

масштабной разработки МУПГ необходимо демонтировать и возводить капитальную установку подготовки газа.

В результате внедрение мобильной установки подготовки газа, в отличие от традиционного объекта капитального строительства, приводит к снижению сроков реализации проекта и ввода месторождения в эксплуатацию; сокращению доли капитальных и операционных затрат; вариативности технических решений при различных эксплуатационных характеристиках месторождения и свойствах флюида.

Литература

1. АО «МодульНефтеГазИнжиниринг». – Режим доступа: https://mngi.su/oborudovanie/blochnoe_oborudovanie/mobilnye-ustanovki-podgotovki-gaza. – Дата доступа: 25.03.2024.
2. ООО «Компания ОЙЛТИМ». – Режим доступа: <https://www.oilteam.ru>. – Дата доступа: 25.03.2024.
3. АО «Акционерная компания ОЗНА». – Режим доступа: <https://ozna.ru>. – Дата доступа: 25.03.2024.
4. Первая установка подготовки газа и газового конденсата АО «МодульНефтеГазИнжиниринг». – Режим доступа: <https://mngi.su/docs/buklet.pdf>. – Дата доступа: 01.04.2024.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ С МОДИФИЦИРОВАННОЙ ЗАЩИТНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДОЙ

Е. А. Фетисова, Н. В. Попов, Д. В. Кутневич, В. Д. Долгая

*Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет», г. Могилев*

Научный руководитель А. О. Коротеев

Рассмотрен вопрос о влиянии модифицированного состава защитной газовой атмосферы, а также параметров режима при дуговой сварке на переход легирующих элементов из плавящегося присадочного материала в наплавленный металл. Приводятся результаты исследований химического анализа наплавленного металла, полученного в среде $Ar + CO_2$ и с введением в нее галогенидного газообразного соединения SF_6 .

Ключевые слова: дуговая сварка с модификацией защитной газовой атмосферы SF_6 .

При дуговой сварке плавлением важным фактором в формировании качественного неразъемного соединения является газовая защита области образования сварного шва. Большое значение имеют происходящие металлургические и физико-химические процессы, протекающие в результате взаимодействия расплавленного жидкого металла сварочной ванны с защитной газовой средой и воздухом атмосферы. Результатом взаимодействия указанных выше процессов может быть изменение химического состава сварного шва по сравнению с исходной в нем концентрацией легирующих элементов, что может повлечь за собой снижение таких свойств сварного соединения, как пластичность, ударная вязкость и привести к разрушению конструкции в целом.

Зачастую состав металла шва изменяет содержание химических элементов в результате их взаимодействия с газовыми компонентами защитной среды в момент перехода от торца расплавленного присадочного материала к жидкому металлу сварочной ванны через дуговой промежуток. Продуктами реакции таких взаимодействий могут быть соединения, которые в последующем под высокотемператур-

ным воздействием сварочной дуги, могут «выгорать», тем самым обедняя легирующими элементами будущий сварной шов. Или же, наоборот, компоненты защитной газовой атмосферы вступая в химические связи с расплавленным металлом сварочной проволоки могут образовывать соединения, которые будут способствовать благоприятному переходу легирующих элементов в зону сварочной ванны. При этом на этот процесс оказывают влияние очень многие факторы, например, состав и процентное содержание газовых компонентов защитной среды, температурные показатели области дугового промежутка и сварочной дуги, параметры режима процесса сварки, состав присадочного сварочного материала и др.

Данная работа посвящена исследованию влияния модифицированной защитной газовой атмосферы газообразным соединением SF_6 при различном его процентном соотношении и параметрах режима сварки на переход легирующих элементов в наплавленный металл.

Работы выполнялись на робототехническом комплексе Fanuc с использованием источника питания фирмы Fronius. Химический анализ состава наплавленного металла был проведен на оптико-эмиссионном спектрометре GNR – SCP.

Наплавку образцов выполняли в восемь слоев на металлические пластины низкоуглеродистой неомедненной высокопрочной проволокой EsabOkAristorod 69, химический состав которой приведен в табл. 1. Диаметр сварочной проволоки составлял 1,2 мм. По содержанию легирующих элементов проволока относится к группе низколегированных, поэтому переход количества химических компонентов в наплаваемый металл в процессе сварки важно сохранить максимально приближенным к исходным концентрациям.

С целью минимизировать температурные воздействия на расплавленный металл наплаваемых валиков образцы после каждого наплаваемого слоя подвергались охлаждению до комнатной температуры в течение некоторого интервала времени. Затем производилась их зачистка и полировка для снижения содержания различного рода загрязнений.

Ранее нами были проведены исследования перехода легирующих элементов при дуговой сварке с модифицированной защитной газовой атмосферой SF_6 низкоуглеродистой сварочной проволокой сплошного сечения Св-08Г2С, результаты которых приведены в [1].

Таблица 1

Химический состав сварочной проволоки EsabOkAristorod 69

Химический элемент	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	V	P	S
Содержание, %	max 10	1,50– 1,80	0,40– 0,70	1,20– 1,60	0,20– 0,40	0,20– 0,30	0,05– 0,10	max 0,015	max 0,015

В качестве газовой защитной атмосферы в ходе проведения исследований использовалась традиционная смесь Ar (82 %) + CO_2 (18 %) и трехкомпонентная Ar (82 %) + CO_2 (18 %) + SF_6 . Количество вводимого галогенидного модификатора составляло 0,5 %. Получение такой защитной среды реализовывалась с помощью разработанной нами установки, которая описана в [2].

