



ВЛИЯНИЕ УПРАВЛЯЮЩЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ВОЛЬФРАМОВЫЙ ЭЛЕКТРОД ПРИ СВАРКЕ ТИТАНА В УЗКИЙ ЗАЗОР

В. Ю. БЕЛОУС, инж., **В. П. ПРИЛУЦКИЙ**, канд. техн. наук, **В. Н. ЗАМКОВ**, д-р техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Установлено, что при использовании сварочной горелки, в которой защитное сопло и цанга располагаются над зазором, а в зазор вводится только вольфрамовый электрод, управляющее магнитное поле оказывает на него существенное силовое воздействие. Это обстоятельство необходимо учитывать наряду с токовой нагрузкой для обеспечения надежной работы электрода.

Ключевые слова: сварка ТИГ, узкий зазор, неплавящийся электрод, магнитное поле, магнитоуправляемая дуга, деформация электрода, диаметр электрода

Сварка в узкий зазор является наиболее эффективным способом дуговой сварки металлических материалов средней и большой толщины. Она обеспечивает уменьшение количества проходов при выполнении сварного шва и объема наплавленного металла, снижает расход присадочной проволоки, упрощает подготовку кромок под сварку. Для титана, учитывая его химическую активность и высокую стоимость титановой проволоки, такие технологические преимущества сварки в узкий зазор особенно важны. Аргонодуговую сварку титановых сплавов в узкий зазор, как правило, выполняют неплавящимся вольфрамовым электродом [1–3]. При этом возможны две схемы защиты зоны сварки инертным газом.

При осуществлении сварки по первой схеме в зазор вводится вольфрамовый электрод вместе с цангой и защитным соплом, а по второй — только один вольфрамовый электрод, а защитное сопло и цанга располагаются над зазором [2]. Оба варианта имеют свои преимущества и недостатки. Применение первой схемы приводит к увеличению ширины зазора и, следовательно, снижению эффективности процесса сварки. При этом, однако, значительно уменьшается тепловая нагрузка на электрод, благодаря чему облегчаются условия и возрастает ресурс его работы. В случае использования второй схемы ширина зазора невелика и зависит в основном от диаметра вольфрамового электрода, но условия его работы значительно усложняются. Так, например, при сварке плит титана толщиной до 100...110 мм вылет вольфрамового электрода составляет $L = 160$ мм [2]. По этой причине важно дать оценку надежности работы электрода в этих условиях.

В ходе выполнения предварительных исследований с целью выбора диаметра вольфрамового электрода при сварке титана в узкий зазор установлено, что при использовании электрода диаметром 3 мм управляющее переменное магнитное

поле (частота $\nu = 10$ Гц, магнитная индукция в зоне дуги $B = 9$ мТл) вызывает поперечные колебания не только сварочной дуги, но и самого электрода. Это послужило началом серии экспериментов по изучению поведения вольфрамовых электродов при сварке в узкий зазор магнитоуправляемой дугой. Для экспериментов были взяты вольфрамовые электроды марки ЭВИ-2 диаметром 3, 4 и 5 мм с одинаковой формой заточки.

При таком способе сварки вольфрамовый электрод представляет собой проводник с током, помещенный в переменное магнитное поле (рис. 1). И естественно было бы предположить, что колебания электрода являются результатом воздействия на него силы Ампера. Как известно, ее значения зависят от тока в проводнике и магнитной индукции внешнего магнитного поля, а в данном случае от сварочного тока и магнитной индукции управляющего магнитного поля, т. е. от технологических параметров процесса сварки. Для того чтобы установить применимость вольфрамового электрода того или иного диаметра для сварки в узкий зазор, необходимо определить зависимость пространственных колебаний электрода от этих параметров.

