

УДК 621.791.753.042

Щетинин С.В.*

**КОНЦЕНТРАЦИЯ ДУГИ ПРИ ОДНОСТОРОННЕЙ
ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ СВАРКЕ**

Установлена электромагнитная природа концентрации дуги при повышении скорости сварки и подтверждена электромагнитная теория образования подрезов. Разработан способ односторонней высокоскоростной сварки, обеспечивающий качественное формирование швов за счет регулирования магнитного поля дуги.

Ключевые слова: Сварочная дуга, магнитное поле, пинч-эффект, концентрация, односторонняя высокоскоростная сварка.

Щетинін С.В. Концентрація дуги при односторонньому високошвидкісному зварюванні. Встановлена електромагнітна природа концентрації дуги при підвищенні швидкості зварювання, підтверджена електромагнітна теорія утворення подрізів. Розроблено спосіб одностороннього високошвидкісного зварювання, який забезпечує якісне формування швів за рахунок регулювання магнітного поля дуги.

Ключові слова: Зварювальна дуга, магнітне поле, пінч-ефект, концентрація, одностороннє високошвидкісне зварювання

Shchetinin S.V. The arc concentration at one-sided high speed welding. The electromagnetic natural of arc concentration by welding speed increase was established and electromagnetic theory of cuts formation was confirmed. -Unilateral high speed method, which ensures quality weld formation at the expense arc magnetic field, was developed.

Keywords: Welding arc, magnetic field, pinch-effect, concentration, one-side high speed welding.

Постановка проблемы. Наиболее эффективным энерго- и материалосберегающим процессом при производстве труб для газо- и нефтепроводных магистралей является односторонняя высокоскоростная сварка, применение которой ограничено нарушением формирования швов в результате протекания жидкого металла и образования подрезов. Поэтому разработка энерго- и материалосберегающих процессов односторонней высокоскоростной сварки является важной научно-технической проблемой.

Анализ последних исследований и публикаций. Образование подрезов [1] объясняют перегревом жидкого металла [2], увеличением скорости охлаждения [3] и поверхностного натяжения [4, 5], отклонением дуги в хвостовую часть ванны [6], увеличением давления дуги [1, 7], нарушением равновесия металла [1] и движением жидкого металла в ванне [8]. Однако механизм образования подрезов полностью не установлен.

Цель статьи – изучение физической природы концентрации дуги при повышении скорости сварки и разработка способа односторонней высокоскоростной сварки составным электродом, обеспечивающим качественное формирование швов.

Изложение основного материала. Наиболее вероятно электромагнитная природа образования подрезов, согласно которой с увеличением скорости сварки усиливается охлаждение внешних слоев столба, электрическая проводимость которых резко падает, и электрический ток начинает протекать в более узком канале [9], в результате чего диаметр дуги уменьшается. Механизм сокращения диаметра полностью не установлен, и влияние диаметра дуги на магнитное поле не исследовано.

Для подтверждения электромагнитной теории образования подрезов и электромагнитной природы уменьшения диаметра дуги при повышении скорости сварки разработана модель и методика исследования влияния диаметра дуги на магнитное поле сварочного тока (рис.1, а), которая заключается в следующем. По прутку, диаметр которого изменяется по длине, пропускается ток величиной 2100А, и производятся измерения индукции магнитного поля тесламетром ЭМ4305. Разработанная методика позволяет установить закономерность воздействия диа-

