

ТЕХНОЛОГИЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ С МОДИФИКАЦИЕЙ ЗАЩИТНОЙ ГАЗОВОЙ АТМОСФЕРЫ ГАЛОИДНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

А. А. КОРОТЕЕВА

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Е. А. ФЕТИСОВА, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

В статье рассмотрены новые подходы к разработке технологических процессов дуговой сварки высокопрочных сталей, чувствительных к содержанию водорода в наплавленном металле. Представлены результаты экспериментальных исследований по определению наиболее эффективных соотношений значений параметров режима, а также особенностям модификации защитной газовой атмосферы при сварке и наплавки галогенидными газообразными соединениями SF₆.

Ключевые слова: дуговая сварка; защитные газовые смеси; модификация защитной атмосферы; сварочные материалы; технологии сварки; высокопрочные стали.

В настоящее время разработка новых технологических процессов сварки представляет собой актуальную задачу, обеспечивающую динамичное развитие промышленности в условиях экономических ограничений и сложности геополитической обстановки. Появление материалов, обладающих принципиально новыми подходами к упрочнению и обеспечению требуемого комплекса эксплуатационных характеристик путем управления микроструктурным состоянием, требует совершенствования технологий их обработки и сварки. Традиционные способы в таких условиях нередко требуют совершенствования и пересмотра.

На сегодняшний день в области машиностроения все большее распространение получают высокопрочные стали. В отличие от традиционных подходов, используемых ранее, где материал получал повышенные прочностные характеристики путем упрочнения и термообработки, содержал довольно большое количество легирующих элементов и углерода в своем химическом составе, что делало его ограниченно свариваем в силу чувствительности к термическому циклу нагрева и охлаждения, современные высокопрочные стали, используемые для сварных конструкций построены по другому механизму. Повышенные характеристики обеспечиваются сложной системой комплексного микролегирования. При этом содержание легирующих элементов невелико и находится в пределах растворимости в кристаллической решетке. Низкое содержание углерода делает технологию сварки стали менее чувствительной к образованию трещин по так называемому «закалочному механизму». Вместе с тем, все более актуальной, особенно в условиях отечественного производства, становится проблема высокой чувствительности таких материалов к содержанию диффузионно-подвижного водорода в наплавленном металле, способного вызывать появление трещин по принципиально иному механизму замедленного разрушения. Это объясняется тем, что стали рассматриваемого класса, в силу сложности легирования и необходимости обеспечения требуемого точного содержания химических элементов в наплавленном металле, требуют использования преимущественно инертных защитных газовых сред и смесей. Такие среды практически не взаимодействуют с жидким металлом и обеспечивают необходимые условия для перехода элементов через дуговой промежуток в сварочную ванну. В то же время процесс становится чувствительным к наличию посторонних газов и примесей, так как практически полностью отсутствует контролируемая металлургическая обработка материала. Защитный газ выполняет исключительно функцию механического вытеснения воздуха и не реагирует с расплавленным присадочным материалом.

Во многих технологических процессах и способах сварки проблема чувствительности к водороду решается преимущественно путем его связывания в нерастворимые или ограниченно растворимые в жидком металле соединения. Наибольшее распространение получили способы связывания его в соединения HF. С этой целью в составы электродных покрытий при ручной дуговой сварке, флюсов при автоматической дуговой сварке под слоем флюса и т.д. вводят фторсодержащие компоненты (CaF₂ и др.), которые при высоких температурах разлагаются с образованием свободного фтора, способного взаимодействовать в атмосфере дуги при высоких температурах с водородом. В случае же способов дуговой сварки в защитных газах, где отсутствует среда, содержащая такие соединения, проведение подобных технологических приемов затруднено.

В работе предлагается модифицировать защитную газовую атмосферу при дуговой сварке газообразными галогенидными соединениями, что позволит ввести фторсодержащие компоненты непосредственно в зону сварки и наплавки через защитный газ. Как было отмечено ранее, инертная среда,

используемая для сварки рассматриваемых материалов, сама не взаимодействует как с расплавленным металлом, так и с предлагаемыми компонентами так как состоит преимущественно из Ar [1, 2].