Распределение индукции управляющего переменного магнитного поля вдоль оси электрода находили экспериментальным путем. Для этого определяли среднеквадратические значения радиальной составляющей индукции. Измерения выполняли тесламетром 43205 с помощью первичного

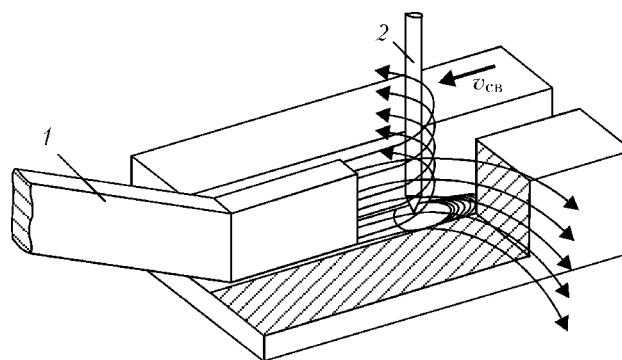


Рис. 1. Схема сварки в узкий зазор магнитоуправляемой дугой: 1 — магнитопровод; 2 — электрод

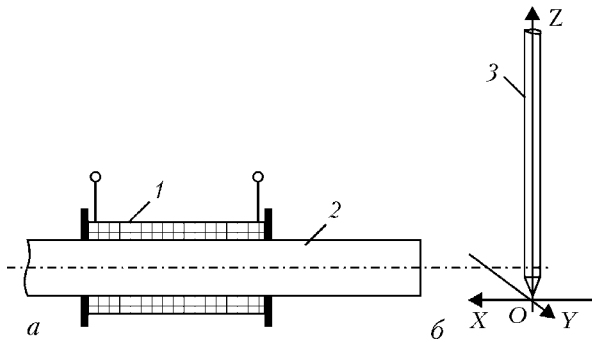


Рис. 2. Схема взаимного расположения магнитопровода (а) и электрода (б) при измерении индукции управляющего магнитного поля: 1 – соленоид; 2 – магнитопровод; 3 – электрод

измерительного преобразователя ПИП-РАД, представляющего собой плоский щуп. Магнитную индукцию измеряли в осевой плоскости электрода ZOX (рис. 2), начиная от торца ($Z = 0$) и заканчивая в месте выхода электрода из охлаждаемой цанги ($L = 160$ мм). Результаты измерений представлены на рис. 3. Поскольку торец электрода расположен на одном уровне с нижним краем магнитопровода, здесь наблюдается некоторый спад магнитной индукции. Ее максимум ($B = 10,1$ мТл) находится напротив геометрического центра торца магнитопровода (рис. 2), где расстояние от магнитопровода до электрода минимальное.

Наблюдение за электродом в процессе сварки осуществляли с помощью специальной оптической системы, позволяющей выполнять его видеосъемку при горении дуги. Эксперименты показали, что поперечные колебания вольфрамового электрода под влиянием управляющего магнитного поля имеют место даже тогда, когда значение сварочного тока намного меньше максимально допустимого для электрода данного диаметра. Так, например, для электрода марки ЭВИ-2 диаметром 3 мм допустимая токовая нагрузка составляет 320 А, однако поперечные колебания электрода с амплитудой 0,4 мм были зафиксированы уже при сварочном токе $I_{св} = 150$ А. При этом электрод осуществляет колебания поперек разделки с частотой, равной частоте реверсирования управляющего магнитного поля. Следует отметить, что с увеличением сварочного тока (при прочих равных условиях) значения магнитной индукции, вызывающей упругую деформацию (колебания) вольфрамового электрода, снижаются (рис. 4).

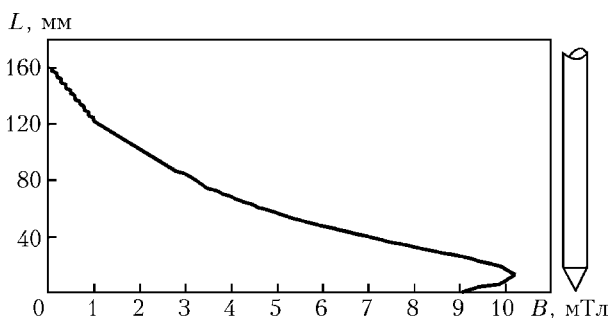


Рис. 3. Распределение среднеквадратического значения магнитной индукции B управляющего магнитного поля в плоскости ZOX вдоль вольфрамового электрода

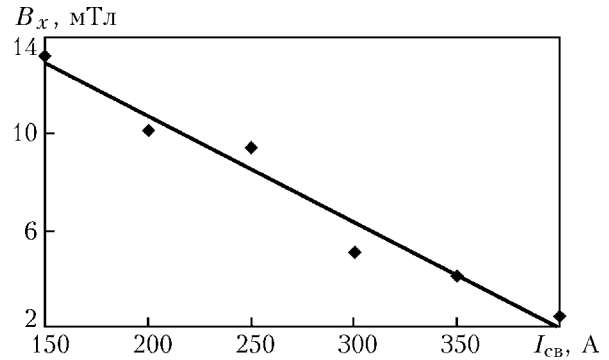


Рис. 4. Изменение компоненты магнитной индукции B_x , вызывающей колебания торца электрода с амплитудой 0,4 мм, при различных значениях сварочного тока $I_{св}$