* канд. техн. наук, Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь

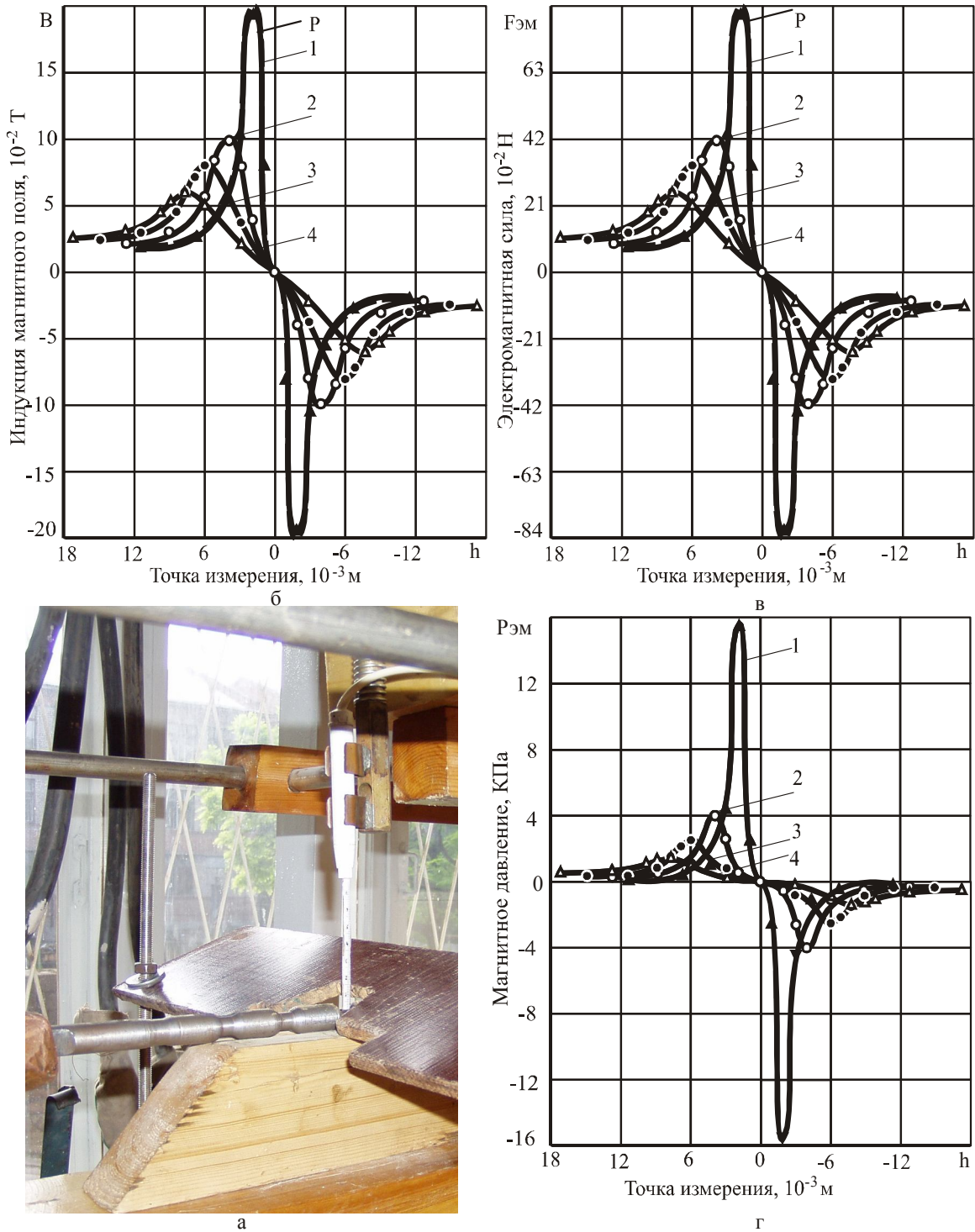


Рис.1 – Модель (а) и закономерность воздействия диаметра дуги на индукцию (б), электромагнитную силу (в) и магнитное давление (г). Величина тока 2100 А, диаметр дуги: кривые 1 – 4 · 10⁻³ м, 2 – 8 · 10⁻³ м, 3 – 12 · 10⁻³ м, 4 – 16 · 10⁻³ м

метра дуги при постоянной величине тока. Исследования проведены для диаметров 4·10⁻³ м, 8·10⁻³ м, 12·10⁻³ м и 16·10⁻³ м, характерных для диаметра сварочной дуги.

