

ВЛИЯНИЕ ДВУХСТРУЙНОЙ ГАЗОВОЙ ЗАЩИТЫ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СУДОСТРОИТЕЛЬНОЙ СТАЛИ GL-E36

Д. А. ЧИНАХОВ, канд. техн. наук (Юргинский технол. ин-т, филиал Томск. политехн. ун-та, РФ)

Рассмотрено влияние при многослойном дуговом процессе в смеси газов двухструйной газовой защиты на качество сварных соединений низколегированной судостроительной стали. Отмечена возможность снижения химической и структурной неоднородности в соединениях и повышения механических свойств.

Ключевые слова: дуговая сварка, низколегированная сталь, многослойный шов, двухструйная защита, химический состав, распределение твердости, механические свойства

Одной из важных проблем современного производства является улучшение технико-экономических показателей сварных конструкций путем снижения их удельной металлоемкости, увеличения эксплуатационной надежности, равнопрочности и долговечности [1]. Совершенствование технологии изготовления позволило повысить уровень служебных свойств низколегированного и легированного проката и в первую очередь его стойкость к образованию холодных трещин. Данные стали обеспечивают безопасность эксплуатации крупногабаритных сооружений, мостовых конструкций, корпусов судов и магистральных трубопроводов [2]. При этом желательно, чтобы сварные соединения характеризовались требуемыми эксплуатационными и технологическими свойствами без дополнительной термообработки [3].

Еще одним фактором, усложняющим получение качественных равнопрочных сварных соединений, является подверженность легированных сталей охрупчиванию в результате насыщения металла шва водородом [4] и образование высокотемпературной химической микронеоднородности (ВХМН) в околошовной зоне [5], что при высоких внутренних напряжениях или циклической внешней нагрузке может служить причиной зарождения трещин и приводить к разрушению сварной конструкции.

Насыщение металла шва водородом происходит в результате длительного пребывания сварочной ванны в жидкой фазе, что способствует лучшему перемешиванию электродного металла с основным и приводит к снижению уровня ВХМН, структурной и прочностной неоднородности в зоне сплавления [6]. Сократить время пребывания металла сварочной ванны в жидкой фазе и од-

новременно увеличить скорость его перемешивания можно с помощью импульсно-динамических воздействий, например, управления переносом электродного металла в сварочную ванну [7] или двухструйной газозащитной средой [8–10] и др.

Цель данной работы — определение влияния двухструйной газовой защиты зоны сварки на химический состав и эксплуатационные свойства соединений из судостроительной стали GL-E36.

Исследования проводили на образцах из судостроительной стали GL-E36 размером 150×300 мм, толщиной 18 мм с щелевой разделкой кромок (рис. 1), полученных с применением двух способов сварки плавящимся электродом стационарной дугой в смеси газов 82 % Ar + 18 % CO₂ — традиционным с одноструйной газовой защитой (первый способ) и разработанным с двухструйной газовой защитой (второй) [11].

Согласно проведенным ранее исследованиям [12], сварку выполняли низкоуглеродистой сварочной проволокой Union K52 диаметром 1,2 мм. При сварке образцов стационарной дугой поддерживался следующий режим: $I_{св} = 185...190$ А; напряжение на дуге $U_{д} = 26...27$ В; скорость сварки $v_{св} = 25...26$ см/мин; скорость подачи электродной проволоки $v_{пр} = 6,8...7,0$ м/мин; расход защитного газа $Q = 11...12$ л/мин. Использовали источник питания ESAB Aristo 500 и автоматическую сварочную головку VEB Schweisstechnik Finsterwalde BEM 5 201.05.

На полученных сварных образцах провели исследование химического состава металла шва и

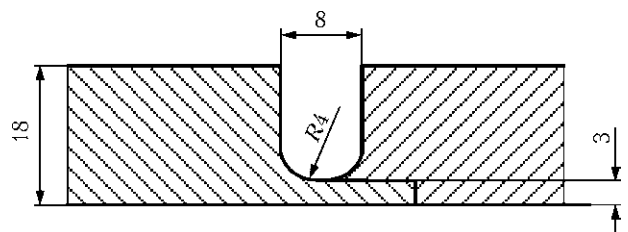


Рис. 1. Схема щелевой разделки кромок U-образной формы



Таблица 1. Результаты химического анализа металла образцов, мас. %

Исследуемый образец	C	Si	Mn	P	S	Cr
Сталь GL-E36	0,161	0,437	1,25	0,011	0,013	0,03
Проволока Union K 52	0,080	0,850	1,50	0,025	0,025	0,20
Металл шва при первом способе сварки	0,098	0,665	1,20	0,013	0,025	0,051
То же при втором	0,107	0,531	1,05	0,013	0,023	0,055