При замене переменного магнитного поля постоянным или импульсным магнитным полем, т. е. при отсутствии смены полюсов электромагнита, наблюдается не колебание электрода, а его постепенное искривление (пластическая деформация), происходящее вплоть до момента касания одной из стенок зазора (в зависимости от направления магнитной индукции).

Обнаружено, что, помимо упругой и пластической деформации в поперечном направлении (поперек оси шва), электрод изгибается и в направлении магнитопровода. Причем это происходит вне зависимости от направления вектора магнитной индукции. Для выяснения причины деформации электрода в продольном направлении определяли магнитную индукцию вдоль оси Y (рис. 2). Измерения показали, что во всех точках на оси Z , магнитная индукция в направлении оси Y составляет $B_y = 0$ (рис. 5). Поэтому, когда электрод находится в вертикальном положении, сила Ампера действует на него только в плоскости ZOY , перпендикулярной оси шва. Как только электрод отклоняется от вертикальной оси, возникает дополнительная составляющая силы Ампера \vec{F}_y . Направление ее действия (при прочих равных условиях) зависит от направления \vec{B}_y (рис. 6). Сила \vec{F}_y отклоняет электрод в направлении магнитопровода в тот момент, когда он под действием со-

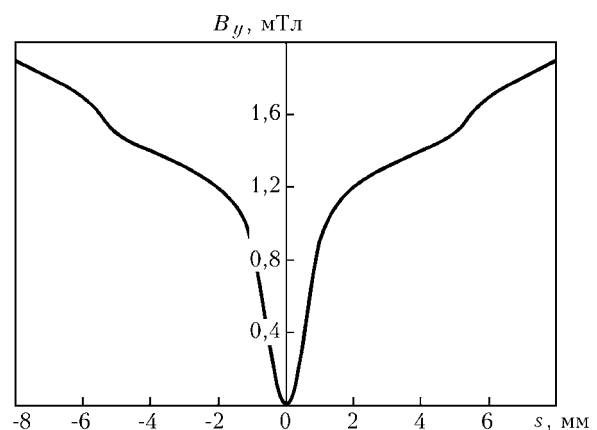


Рис. 5. Распределение магнитной индукции B_y управляющего магнитного поля в плоскости ZOY (s – расстояние от оси шва)

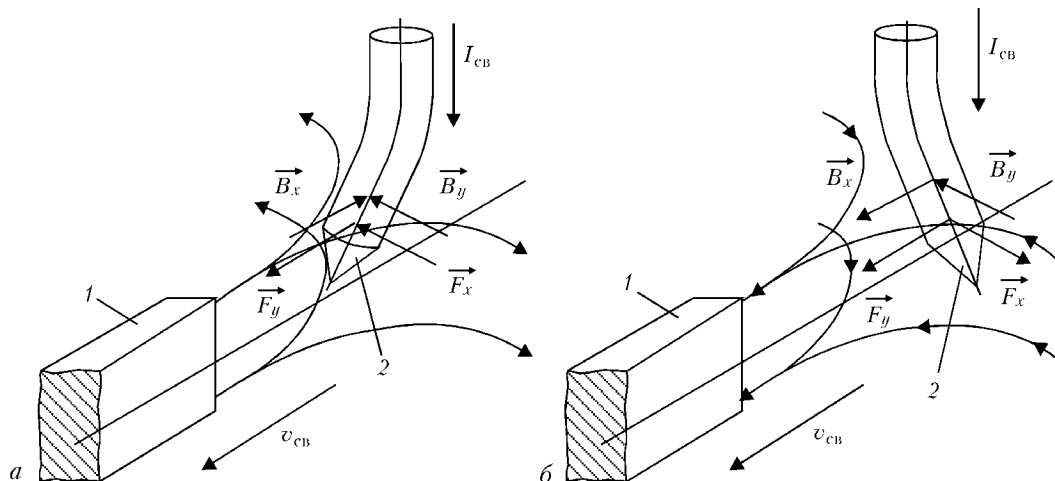


Рис. 6. Направление индукции управляющего магнитного поля и силы Ампера при поперечных колебаниях электрода в его крайних левом (а) и правом (б) положениях: 1 — магнитопровод; 2 — электрод; B_x, B_y — компоненты магнитной индукции соответственно в плоскостях ZOX и ZOY ; F_x, F_y — компоненты силы Ампера в тех же плоскостях