Параметры режима процесса сварки при проведении исследований химического состава наплавленного металла представлены в табл. 2. Рациональность выбора их значений была представлена в проведенных ранее работах [1, 3].

Таблица 2

Параметры режима сварки

Скорость подачи присадочной проволоки, м/мин	Количество вводимого SF ₆ в традиционную смесь, %	Значения силы сварочного тока, А	Значения напряжения на дуге, В
3,7	0	147–155	16,5
	0,5		18,5
5,3	0	195–202	20,5
	0,5		18,5
			20,0
			21,5
			18,0
			20,0
			22,0
			20,0
			22,0
			24,0

Проанализировав полученные данные, выявлено, что введение галогенидного газообразного модификатора SF₆ в состав смеси Ar + CO₂ приводит к снижению содержания в наплавленном металле таких легирующих элементов, как С, Si, Mn, V по сравнению с их содержанием в наплавленном металле, полученном в традиционной газовой защитной смеси. Обоеднение химического состава данными элементами происходит в пределах от 10 до 25 %. Причем отмечено, что снижение концентрации указанных компонентов происходит только на повышенных значениях напряжения на дуге для практически применимого процесса сварки. Такая картина наблюдается как для скорости подачи присадочной проволоки, равной 3,7 м/мин, так и для ее значения 5,3 м/мин. Не наблюдалось изменения количества легирующих элементов в химическом составе наплавленного металла, полученного на значениях U_d от 16,5 до 20,0 В и при рассматриваемых значениях $V_{пп}$ для процесса сварки в двух исследуемых вариантах защитной газовой среды.

Отмечено также, что при увеличении значений параметров режима процесса сварки происходит повышение содержания серы в исследуемых образцах, полученных в модифицированной защитной атмосфере. Однако ее количественный рост в составе наплавки происходит до определенного значения и дальнейшее изменение данных параметров режима в большую сторону не приводит к возрастанию концентрации серы.

Нами выдвинуто предположение, что процессу остановки роста содержания серы в наплавленном металле может способствовать ее взаимодействие с кислородом с последующим образованием химических продуктов реакции, которые под действием высоких температур в зоне дугового промежутка в дальнейшем «улетучиваются».

Также в химическом составе исследуемых образцов, выполненных дуговой наплавкой в среде Ar + CO₂ + SF₆, было выявлено изменение содержания церия в меньшую сторону на 35 %. В металлургии Се, при его малом введении в сталь, способст-

вует очищению стали от вредных примесей, прежде всего серы и газов. В разработанной нами технологии это является актуальным способом снижения или «сдерживания» роста концентрации серы в наплавленном металле. Поэтому потери содержания церия в его химическом составе требуют дальнейшего исследования.

В проведенных нами ранее исследованиях технологии дуговой сварки с модификацией защитной газовой атмосферы был выявлен положительный эффект воздействия SF_6 на снижение количества диффузионно-подвижного водорода в наплавленном металле [4]. Причем процентное содержание галогенидной добавки в составе $Ar + CO_2$ составляло 0,5 %, что говорит о возможности благоприятного воздействия на происходящие процессы при сварке с минимальным вводом модификатора. В связи с этим исследования химического состава наплавленного металла проводились именно с таким процентным содержанием SF_6 в составе традиционной защитной смеси.

Однако, выявленные закономерности в ходе проведения анализа, например, снижение некоторых легирующих элементов от количества, введенного галогенидного модификатора, говорит о том, что для пояснения полученной картины, необходимо провести дополнительные исследования с концентрацией SF_6 в составе Ar (82 %) + CO_2 (18 %) составляющей от 0,5 до 2 %. Таким образом, работы в данном направлении будут продолжены.

Литература

1. Фетисова, Е. А. Особенности металлургических процессов при дуговой сварке с модификацией защитной газовой атмосферы галоидными соединениями / Е. А. Фетисова, А. О. Коротеев, А. А. Коротева // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2022. – № 1 (74). – С. 87–96.
2. Фетисова, Е. А. Установка для смешивания трехкомпонентной защитной газовой среды при сварке / Е. А. Фетисова [и др.] // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т». – 2022. – С. 88.
3. Технологические особенности выбора значений параметров режима дуговой сварки в защитной газовой смеси $Ar + CO_2$ / А. О. Коротеев [и др.] // Наука и техника. – 2023. – № 22 (4). – С. 269–277.
4. Фетисова, Е. А. Влияние гексафторида серы в составе газовой защитной атмосферы при дуговой сварке на содержание водорода в наплавленном металле / Е. А. Фетисова, А. О. Коротеев, А. А. Коротева // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2021. – С. 174.

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РАМЫ ПОД СИЛОВУЮ УСТАНОВКУ И ГИДРОПЕРЕДАЧУ ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДА ТИПА ДР1Б

К. С. Щербатый

Моторвагонное депо, Минск, Республика Беларусь

И. В. Певнев, М. В. Выходцев

*Учреждение образования «Белорусский государственный
университет транспорта», г. Гомель*

Научный руководитель Л. В. Огородников

Целью настоящего исследования является проверка соответствия нормативным требованиям модернизируемой части дизель-поезда. В качестве объекта исследования выступает измененная конструкция рамы под новую силовую установку и гидropередачу