

УДК 621. 791

Б. В. СИТНИКОВ, канд. техн. наук

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА СВАРКИ ВОЛЬФРАМОВЫМ
ЭЛЕКТРОДОМ В АРГОНЕ НА СИЛОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ДУГИ И
ФОРМИРОВАНИЕ ШВА**

Приведены сведения о влиянии параметров режима автоматической сварки вольфрамовым электродом в аргоне на силовое воздействие дуги и формирование шва которые могут быть использованы для повышения качества соединений при сварке с повышенной скоростью.

Наведено відомості про вплив параметрів режиму автоматичного зварювання вольфрамовим електродом в аргоні на силовий вплив дуги й формування шва які можуть бути використані для підвищення якості з'єднань при зварюванні з підвищеною швидкістю.

Общая постановка проблемы

Одним из путей снижения энергоёмкости, сокращения длительности пребывания металла в области неблагоприятных температур, уменьшения остаточных напряжений и деформаций, а также повышения производительности при изготовлении металлических конструкций, является сварка с повышенной скоростью. Однако увеличение скорости дуговой сварки выше определенного значения приводит к ухудшению формирования швов, проявляющемуся, в первую очередь, в образовании подрезов и несплавлений. Указанные дефекты имеют место практически при всех способах дуговой сварки, опасность их возникновения возрастает с увеличением тока и скорости сварки. [1]

Анализ проведенных исследований

Изучению образования подрезов уделено большое внимание [1–8]. Однако природа их возникновения полностью не изучена. Б. Е. Патон и С. Л. Мендельберг [1] полагают, что при дуговой сварке формирование швов определяется сложным комплексом явлений, среди которых ведущее место занимает соотношение сил действующих в сварочной ванне. Авторы работ [2, 3] связывают образование подрезов с увеличением скорости охлаждения жидкого металла, обусловленным интенсивным теплоотводом. К. Андо [4] и К. Исидзаки [5] считают, что подрезы образуются вследствие увеличения поверхностного натяжения в момент затвердевания жидкого металла. С. В. Гулаков и Б. И. Носовский [6] утверждают, что с повышением скорости сварки под действием дуги на тонкую прослойку металл перемещается только в хвостовую часть сварочной ванны. Отсутствие поперечной конвекции приводит к образованию подрезов. В работах [7, 8] образование подрезов объясняется увеличением давления дуги. Изучая влияние материала и температуры предварительного подогрева свариваемого образца на критическую величину отношения тока к скорости сварки, при которой образуются подрезы, авторы работ [9] приходят к выводу о том, что образование подрезов определяется силой давления дуги, массой металла сварочной ванны, физическими свойствами основного металла и скоростью его охлаждения. Однако тут же подчеркивается, что общая форма критических кривых ток/скорость сварки для различных материалов наводит на мысль, что явление образования подрезов может быть связано скорее с природой дуговой сварки, чем исключительно со свойствами свариваемого металла. Поэтому авторы считают, что наиболее перспективным путем ликвидации подрезов является уменьшение силы давления дуги на расплав сварочной ванны. Полагают [10], что предельная скорость сварки при которой нарушается качественное формирование шва определяется соотношением диаметров теплового d_t и силового d_c пятен дуги. За d_t принимали максимальную ширину сварочной ванны, которую можно определить экспериментально, за d_c – удвоенный радиус от оси дуги в

плоскости анода, очерчивающий

область, внутри которой давление дуги выше определенного P_{min} . При $dt/dc > 1$ под действием давления дуги металл отжимается к стенкам, обеспечивая смачивание и подогревание кромок ванны, что значительно снижает вероятность появления подрезов. При $dt/dc < 1$ давление по краям ванны столь велико, что оттесняет расплав к дну ванны, оголяя боковые стенки. Это приводит к быстрому их охлаждению и несплавлению (образованию подрезов) при последующем заполнении хвостовой части ванны заторможенным потоком жидкого металла. Следовательно, значение $dt/dc = 1$ критическое и может быть использовано в качестве критерия формирования шва. По мнению авторов [10] для повышения предельной скорости сварки необходимо изыскать технологические приёмы, позволяющие получать ширину ванны большую чем размер зоны силового воздействия дуги ограниченной P_{min} . Таким образом, задача повышения производительности дуговой сварки должна ставиться следующим образом: для повышения предельных скоростей сварки необходимо разработать технологические приемы, позволяющие регулировать взаимоотношение между тепловым и силовым пятнами источника энергии [10]. Существующие технологические способы, направленные на повышение предельной скорости сварки, соответствуют приведенным рассуждениям. Так, например, предварительный подогрев позволяет увеличить ширину шва при неизменном силовом воздействии дуги [9].