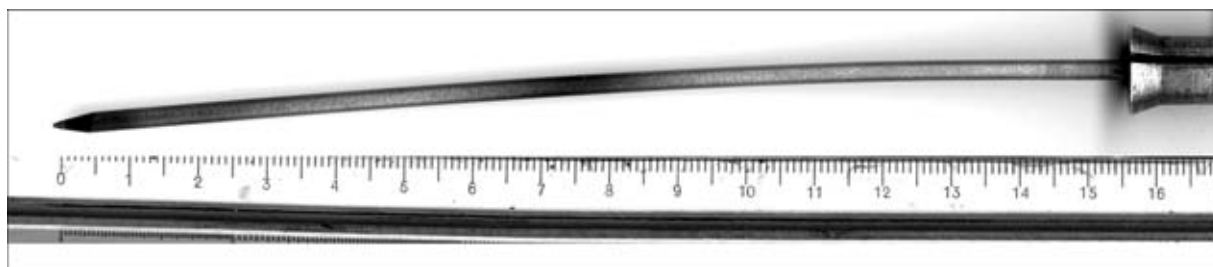


Рис. 7. Внешний вид деформированного вольфрамового электрода

ставляющей силы \vec{F}_x перемещается в крайнее вертикальное положение (рис. 6). Продолжительность действия силы \vec{F}_y , ее значения, а следовательно, и степень деформации электрода в направлении магнитопровода зависят от сварочного тока, компоненты магнитной индукции B_y , массы и механических свойств вольфрамового электрода, особенности работы устройства для магнитного управления дугой. Таким образом, установлено, что электрод диаметром 3 мм изгибается в двух направлениях — вдоль и поперек оси шва — и после окончания сварки его деформация сохраняется. Причем деформация по длине электрода (рис. 7) имеет крайне неравномерный характер: в верхней части электрода она начинается на расстоянии около 40 мм от места его выхода из охлаждаемой цанги, в нижней — на участке длиной 50... 55 мм, начиная от торца электрода; остаточных деформаций при этом не наблюдается. Такой характер изменения формы вольфрамового электрода связан, по-видимому, с температурными условиями его работы. Как следует из работы [4], при сварке вольфрамовый электрод диаметром 3 мм может разогреваться в зависимости от значений сварочного тока до 2600... 3200 К, что вызывает резкое ухудшение его прочностных свойств. Так, например, если при нормальной температуре модуль упругости вольфрама составляет приблизительно $40 \cdot 10^4$ МПа, то при 2800 К его значение уменьшается до $23 \cdot 10^4$ МПа [5]. Причем электрод в процессе сварки разогревается неравномерно по всей своей длине.

По данным работы [6], электрод диаметром 2,5 мм длиной 40 мм при $I_{св} = 300$ А сильнее разогревается в средней части, где температура может достигать 3350 К. Такой характер распределения температуры по длине вольфрамового электрода обусловлен тем, что верхняя его часть охлаждается за счет отвода тепла цангой, а нижняя — вследствие проявления эффекта «электронного охлаждения» на термоэмиссионном дуговом катоде [4]. Поэтому под действием силы Ампера наиболее нагретая центральная часть электрода изгибается. Можно полагать, что с увеличением вылета электрода в его центральной части увеличивается протяженность перегретого участка.

Предельная токовая нагрузка для электрода марки ЭВИ-2 диаметром 4 мм достигает 600 А, однако уже при $I_{св} = 400$ А под воздействием управляющего магнитного поля ($\nu = 10$ Гц, $B = 10$ мТл) наблюдаются поперечные колебания электрода. После сварки вольфрамовый электрод диаметром 4 мм не был подвержен остаточным деформациям. В случае использования электрода диаметром 5 мм при $I_{св} = 450$ А деформация электрода вообще не наблюдалась.