Окончание табл. 1

Исследуемый образец	Al	Cu	N	Nb	V	Mo	Ni
GL-E36	0,031	0,016	0,006	0,037	0,005	0,025	0,041
Union K 52	—	—	—	—	—	—	0,250
Металл шва при первом способе сварки	0,004	0,092	0,004	0,002	0,009	0,011	0,037
То же при втором	0,005	0,081	0,005	0,005	0,005	0,013	0,037

Таблица 2. Результаты исследований ударной вязкости и твердости сварных соединений

Способ сварки	KCV, кДж/м ² , при -20 °С		HV		
	С надрезом по линии сплавления	С надрезом по центру шва	Основной металл (точка 7)	ЗТВ (точки 4-6)	Шов (точки 1-3)
Первый	32...71	98...119	156	175/181/193	194/193/215
Второй	49...74	75...81		176/170/175	182/185/178

Примечание. Точки 1-7 — см. на рис. 2.

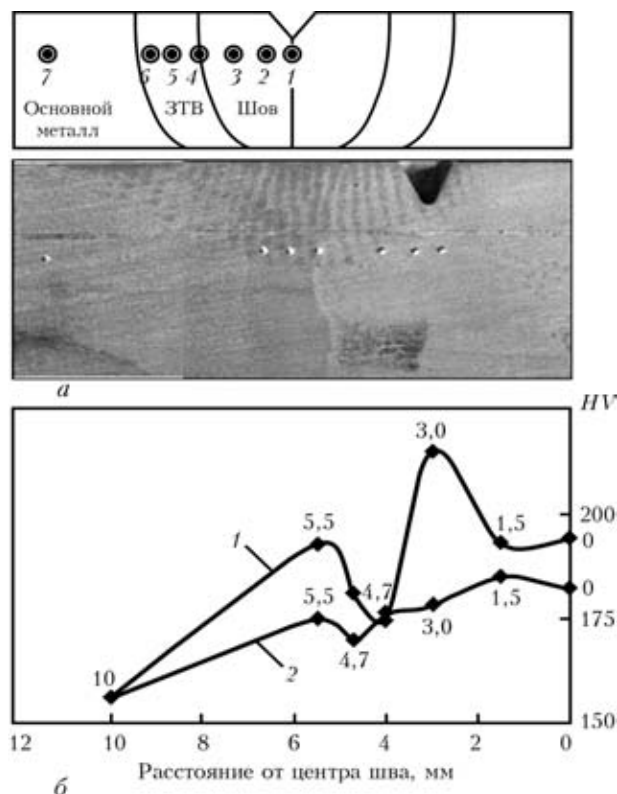


Рис. 2. Схема измерения (а) и распределение твердости HV по сечению сварного соединения (б): 1 — первый способ сварки; 2 — второй

стали GL-E36 (табл. 1), его структуры, ударной вязкости и распределения твердости в сечении шва, механических свойств (в Otto-von-Guericke-Universitaet Magdeburg, Institut fuer Werkstoff- und Fuegetechnik, Магдебург, Германия).

По результатам проведенного исследования установлено, что при сварке с двухструйной газовой защитой наблюдается уменьшение в металле сварного шва содержания кремния на 20 % и марганца на 12 % по сравнению со сваркой с традиционной одноструйной газовой защитой. Уменьшение содержания кремния и марганца свидетельствует об интенсивности протекания металлургических процессов в сварочной ванне, что увеличивает пластичность сварного соединения и уменьшает химическую неоднородность.

Использование двухструйной газовой защиты в сочетании с рациональным режимом сварки позволяет добиться выравнивания значений ударной вязкости и твердости по сечению сварного соединения. Верхний предел значения ударной вязкости по линии сплавления практически совпадает с нижним пределом по центру шва (табл. 2), что также свидетельствует об интенсивном перемешивании электродного металла с основным.

Таким образом, обеспечивается требуемый уровень механических свойств металла шва, что позволяет существенно снизить угрозу хрупкого разрушения сварных соединений под действием

Таблица 3. Результаты механических испытаний сварных соединений на растяжение

Объект испытаний	$\sigma_{0,2}$, МПа, при способе сварки		σ_B , МПа, при способе сварки	
	первом	втором	первом	втором
Сварные соединения стали GL-E36	$\frac{327...340}{334}$	$\frac{337...345}{341}$	$\frac{471...479}{475}$	$\frac{479...481}{480}$
Сталь GL-E36	355		490...620	
Проволока Union K 52	420...450		540...570	

