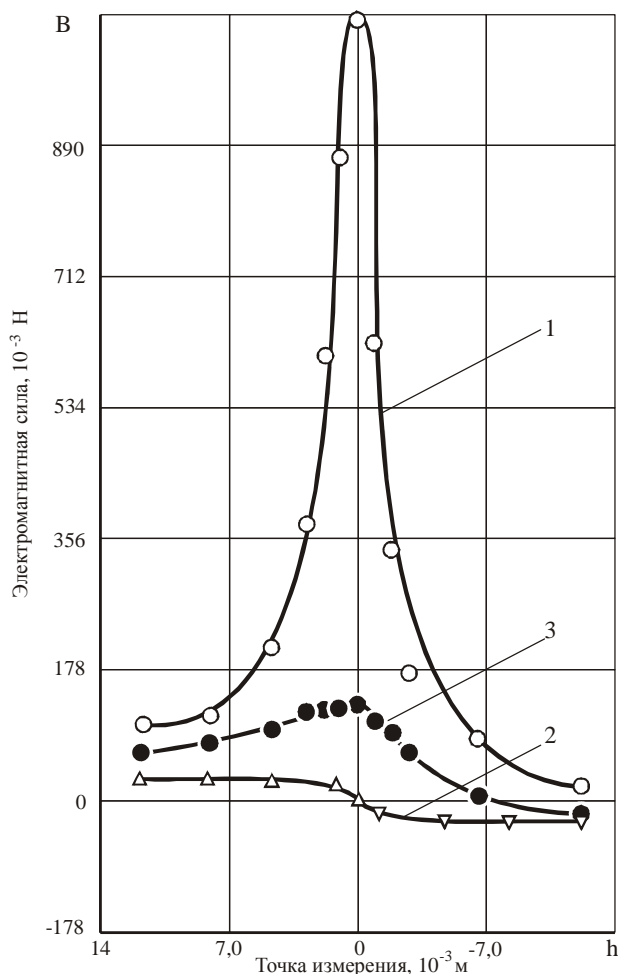


Рис. 3. Зависимость электромагнитной силы от формы изделия:

- 1 – труба  $(3 \times \varnothing 300 \times 300) \cdot 10^{-3}$  м;
- 2 – пластины  $(3 \times 500 \times 300) \cdot 10^{-3}$  м;
- 3 – зеты  $(3 \times 108 \times 140 \times 245 \times 300) \cdot 10^{-3}$  м

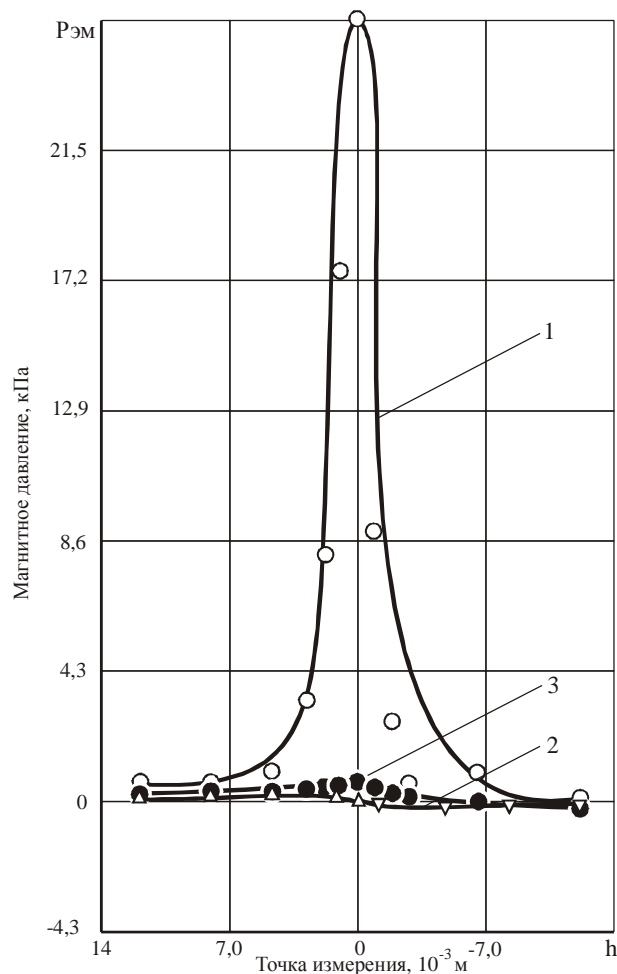


Рис. 4. Зависимость магнитного давления от формы изделия:

- 1 – труба  $(3 \times \varnothing 300 \times 300) \cdot 10^{-3}$  м;
- 2 – пластины  $(3 \times 500 \times 300) \cdot 10^{-3}$  м;
- 3 – зеты  $(3 \times 108 \times 140 \times 245 \times 300) \cdot 10^{-3}$  м

Индукция магнитного поля равна нулю на расстоянии  $6,5 \cdot 10^{-3}$  м от середины толщины металла зетовых профилей и при дальнейшем удалении от поверхности внутри зетов изменяет направление на противоположное. По сравнению с пластинами максимальное значение индукции возрастает с 0,007 Т до 0,032 Т, что является результатом полузамкнутого контура и уменьшения магнитного сопротивления, так как силовые линии наполовину замыкаются в обладающих большой магнитной проницаемостью ферромагнитных зетовых профилях (рис. 2).