Выводы

1. При аргонодуговой сварке вольфрамовым электродом в узкий зазор магнитоуправляемой дугой на электрод действуют дополнительные силы, возникающие в результате взаимодействия магнитного поля сварочного тока с управляющим магнитным полем.



2. Силы, действующие на электрод в процессе сварки, вызывают его упругую и даже пластическую деформацию (в зависимости от его диаметра), что нарушает пространственное положение электрода в зазоре, снижает стабильность горения дуги и ухудшает формирование швов.

3. При выборе диаметра вольфрамового электрода для сварки в узкий зазор магнитоуправляемой дугой необходимо не только учитывать предельно допустимый ток для данной марки электрода, но и условия сохранения пространственного положения и формы электрода.

1. *Matsui S., Narayama S., Sakurai T.* Application of narrow gap GTA welding to various products. — Osaka: JWS, 1988. — P. 127-134.
2. *Paton B. E., Zamkov V. N., Prilutsky V. P.* Narrow-groove welding proves its worth on thick titanium // *Welding J.* — 1996. — № 4. — P. 37-41.
3. *Гринин В. С., Штрикман М. М.* Высокопроизводительная автоматическая сварка в узкощелевую разделку // *Свароч. пр-во.* — 1982. — № 7. — С. 21.
4. *Дороднов А. М., Козлов Н. П., Помелов Я. А.* Об эффекте «электронного охлаждения» на термоэмиссионном дуговом катоде // *Теплофизика высоких температур.* — 1973. — **11**. — С. 724-727.
5. *Савицкий Е. М., Поварова К. Б., Макаров П. В.* Металловедение вольфрама. — М.: Металлургия, 1978. — 224 с.
6. *Бадьянов Б. Н., Давыдов В. А.* Расчет температур по длине вольфрамового электрода при аргодуговой сварке // *Свароч. пр-во.* — 1994. — № 1. — С. 34-35.

It has been found that in the case of using a welding torch, in which the shielding nozzle and collet are located over the gap, and only the tungsten electrode is introduced into the gap, the control magnetic field exerts a substantial force effect on the electrode. This circumstance should be allowed for, along with the value of the current load, the to provide reliable operation of the electrode.

Поступила в редакцию 29.05.2003



СВАРКА — 2004

I специализированная выставка

Сварочные материалы. Оборудование. Технологии

г. Томск

27-29 октября

Тематика выставки

- Оборудование и технологии для электродуговой сварки металлов (ручная, полуавтоматическая, автоматическая, роботизированная);
- Оборудование и технологии для плазменной, лазерной, газопламенной сварки, резки, наплавки (ручной, механизированной, роботизированной);
- Оборудование и технологии для сварки сопротивлением (контактной сварки);
- Оборудование и технологии для сварки пластмасс;
- Оборудование, материалы и технологии контроля качества сварных соединений и исходных материалов;
- Оборудование и технологии производства сварочных материалов;
- Оборудование и технологии для пайки;
- Оборудование для термической обработки материалов и сварных конструкций;
- Материалы для сварки, резки, наплавки, напыления, пайки (электроды, проволока, припой и т. п.);
- Средства и методы защиты от вредных производственных факторов (рабочая одежда, системы вентиляции, респираторы и т. п.);
- Инструменты и приспособления для сварки;
- Электронная элементная база и комплектующие для производства сварочного оборудования;
- Методы обучения и повышения квалификации сварочного персонала;
- Научные разработки и идеи;
- Реновация сварочного оборудования;
- Салон подержанного и восстановленного сварочного оборудования.

В рамках выставки

- Межрегиональный семинар «Современные методы, технологии и оборудование сварочного производства» (организатор — Томское отделение Российского научно-технического сварочного общества. *Справки по тел.: (3822) 492942, контактное лицо — Кириллова Наталья Витальевна*);
- Конкурс Профессионального мастерства среди сварщиков, посвященный 400-летию города Томска с номинациями: «Сварщик-новичок» и «Сварщик-профи»;
- Конкурс «Сибирские Афины» среди участников.

Одновременно пройдут выставки-ярмарки:
ГАЗИФИКАЦИЯ-2004» «НЕФТЕХИМИЯ-2004» «RESALE-2004»

Справки по тел.: (3822) 413880, 413842
факс (3822) 419768
E-mail: org5@t-park.ru
http: // www.t-park.ru