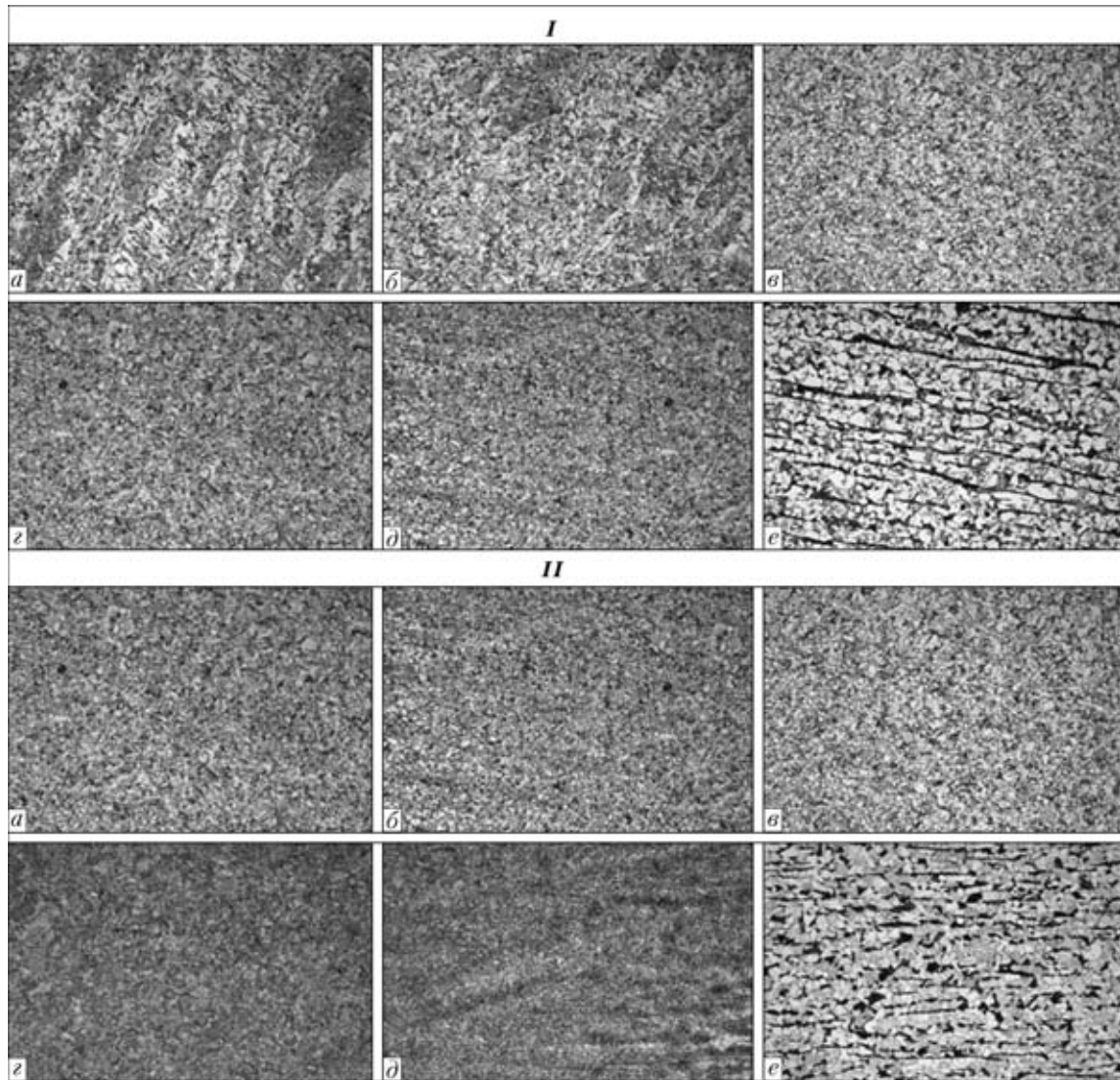


Рис. 3. Микроструктуры ($\times 140$) сварных соединений судостроительной стали GL-E36, полученных первым (I) и вторым (II) способом сварки: а — металл шва; б — линия сплавления; в — участок перегрева; г — участок нормализации (перекристаллизации); д — участок неполной перекристаллизации; е — основной металл

внешней циклической нагрузки при низких температурах.

График распределения твердости (рис. 2) показывает, что при сварке с двухструйной газовой защитой наблюдается более равномерное распределение твердости по сечению сварного соединения, что еще раз подтверждает наличие интенсивного перемешивания электродного металла с основным.

Важно, что по сравнению с традиционным, разработанный способ сварки позволяет избежать резкого изменения твердости на наиболее подверженных к образованию трещин участках (линия сплавления и металл ЗТВ), что уменьшает остаточные напряжения и вероятность появления холодных трещин.