Формирование целей статьи

Настоящая работа посвящена исследованию влияния параметров режима автоматической сварки вольфрамовым электродом в аргоне на силовое воздействие дуги и формирование шва, применительно к проблеме повышения качества соединений при сварке с повышенной скоростью.

Основной материал

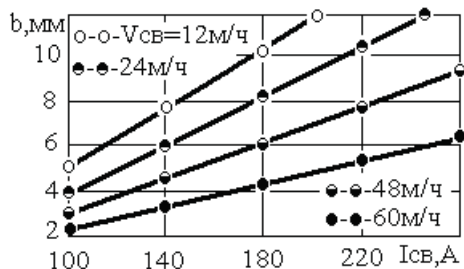
Эксперименты по изучению влияния параметров режима автоматической сварки вольфрамовым электродом в аргоне на формирование шва проводили на пластинах размером 100x200x4 мм из стали 12X18H10T. Сварку образцов выполняли на постоянном токе прямой полярности в нижнем положении вольфрамовым электродом марки ЭВЛ (ГОСТ 23949-80) диаметром 4 мм в аргоне высшего сорта (ГОСТ 10157-79) на автомате АДСВ-2М. За диаметр теплового пятна dt дуги принимали максимальную ширину шва b которую определяли по поперечным макрошлифам. Измерения производили с помощью инструментального микроскопа при 12-кратном увеличении с точностью до 0,1 мм.

Диаметр пятна давления дуги определили манометрическим методом [11]. Измерения проводили при следующих условиях: ток дуги 140 А, длина дуги 2 мм, диаметр электрода 4 мм, угол его заточки 60°, диаметр притупления 0,5 мм, расход аргона 9 л/мин, скорость анализа 0,5 мм/с, диаметр стобирующего канала анализатора давления 0,4 мм, постоянная времени анализатора 0,01 с. Давление оценивали по микроманометру с ценой наименьшего деления 2 н/м.

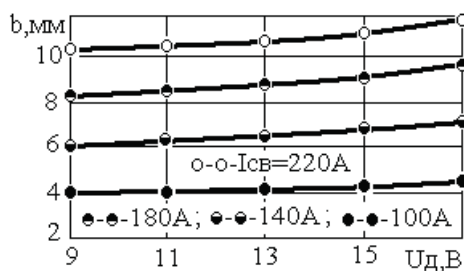
Продольное магнитное в зоне сварки создавалось соленоидом с ферромагнитным сердечником, установленным на сварочной горелке соосно с электродом. Для обмотки соленоида использовался медный водоохлаждаемый провод (ПЭВ) диаметром 1,2 мм, который наматывался послойно с межслойной изоляцией, выполненной из фторопласта. Величина индукции фиксировалась миллитеслометром Ф-4356 в точке, лежащей в плоскости зеркала ванны на оси электрода при удалении торца сопла от свариваемого изделия равном 8 мм. Магнитное поле при сварке имело «прямую полярность», т.е. было направлено к свариваемому образцу. При этом радиальная составляющая магнитного поля составляла менее 3 %.

Фотокинографирование процессов, протекающих в зоне сварки, проводили на чёрно-белую негативную плёнку кинокамерой СКС-4М. Подсветку и съёмку зоны сварки осуществляли через специальные вырезы в корпусе горелки по методике приведенной в работе [12].

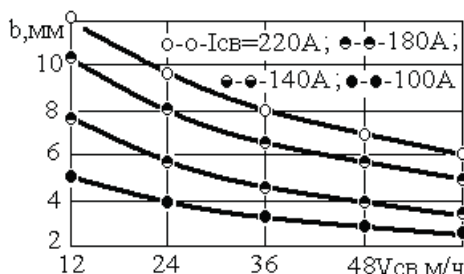
Результаты изучения влияния параметров режима автоматической сварки вольфрамовым электродом в аргоне на ширину шва приведены на рис. 1. Как видно из приведенных зависимостей, возрастание сварочного тока приводит к заметному увеличению ширины шва (рис.1,а). Так, например, увеличение сварочного тока со 100 до 180А при скорости сварки равной 12м/ч, приводит к увеличению ширины шва в 2,1 раза, при скорости сварки равной 60м/ч в 1,8 раза и т. п.