В результате установлено (рис.1 б, рис.2, а), что с уменьшением диаметра дуги индукция магнитного поля возрастает в соответствии с законом Био-Савара $B = \mu \frac{I}{2\pi R}$, согласно которому индукция прямо пропорциональна величине тока и обратно- пропорциональна периметру.

На оси дуги индукция равна нулю, при приближении к поверхности возрастает и дости-

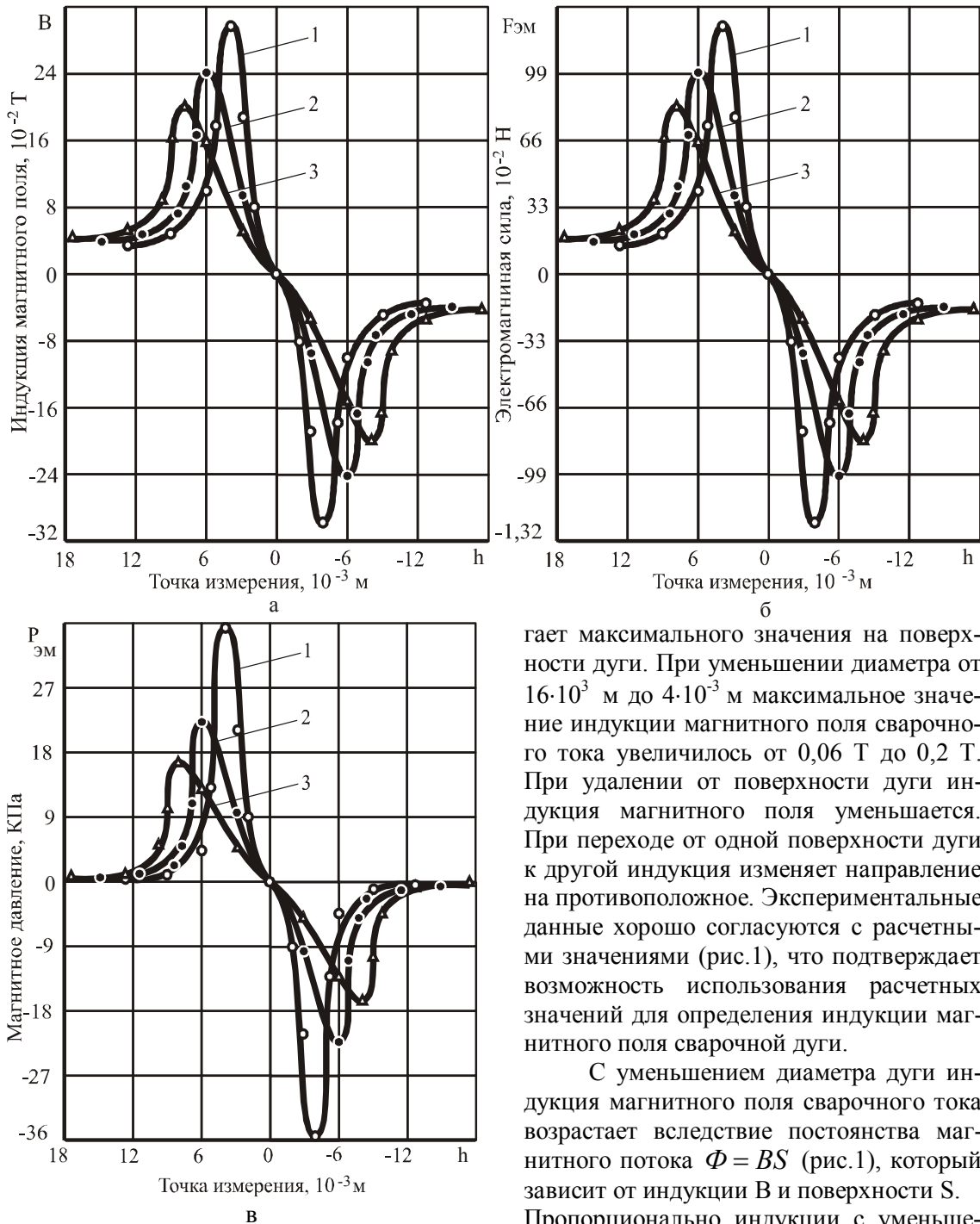


Рис.2 – Закономерность воздействия диаметра ферромагнитного прутка на индукцию магнитного поля (а), электромагнитную силу (б) и магнитное давление (в):
 1 – $8 \cdot 10^{-3}$ м; 2 – $12 \cdot 10^{-3}$ м; 3 – $16 \cdot 10^{-3}$ м

эффект и диаметр дуги.

На основании установленных закономерностей доказана электромагнитная природа уменьшения диаметра дуги, которая заключается в следующем. При увеличении скорости сварки вследствие охлаждения диаметр дуги уменьшается, в результате повышается индукция, в квадратичной зависимости возрастает магнитное давление и пинч-эффект, под действием которого диаметр сокращается. Идет цепная реакция. Незначительное уменьшение диаметра дуги вследствие охлаждения и снижения электропроводности внешних слоев повышает индукцию и

гает максимального значения на поверхности дуги. При уменьшении диаметра от $16 \cdot 10^3$ м до $4 \cdot 10^{-3}$ м максимальное значение индукции магнитного поля сварочного тока увеличилось от 0,06 Т до 0,2 Т. При удалении от поверхности дуги индукция магнитного поля уменьшается. При переходе от одной поверхности дуги к другой индукция изменяет направление на противоположное. Экспериментальные данные хорошо согласуются с расчетными значениями (рис.1), что подтверждает возможность использования расчетных значений для определения индукции магнитного поля сварочной дуги.