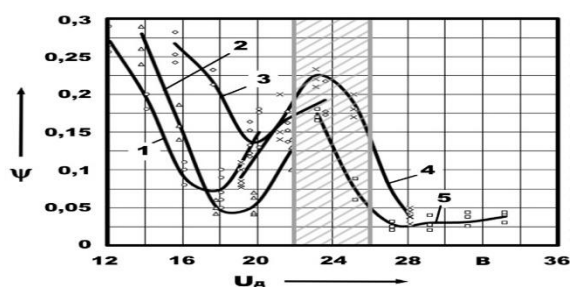
В качестве галогенидной добавки предлагается использовать SF_6 . Несмотря на наличие серы, как вредного для большинства металлических материалов элемента, такой газ легко доступен и широко используется в электрических установках для гашения дуги в контактах автоматических выключателей предохранительных устройств. При этом, в силу высокого потенциала ионизации фтора, важными являются вопросы стабильности горения дуги и переноса расплавленного присадочного металла через дуговой промежуток в сварочную ванну, особенности выбора значений параметров режима с точки зрения минимизации потерь на разбрызгивание, ограничение растворимости серы в наплавленном металле и др.

В работе на основе проведения экспериментальных исследований предпринята попытка комплексно оценить эффективность введения SF_6 в состав защитной газовой смеси 82 % Ar + 18 % CO_2 как с точки зрения снижения количества диффузионного водорода в наплавленном металле, так и стабильности технологических характеристик процесса [1–4].

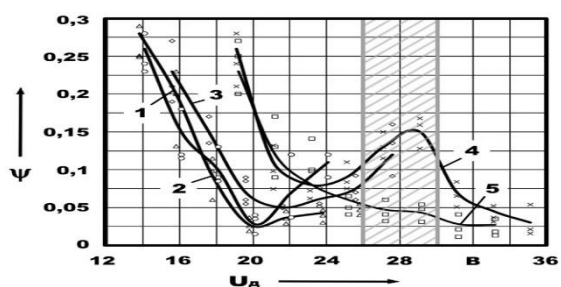
Исследования проведены на робототехническом комплексе Fanuc со сварочной системой Fronius. Сущность экспериментов заключалась в наплавке валиков на пластины с одновременным осциллографированием процесса и скоростной видеосъемкой. При этом регистрировались потери электродного металла по средствам измерения массы наплавленного и расплавленного металла. Для оценки содержания диффузионного водорода использовалась стандартная методика, основанная на глицериновой пробе. Анализ химического состава наплавленного металла выполнялся на спектральном оптико-эмиссионном анализаторе Solaris GNR SCP.

В качестве присадочной проволоки использовались проволоки Св-08Г2С и ESAB Aristorod 69. Наплавка выполнялась на пластины из низкоуглеродистой стали. Для проведения экспериментов с качественной оценкой содержания водорода в наплавленном металле использовалась Сталь 09Г2С, что обусловлено необходимостью создания условий для максимально эффективного выхода водорода в глицериновую среду и исключения появления в материале закалочных структур, существенно препятствующих диффузии водорода.

Наплавка образцов выполнялась при скоростях подачи присадочной проволоки 2,3...9,3 м/мин. При введении SF_6 в состав защитной газовой атмосферы наблюдается смещение области наиболее эффективного соотношения между значениями параметров режима в сторону большего напряжения на дуге (рисунок 1). Вероятнее всего вызвано это спецификой протекания процессов диссоциации SF_6 в области высоких температур дугового промежутка. Полученные в ходе экспериментальных исследований результаты показали, что в области существования переноса электродного металла с короткими замыканиями дугового промежутка (значения скоростей подачи проволоки 2,3–5,7 м/мин), в диапазоне значений изменения напряжения существует несколько характерных участков на графике. Первый участок графика характеризуется относительно большими потерями на малых значениях напряжения на дуге (до 18...19 В). В таких условиях процесс нестабилен. Отчетливо наблюдается повышенное разбрызгивание с большим количеством крупных выплесков расплавленного металла ванны и части присадочной проволоки из-за длительного короткого замыкания. Наблюдаются отстрелы проволоки с выбросом ее частей на периферию [3, 4]. Соотношение значений параметров режима является нежелательным и в дальнейшем не использовалось нами при проведении экспериментальных исследований.