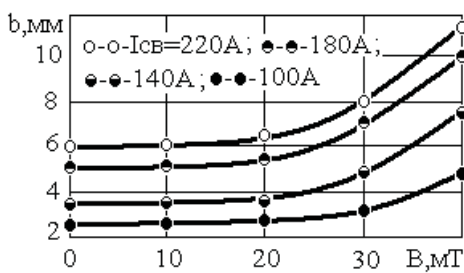
а)



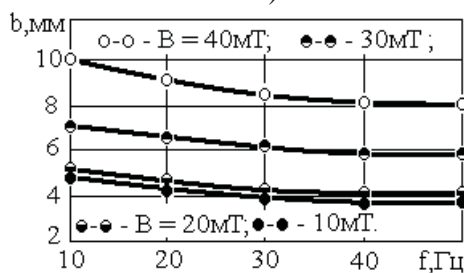
б)



в)



г)



д)

Рис.1. Влияние параметров режима сварки на ширину шва :а) – $U_d = 11$ В, $V = 0$; б) – $V_{св} = 24$ м/ч, $V = 0$; в) – $U_d = 11$ В, $V = 0$; г) – $V_{св} = 60$ м/ч, $f = 10$ Гц; д) – $V_{св} = 60$ м/ч, $I_{св} = 180$ А

Однако, поскольку давление дуги пропорционально квадрату сварочного тока, его увеличение может нарушить соотношение сил действующих в сварочной ванне и привести к образованию подрезов [1].

Напряжение на дуге меньше чем ток влияет на ширину шва (рис. 1, б), однако, как показали дополнительные исследования поперечных макрошлифов, существенно сказывается на ширине проплавления, особенно при токах 100–140 А. Площадь проплавления при повышении напряжения на дуге более 9–11 В сначала уменьшается, но при $U_d > 13–15$ В снова возрастает. Вероятно, это связано с тем, что небольшое увеличение U_d заметно снижает эффективный к. п. д. и дуги и, несмотря на повышение общей её мощности, количество тепла, вводимого в шов, уменьшается [13]. При дальнейшем увеличении напряжения рост электрической мощности дуги происходит несколько быстрее, чем снижение η , что и приводит к некоторому увеличению площади проплавления и ширины шва.

Ширина шва связана со скоростью сварки обратной зависимостью. Увеличение скорости сварки приводит к уменьшению ширины шва (рис. 1 в), что, очевидно, обусловлено снижением погонной энергии и уменьшением подвижности дуги при повышении скорости её перемещения [13]. Указанная закономерность сохраняется во всем диапазоне используемых токов.

Перспективным способом, позволяющим осуществлять дополнительное управление формированием шва путём воздействия как на подвижное состояние расплава так и на форму и состояние дуги, является сварка во внешнем продольном магнитном поле (ПМП). Очевидно в этом случае силу давления дуги, распределение её интенсивности и концентрацию энергии в пятне нагрева, а следовательно и формирование шва, можно регулировать путём изменения индукции B и частоты f продольного магнитного поля, которые приобретают в данном случае значение параметров режима сварки. О влиянии ПМП на дугу и металл сварочной ванны к настоящему времени накоплен достаточно обширный экспериментальный и теоретический материал [14, 15]. Однако при этом обращают на себя внимание противоречия как в результатах экспериментов, так и в теоретическом объяснении наблюдаемых эффектов. Так, одни исследователи [14] наблюдали увеличение сечения столба дуги в ПМП, другие [15], наоборот, зафиксировали устойчивое стягивание столба дуги к её оси при достижении определённой величины индукции ПМП. Соответственно, авторы работ [14], [15] говорят о различном влиянии ПМП на концентрацию энергии в пятне нагрева и, как следствие, процесс формирования шва. Результаты экспериментов показали, что при сварке вольфрамовым электродом в аргоне изменение индукции B знакопеременного ПМП с частотой $f = 10$ Гц в пределах 20 мТ оказывает в целом малое влияние на геометрию шва. Однако дальнейшее её увеличение ($B > 20$ мТ) сопровождается существенным увеличением ширины шва (рис. 1 г), что, очевидно, является результатом «размытия» боковых кромок ванны потоками перегретого металла (рис. 2) и перераспределения плотности тока в анодном пятне. Так, например, при $I_{св} = 100$ А, увеличение магнитной индукции до 40 мТ приводит к увеличению ширины шва в 1,7 раза, при $I_{св} = 180$ А в 1,9 раза и т. п. Исследования показали [14], что возникающие в магнитном поле направленные потоки расплава под действием ponderomotorных электромагнитных сил могут влиять на температуру сварочной ванны и, как следствие, на её геометрию. Возникающий в расплаве реверс объёмных электромагнитных сил с повышением частоты ПМП до определённого предела практически исключает

направленные перемещения расплава под действием электромагнитных сил, так как силы за время возмущения не успевают существенно превысить инерционность расплава [15]. Следовательно, магнитогидродинамические силы при повышенной частоте поля вряд ли могут существенно повлиять на изменение температуры в ванне и на её геометрию. Можно предположить, что изменение ширины шва в этом случае (рис. 1 д) связано лишь с изменением тепловых характеристик дуги [16].