С уменьшением диаметра дуги индукция магнитного поля сварочного тока возрастает вследствие постоянства магнитного потока $\Phi = BS$ (рис.1), который зависит от индукции В и поверхности S.

Пропорционально индукции с уменьшением диаметра дуги возросла электромагнитная сила от 0,252 Н до 0,84 Н (рис.1, в) и повысилась с 1,433 кПа до 15,9 кПа магнитное давление $P_M = \frac{B^2}{2\mu}$ [10]

(рис. 1, г), которое определяет пинч-

в квадратичной зависимости магнитное давление, которое сжимает дугу.

Сварочный ток протекает по ферромагнитной проволоке, которая усиливает магнитное поле, что подтверждено при проведении экспериментов согласно разработанной методике. Для измерения индукции на поверхности ферромагнитного прутка разработана модель с профрезерованной канавкой, которая позволяет приблизить щуп к поверхности прутка.

Как установлено (рис.2), под действием ферромагнитной массы индукция магнитного поля увеличилась более чем в 2 раза и возросла для диаметра $16 \cdot 10^{-3}$ м с 0,06 Т до 0,2 Т, для диаметра $12 \cdot 10^{-3}$ м – с 0,08 Т до 0,24Т и диаметра $8 \cdot 10^{-3}$ м – с 0,1 до 0,3 Т, вследствие концентрации силовых линий в обладающем большой магнитной проницаемостью ферромагнетике.

Закономерность влияния диаметра на магнитное поле для ферромагнетика остается такой же, как и для парамагнетика. С уменьшением диаметра ферромагнетика вследствие концентрации индукция магнитного поля возрастает.

Пропорционально индукции увеличилась электромагнитная сила (рис.2 б) для диаметра $16 \cdot 10^{-3}$ м с 0,252 Н до 0,84 Н, для диаметра $12 \cdot 10^{-3}$ м – с 0,336 Н до 1 Н и для диаметра $8 \cdot 10^{-3}$ м – с 0,42 до 1,26 Н. В квадратичной зависимости от индукции возросло магнитное давление (рис.2 в) для диаметра $16 \cdot 10^{-3}$ м с 1,433 кПа до 15,024 кПа, для диаметра $12 \cdot 10^{-3}$ м – с 2,548 кПа до 15,924 кПа и для диаметра $8 \cdot 10^{-3}$ м – с 3,98 кПа до 35,828 кПа.