Результаты микроструктурного анализа (рис. 3) подтверждают, что сварка с двухструйной газовой



защитой обеспечивает лучшее перемешивание основного металла с электродным, способствует измельчению структуры металла шва, формирует плавный переход от наплавленного металла к основному и увеличивает равнопрочность сварного соединения (см. рис. 2).

Испытания образцов на разрыв проводили с использованием оборудования фирмы Zwick (табл. 3) (Otto-von-Guericke-Universitaet Magdeburg, Institut fuer Werkstoff- und Fuegetechnik, Магдебург, Германия).

Проведенный сравнительный анализ механических свойств сварных соединений стали GL-E36 с различными видами фронта газовой защиты (табл. 3) показал стабильность и качество выполнения процесса сварки первым и вторым способом. Близость значений временного сопротивления разрыву образцов, полученных двумя способами сварки, объясняется их близкими значениями твердости в зоне разупрочнения при одновременном значительном отличии распределений в сечении твердости, так как разрушение всегда происходит в разупрочненном месте (см. рис. 2). Зона разупрочнения является самой чувствительной к тепловложению, а поскольку по тепловложению сравниваемые способы почти совпадают, то и значения твердости и временного сопротивления разрыву соизмеримы.

Установлено, что разработанный способ сварки многослойных соединений легированных сталей с щелевой разделкой в условиях двухструйной газовой защиты стационарной дугой обеспечивает уменьшение химической, прочностной и структурной неоднородности в соединениях, надежное качество и требуемые механические свойства сварных соединений, способствует измельчению структуры металла шва и формирует плавный переход от наплавленного металла к основному, что увеличивает эксплуатационную надежность и рав-

нопрочность сварных соединений. Разработанный способ сварки легированных сталей в щелевую разделку можно широко использовать в машино- и судостроении, оборонной промышленности, для ремонта и строительства трубопроводов.

1. Акулов А. И., Алехин В. П., Ермаков С. И. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: Учеб. для вузов. — М.: Машиностроение, 2003. — 560 с.
2. Фролов К. В. Машиностроение: Энциклопедия. — М.: Машиностроение, 2006. — 768 с.
3. Лобанов Л. М., Миходуй Л. И., Гордонный В. Г. Состояние и перспективы применения в сварных конструкциях высокопрочных сталей с улучшенной свариваемостью // Автомат. сварка. — 1998. — № 12. — С. 29–34.
4. Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение: Учеб. для высш. техн. учеб. заведений. — М.: Машиностроение, 1990. — 528 с.
5. Сварка и свариваемые материалы: В 3-х т. Т.1. Свариваемость материалов: Справ. изд. / Под ред. Э. Л. Макарова. — М.: Металлургия, 1991. — 528 с.
6. Химическая и структурная неоднородности в зоне сплавления низкоуглеродистой стали с аустенитным швом при сварке в защитных газах / В. П. Елагин, В. В. Снисарь, М. М. Савицкий // Автомат. сварка. — 2001. — № 4. — С. 8–13.
7. Сараев Ю. Н. Импульсные технологические процессы сварки и наплавки. — Новосибирск: Наука, 1994. — 108 с.
8. Применение двухструйных сопловых устройств для сварки в среде защитных газов / В. Т. Федько, С. С. Киянов, В. С. Шматченко, С. Б. Сапожков // Автоматизация и современ. технологии. — 2003. — № 3. — С. 12–18.
9. Дуговая сварка с воздействием на сварочную ванну направленных газоструйных потоков / М. М. Штрикман, А. С. Павлов, А. Н. Сабанцев, В. Н. Егоров // Свароч. пр-во. — 1999. — № 12. — С. 3–6.
10. Чинахов Д. А., Федько В. Т., Сараев Ю. Н. Сварка легированных сталей в щелевую разделку без термообработки // Технология металлов. — 2005. — № 10. — С. 27–29.
11. Пат. 2233211 РФ, 7 В 23 К 9/173//В 23 К 103/04. Способ сварки / Д. А. Чинахов, В. Т. Федько, Ю. Н. Сараев. — Опубл. 27.07.2004.
12. Сараев Ю. Н., Чинахов Д. А., Шпигунова О. И. Способы повышения трещиностойкости сварных соединений легированных сталей типа 30ХГСА // Технология машиностроения. — 2001. — № 1. — С. 35–39.

The effect of a two-jet gas shielding on the quality of welded joints on low-alloy shipbuilding steel in multilayer arc welding in the gas mixture shielding atmosphere is considered. The possibility of reducing chemical and structural heterogeneities in the joints and improving their mechanical properties is noted.

Поступила в редакцию 27.11.2008