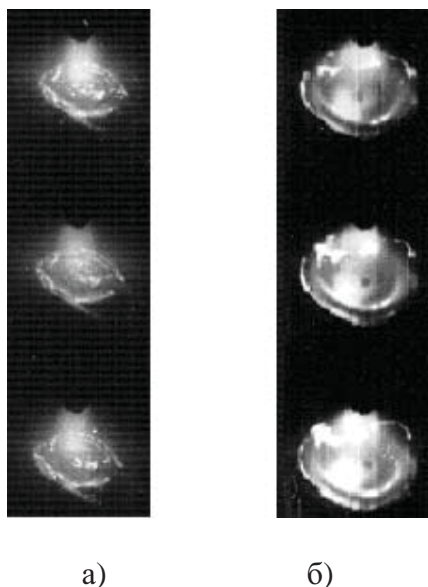


Рис. 2. Фрагменты скоростной киносъемки процессов, протекающих в зоне сварки: $V_{св} = 60$ м/ч; $I_{св} = 180$ А; скорость съемки – 500 кадр/с; а) – $B = 0$; б) – $B = 40$ мТ.

Исследования влияния ПМП на газодинамическое давление дуги методом стробирующего отверстия показали, что в зависимости от его индукции распределение интенсивности силы давления сварочной дуги постоянного тока с вольфрамовым катодом плавно переходит от экспоненциального к кольцеобразному и практически не определяется величиной её тока. При этом увеличение индукции ПМП до 20 мТ приводит к уменьшению диаметра силового пятна дуги, а затем (при $B > 20$ мТ) к его росту до своего начального значения при $B = 0$ (рис 3). Таким образом, при сварке

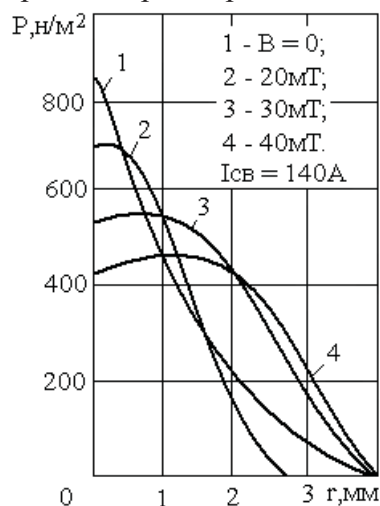


Рис. 3. Радиальное распределение давления дуги с вольфрамовым катодом в аргоне

вольфрамовым электродом в аргоне для выполнения неравенства $dm/dc > 1$ и, как следствие, повышения предельной скорости сварки целесообразность использования ПМП очевидна. Действительно, как следует из зависимостей, приведенных на рис. 1г, и рис. 3, при фиксированных значениях сварочного тока ($I_{св} = 140$ А), скорости сварки ($V_{св} = 60$ м/ч) и частоты реверсирования ПМП ($f = 10$ Гц) соотношение dm/dc при различных индукциях ПМП приобретет следующие значения: при $B = 0$ - 0,87; $B = 20$ мТ - 1,28; $B = 30$ мТ - 1,26, $B = 40$ мТ - 1,95. Соответственно в первом случае ($B=0$) шов формировался с подрезами, а при $B \geq 20$ мТ без подрезов (рис. 4).

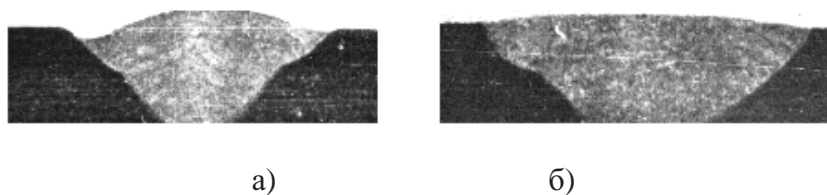


Рис.4.Формирование швов при сварке стали 12Х18Н10Т вольфрамовым электродом в аргоне :а) - $B=0$; б) - $B=30$ мТ.