На основании установленных закономерностей разработан способ односторонней высокоскоростной сварки составным электродом, обеспечивающим движение дуги по торцу электрода в продольном и поперечном направлениях, увеличение площади, по которой движется дуга, снижение индукции магнитного поля и качественное формирование швов при односторонней высокоскоростной сварке.

Установленные закономерности воздействия диаметра дуги на магнитное поле сварочного тока и разработанный способ могут быть использованы при сварке труб.

Дальнейшие исследования в данном направлении являются перспективными, так как позволяют разработать новые энерго- и материалосберегающие процессы односторонней высокоскоростной сварки труб для газо- и нефтепроводных магистралей.

Выводы

1. Расчетно-экспериментальным путем установлена электромагнитная природа концентрации дуги при повышении скорости сварки и закономерность увеличения магнитного поля сварочного тока при уменьшении диаметра дуги, на основании чего подтверждена электромагнитная теория образования подрезов.
2. Ферромагнитная проволока повышает индукцию магнитного поля и электромагнитную силу более чем в 2 раза. При этом магнитное давление возрастает более чем в 4 раза. Закономерность воздействия диаметра дуги на магнитное поле и концентрацию остается неизменной.
3. Концентрация дуги под действием собственного магнитного поля повышает эффективность и обеспечивает осуществление процесса электродуговой сварки.
4. Односторонняя высокоскоростная сварка составным электродом обеспечивает движение дуги по торцу электрода в продольном и поперечном направлениях, увеличение площади, по которой движется дуга, снижение индукции магнитного поля и направленных вниз электромагнитной силы и магнитного давления, качественное формирование швов на флюсовой подушке, снижение материал- и энергоемкости процесса.

Список использованных источников:

1. Патон Б. Е. Некоторые особенности формирования швов при сварке с повышенной скоростью / Б.Е. Патон, С. Л. Мандельберг, В. Г. Сидоренко // Автоматическая сварка. – 1971. – № 8. – С. – 6.
2. Рыкалин Н.Н. Расчет тепловых процессов при сварке /Н.Н.Рыкалин.–М.:Машгиз, 1951.–296с.
3. Wealleans J.W. Undercutting and weld bead turbulence in TIG-welding / J.W. Wealleans, P.Adams // Welding and metal Fabrication. – June. – 1969. – P.225 – 257.
4. Ando K. Studies on anode and cathode energy of Tig. Arc / K. Ando, J. Nishikawa // International Institute of Welding. Doc., 212 – 158 – 68, 1968. – 6p.

5. Ishizaki K. Теория поверхностного натяжения при дуговой сварке. Проплавливающее действие дуги /K .Ishizaki , Y. Kalibe // Есецу гаккайси. J. Japan Weld Soc. – 1966. – 35, № 2. – Р. 89 – 98.
6. Тиходеев Г.М. Энергетические свойства электрической сварочной дуги / Г.М. Тиходеев. – М.– Л.: Изд-во АН СССР, 1961. – 254с.
7. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением / А.А. Ерохин. – М.: Машиностроение, 1973. – 448 с.
8. Гулаков С.В. Влияние переноса тепла потоком жидкого металла на форму сварочной ванны / С.В. Гулаков, Б.И. Носовский // Сварочное производство. – 1982. – №10. – С.2 – 3.
9. Грановский В.Л. Электрический ток в газе. Установившийся ток / В.Л. Грановский. – М.: Наука, 1971. – 543 с.
10. Абрамович Г.П. Прикладная газовая динамика / Г.П. Абрамович. – М.: Наука, 1969. – 824с.

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

Статья поступила 14.04.2010