а



б

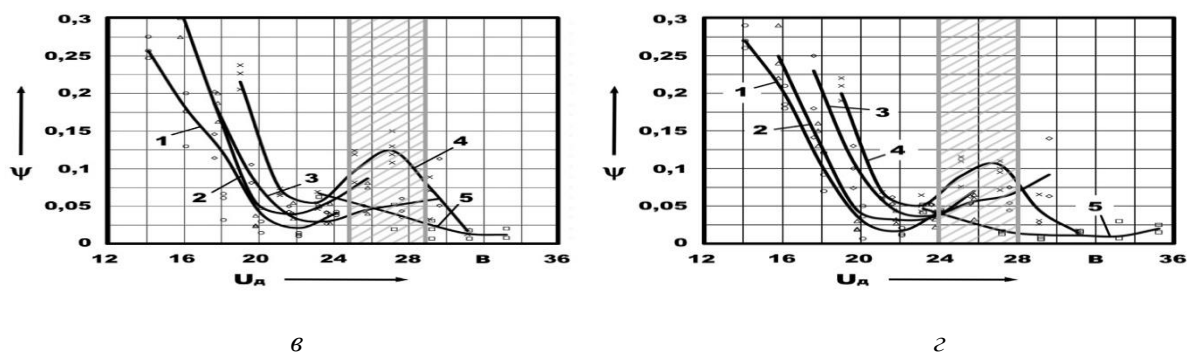


Рис. 1. Зависимости коэффициента потерь электродного металла от напряжения на дуге (U_d) при различной скорости подачи присадочной проволоки и вводимого SF_6 :
 1 – 2,3 м/мин; 2 – 3,7 м/мин; 3 – 5,3 м/мин; 4 – 7,7 м/мин; 5 – 9,2 м/мин;
 а – сварка в среде 82 % Ar + 18 % CO_2 ; б – 0,5 % SF_6 ; в – 1 % SF_6 ; г – 2 % SF_6

Повышение напряжения на дуге приводит к резкому снижению значения коэффициента потерь и стабилизации процесса. При этом необходимо отметить, что момент стабилизации характеризуется минимальным значением коэффициента потерь, что свидетельствует о формировании благоприятных для существования дугового промежутка условиях. На графике можно наблюдать резкий спад с ярко выраженным минимумом. Дальнейшее повышение значения напряжения на дуге приводит к плавному росту коэффициента потерь. На графиках наблюдается пологий плавно возрастающий участок, соответствующий диапазону значений напряжения шириной в 4...6 В. Такой характер зависимости объясняется ростом длины дуги и некоторым снижением ее устойчивости. Из-за пространственного сжатия продуктами высокотемпературной диссоциации SF_6 увеличение длины дуги неизбежно ведет к росту диаметра капель электродного металла и, как следствие, снижению частоты коротких замыканий. Это объясняется снижением эффективности разогрева торца проволоки по мере увеличения диаметра капли расплавленного металла на ней и повышенным значением реакционной силы, действующей на каплю со стороны столба дуги вертикально вверх, что приводит к затруднению ее формирования и препятствует отрыву. Это отчетливо регистрируется в процессе проведения экспериментов не только по осциллограммам напряжения и силы тока, но и наличием характерного звукового эффекта отражающего дискретность процесса. Рост коэффициента потерь главным образом обусловлен спецификой отрыва крупных капель электродного металла от торца присадочной проволоки и особенностями их контакта с поверхностью расплава ванны [3–4].

Проведение наплавки с силой тока, близкой к значениям критической силы тока струйного переноса связано с некоторой нестабильностью процесса. Это связано с наличием естественных колебаний режима из-за имеющихся возмущений в области дугового промежутка.

Для оценки количества серы в наплавленном металле выполняли наплавку образцов в 6 слоев с использованием значения силы сварочного тока 130 А и напряжениях на дуге 14 В, 16 В и 18 В, а также с использованием силы сварочного тока 200 А и напряжениях на дуге 17 В, 20 В и 22 В. В защитную газовую смесь (82 % Ar + 18 % CO_2) вводили SF_6 в количестве от 1 до 5 %. Проведенные результаты показали, что интенсивный рост содержания серы в наплавленном металле начинает наблюдаться при введении SF_6 в состав защитной атмосферы свыше 1 %. При этом соотношение Ar и CO_2 в защитной газовой смеси сохраняется в пропорции 82-18. Общий расход - 15 л/мин. Металлографические шлифы также подтверждают ее наличие преимущественно по границам зерен. Полученные результаты также свидетельствуют о том, что по повышению количества SF_6 в составе защитной газовой смеси Ar+ CO_2 приводит к повышению чувствительности процесса к изменениям напряжения на дуге. Такой эффект наблюдается в преимущественно из-за того, что напряжение оказывает непосредственное влияние на время пребывания капли расплавленного металла в дуговом промежутке, так как определяет длину дуги. При этом, интенсивность протекания металлургических реакций максимальна на стадии капли металла, так как она пребывает в сильно перегретом состоянии [3].

Отсутствие роста содержания S в наплавленном металле при концентрациях SF_6 до 1 %, по-видимому, объясняется взаимодействием серы с кислородом, как продуктом высокотемпературной диссоциации CO_2 . Однако это требует проведения дополнительных исследований [5].