Выводы

1. Радиальное распределение давления дуги постоянного тока с вольфрамовым катодом в аргоне с увеличением индукции ПМП от нуля до 20 мТ плавно переходит от экспоненциального к кольцеобразному с уменьшением диаметра силового пятна . Последующее повышение индукции ПМП до 40 мТ приводит к увеличению диаметра силового пятна дуги до своего начального значения при $B=0$.

2. Изменение индукции знакопеременного ПМП в пределах 20 мТ оказывает в целом малое влияние на геометрию шва. Последующее повышение индукции ПМП до 40 мТ сопровождается существенным увеличением ширины шва что, очевидно, является результатом «размытия» боковых кромок ванны потоками перегретого металла и перераспределения плотности тока в анодном пятне.

3. При сварке в ПМП вольфрамовым электродом в аргоне появляется дополнительный фактор регулирования размеров и формы шва , что позволяет повысить предельную скорости .

Список литературы

1. Патон Б. Е., Мандельберг С. Л., Сидоренко Б. Г. Некоторые особенности формирования швов при сварке с повышенной скоростью//Автоматическая сварка. – 1971. – № 8. – С. 1–6.
2. Wealleans J. W., Adams P. Undercutting and weld bead turbulence in TIG-welding. \ Weld and Metal Fabr. – 1969. – June. P. 225–257.
3. Savage W. E., Lundin C. D., Aronson A. H. Weld metal solidification mechanics. \ Welding J. – 1965. – 44 № 4. –P. 175–181.
4. Andoh K., Nishikawa J. Studies on and cathode energy of TIG. Arc. S. L, [1968]. – 6 p. – (Intern. Just. Of Welding; Doc. 212 – 158 – 67)
5. Ishizaki K., Kalibe Y. Теория поверхностного натяжения при дуговой сварке. Проплавающее действие дуги. //Ёсецугаккайси. – 1966. – 35, № 2. P. 88–98.
6. Гулаков С. В., Носовский Б. И. Влияние переноса тепла потоком жидкого металла на форму сварочной ванны.// Сварочное производство. – 1982. – №10. – С. 2–3.
7. Ерохин А. А., Букаров В. А., Ищенко Ю. С. Влияние угла заточки вольфрамового электрода на образование подрезов и газовых полостей при сварке. // Сварочное производство. – 1972. – № 5. – С. 20–21.
8. Потехин В. П. Роль давления сварочной дуги в образовании подрезов. // Сварочное производство. – 1986. – № 6. – С. 12–13.
9. Allen B. An analysis of the basic requirements for the automatic TIG-welding of pipe butt joints//Proc. Pipe Weld. Conf., 1979 . Abington, 1980, 59–67. Discuss., P. 207–212.
10. Чернышов Г. Г., Ковтун В. Л. Влияние теплового потока и давления дуги на предельную скорость сварки //Сварочное производство. – 1985. – № 2.– С.14–15.
11. Суздаев И. В. Явно Э. И. Распределение силового воздействия сварочной дуги по поверхности активного пятна в зависимости от длины дуги и формы неплавящегося электрода //Сварочное производство. – 1981. – № 11. – С.11–13.
12. Ильенко Н. А., Сидоренко В. Ф., Кусков Б. Ф. Исследование процессов

сварки при помощи фотокинографирования в отражённом потоке света//Сварочное производство. –1978. – № 6. – С. 50–51.

13. Рыкалин Н. Н. Расчёты тепловых процессов при сварке. – М.: Машгиз, 1951. – 296 с.

14. Черныш В. П., Кузнецов В. Д., Брискман А. Н., Шеленков Г. М. Сварка с электромагнитным перемешиванием. – К.: Техніка, 1983. – 127 с.

15. Биржев В. А., Болдырев А. М. О влиянии продольного магнитного поля на сварочную дугу прямой полярности//Автоматическая сварка. – 1982. – № 1. – С. 17–19.

16. Ситников Б. В. Влияние продольного магнитного поля на сварочную дугу с вольфрамовым катодом в аргоне//Восточно-Европейский журнал передовых технологий. –2005. – № 5/2 (17). – С. 49–51.

EFFECT OF PARAMETERS OF CONDITIONS OF TUNGSTEN ELECTRODE WELDING IN ARGON ON FORCE ACTION OF THE ARC AND SEAM FORMATION

B. V. SITNIKOV, Candidate of Engineering

The paper gives data on the effect of parameters of conditions of automatic tungsten electrode welding in argon on force action of the arc and seam formation that can be used to improve the quality of joints in high-speed welding.

Поступила в редакцию 18.09.2013 г.