Пропорционально индукции действующая на дугу и жидкий металл сварочной ванны электромагнитная сила возрастает по сравнению с пластинами с 0,03 Н до 0,134 Н и уменьшается по сравнению с трубой, где электромагнитная сила 1,07 Н (рис. 3). В квадратичной зависимости от индукции определяется действующее на жидкий металл магнитное давление

$$P_{эм} = \frac{B^2}{2\mu}, \text{ Па [11],}$$

которое при сварке зетов составляет 408 Па (рис. 4), что значительно больше, чем при сварке пластин 19,5 Па и значительно меньше, чем при сварке труб 25,9 кПа.

Установленные закономерности воздействия формы изделия на магнитное поле сварочного тока целесообразно использовать для разработки новых способов односторонней однопроходной высокоскоростной сварки.

Односторонняя однопроходная высокоскоростная сварка хребтовых балок производится составным электродом с использованием магнитного поля сварочного тока [12] за счет пропускания внутри зетовых профилей тока, направление которого противоположно направлению сварочного тока в зетах. В результате создается магнитное поле противоположного направления и направленные вверх электромагнитные силы, которые удерживают жидкий металл от вытекания из ванны и обеспечивают качественное формирование обратного валика при односторонней однопроходной сварке на флюсовой подушке.

Дальнейшие исследования в данном направлении являются перспективными, так как позволяют разработать новые способы односторонней высокоскоростной сварки.

### ВЫВОДЫ

1. Установлена закономерность воздействия формы изделия на магнитное поле сварочного тока. При сварке хребтовых балок из зетовых профилей индукция магнитного поля возрастает более чем в 4 раза по сравнению со сваркой пластин вследствие концентрации силовых линий в полузамкнутом ферромагнитном теле зетов.

2. Закономерность распределения индукции магнитного поля в зетовых профилях аналогична распределению индукции в трубе, которая не изменяет направление по толщине, максимальное значение индукции достигается на середине толщины зетов, но значительно меньше, чем в трубе, вследствие увеличения магнитного сопротивления, так как хребтовая балка из зетовых профилей имеет полузамкнутый контур.

3. Односторонняя однопроходная высокоскоростная сварка составным электродом с использованием магнитного поля сварочного тока обеспечивает создание направленных вверх электромагнитных сил, удерживающих жидкий металл от вытекания из сварочной ванны, качественное формирование обратного валика на флюсовой подушке, повышение ударной вязкости сварных соединений, снижение энергоемкости процесса и себестоимости хребтовых балок.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Патон Б. Е. Сварка под флюсом при изготовлении труб большого диаметра / Б. Е. Патон, С. Л. Мандельберг // Автоматическая сварка. – 1968. – № 3. – С. 41–46.
2. Патон Б. Е. Магнитогидродинамические явления при электрической сварке и их использование / Б. Е. Патон, В. К. Лебедев // Новые проблемы сварочной техники. – Киев, 1964. – 78 с.
3. Лебедев В. К. Магнитогидродинамические явления при дуговой сварке / В. К. Лебедев // Техническая электромагнитная гидродинамика. – М. : Металлургия, 1965. – С. 32–38.
4. Гаген Ю. Г. Сварка магнитоуправляемой дугой / Ю. Г. Гаген, В. Д. Таран. – М. : Машиностроение, 1970. – 157 с.
5. Мандельберг С. Л. Влияние магнитного поля сварочного контура на форму швов, свариваемых внутри трубы / С. Л. Мандельберг, В. Е. Лопат // Автоматическая сварка. – 1962. – № 3. – С. 1–6.
6. Мандельберг С. Л. Магнитное управление дугой при сварке под флюсом / С. Л. Мандельберг // Автоматическая сварка. – 1962. – № 9. – С. 3–12.
7. Мандельберг С. Л. Магнитное взаимодействие дуг при двухдуговой трехфазной сварке / С. Л. Мандельберг // Автоматическая сварка. – 1966. – № 4. – С. 30–36.
8. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле / Л. А. Бессонов. – М. : Гардарики, 2001. – 316 с.
9. Зильберман Г. Е. Электричество и магнетизм / Г. Е. Зильберман. – М. : Наука, 1970. – 384 с.
10. Лесков Г. И. Электрическая сварочная дуга / Г. И. Лесков. – М. : Машиностроение, 1970. – 335 с.
11. Абрамович Г. Н. Теория турбулентных струй / Г. Н. Абрамович. – М. : Физматгиз, 1960. – 715 с.
12. Пат. 54852 А Україна, МПК В 23 К 9/18 Спосіб електродугового одностороннього зварювання труб / С. В. Щетинін, В. В. Кліманчук, Е. М. Шебанич.