Для оценки снижения количества водорода в наплавленном металле нами проведены экспериментальные исследования по наплавке валиков на пластины и помещении их в колбу с глицерином (рисунки 2).

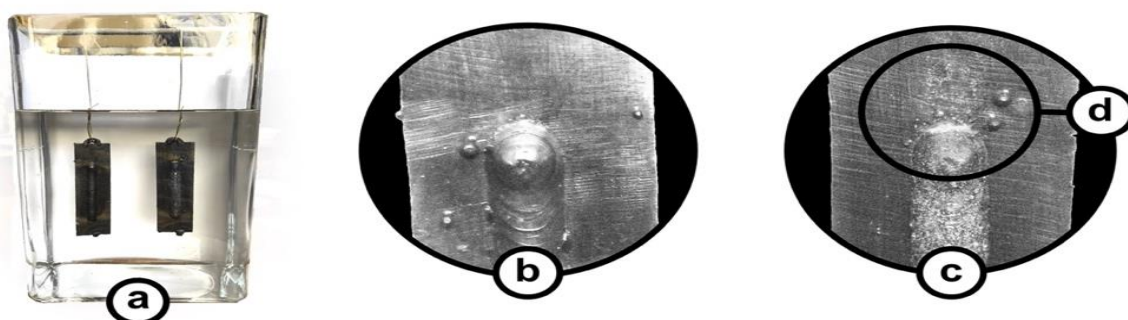


Рис. 2. Оценка насыщаемости водородом образца при помощи глицериновой пробы:
а – колба с образцами; б – образец полученный наплавкой с введением в защитную атмосферу SF_6 ;
с – образец полученный по традиционной технологии;
d – водород в виде сплошного потока всплывающих с поверхности образца пузырей

Водород плохо растворяется в глицерине что делает его выделение из образца визуально различимым. Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии видимого выделения водорода в случае наплавки с введением SF_6 в защитную атмосферу, Это косвенно указывает на связывание его в нерастворимые в жидком металле соединения. В то же время образец, наплавленный по традиционной технологии полностью покрыт выделившимися пузырями водорода, что свидетельствует о насыщении ими образца в процессе наплавки [5].

Таким образом, по результатам проведенных экспериментальных исследований установлено следующее:

1. Оптимальное количество введение гексафторида серы в состав защитной газовой атмосферы, без перенасыщения наплавленного металла серой, как вредной примесью, составляет 1 %...1,5 % (при количестве основной смеси 82 % Ag + 18 % CO_2).

2. Интенсивность протекания металлургических процессов при дуговой сварке с модификацией защитной газовой атмосферы гексафторидом серы определяет напряжение на дуге. Его изменение в пределах 4...5 В увеличивает содержание серы в наплавленном металле более, чем в 2 раза.

3. Вследствие высокого потенциала ионизации защитной газовой смеси Ag + CO_2 + SF_6 из-за присутствия фтора в составе гексафторида серы существенно изменяет традиционно известные закономерности между напряжением на дуге и частотой переноса электродного металла.

4. Применение SF_6 в составе защитного газа является перспективным направлением, так как в процессе сварки он обладает способностью измельчать капли расплавленного электродного металла, что благоприятно сказывается на технологические характеристики.

Библиографические ссылки

1. Коротеева А. А., Шукан Н. М. Эффективные способы создания многокомпонентных газовых смесей в зоне горения дуги при сварке // 57-я студенческая научно-техническая конференция Белорусско-Российского университета : материалы конф. Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2021. С. 100.
2. Коротеева А. А., Фетисова Е. А. Применение газообразных галоидных соединений в составе защитной атмосферы при сварке высокопрочных сталей // 58-я студенческая научно-техническая конференция Белорусско-Российского университета : материалы конф. Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2022. С. 93.
3. Фетисова Е. А., Коротеев А. О., Коротеева А. А. Особенности металлургических процессов при дуговой сварке с модификацией защитной газовой атмосферы галоидными соединениями // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. 2022. № 1. С. 87–96.
4. Фетисова Е. А., Коротеев А. О. Влияние напряжения на частоту переноса электродного металла при дуговой сварке с введением газообразных галоидных соединений в защитную газovou атмосферу // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы межд. науч.-техн. конф. молодых ученых. Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2020. С. 104.
5. Фетисова Е. А., Коротеев А. О., Куликов В. П. Влияние гексафторида серы в составе газовой защитной атмосферы при дуговой сварке на содержание водорода в наплавленном металле // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф. Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2021. С. 174.