

УДК 621.791:658.62

П. В. ЗАНКОВЕЦ¹, А. Ф. ИЛЬЮЩЕНКО¹, Л. С. ДЕНИСОВ²

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА УРОВЕНЬ КАЧЕСТВА И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ

¹Государственное научно-производственное объединение порошковой металлургии НАН Беларуси,
²Белорусский национальный технический университет

(Поступила в редакцию 17.07.2009)

Статистические исследования причин аварий и катастроф показывают, что свыше 80% отказов сварных металлоконструкций в процессе эксплуатации происходит по причинам разрушения сварных соединений и в зоне термического влияния (ЗТВ). Главная причина – допущенные при сварке технологические дефекты. Сварочные материалы являются одним из доминирующих факторов, влияющих на уровень качества сварных соединений. От правильного выбора и качественного состояния сварочных материалов напрямую зависят качество и работоспособность сварных соединений. Однако исследования удельного веса и количественная оценка этого влияния на общее состояние качества и работоспособность сварных соединений базовых совокупностей (БС) конкретных типоразмеров практически отсутствуют [1–3].

Известно, что расход сварочных материалов зависит от объемов производства горячекатаного проката, составляющего около 90% всего объема производства стали. Сварные конструкции (косвенная оценка) составляют около 65–75% от объема производства стального проката. По данным фирмы ЭСАБ (Швеция), в 2006 г. мировое потребление стали составило 1 222 млн т, в том числе в Китае – 356 млн т, Индии – 43 млн т, России – 36 млн т, в Беларуси – около 2,2 млн т.

Масса наплавленного металла в судостроении составляет в среднем 20–25 кг на 1 т строительных конструкций, в строительстве – в среднем 8–12 кг на 1 т. Расход сварочных материалов на 1 кг наплавленного металла при различных способах дуговой сварки и применяемых сварочных материалах составляет при ручной дуговой сварке (РДС) около 1,7 кг электродов, механизированной сварке в СО₂ и автоматизированной под флюсом (АСФ) – 1,15 и 1,03 кг сплошной проволоки соответственно.

Структура потребления сварочных материалов в мире по состоянию на 2006 г. представлена на рис. 1. Из диаграммы видно, что в странах Юго-Восточной Азии и Китая преобладает использование электродов, а в Японии, Южной Корее, США и Западной Европе – сплошная и порошковая проволока. Отсюда следует вывод, что в первом случае чаще применяют РДС, а во втором – механизированные и автоматизированные способы сварки.

Сварочные материалы должны выпускаться в соответствии с действующими (или международными) стандартами и специальными техническими условиями (ТУ) на

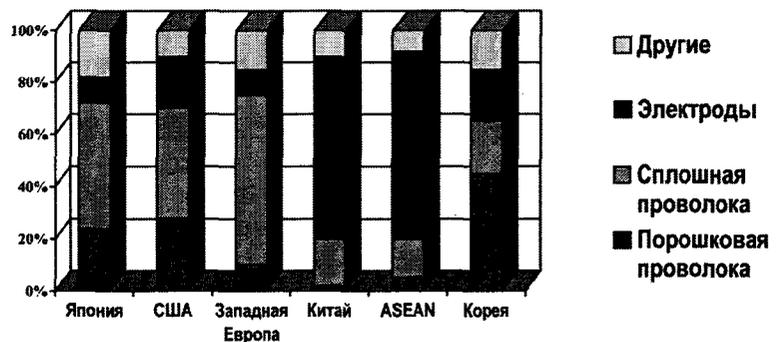


Рис. 1. Структура потребления сварочных материалов (по наплавленному металлу)

каждую марку сварочного материала. Для сварки стыков металлоконструкций и трубопроводов используются следующие сварочные материалы:

- электроды с основным и целлюлозным видами покрытия для РДС;
- защитные газы – двуокись углерода газообразная и смеси газов двуокиси углерода и аргона для автоматической и механизированной сварки;
- самозащитные порошковые проволоки для механизированной сварки;
- сварочные проволоки сплошного сечения для автоматической и механизированной сварки в среде защитных газов и автоматической сварки под флюсом;
- порошковые проволоки для автоматической сварки в среде защитных газов;
- флюсы агломерированные для автоматической сварки поворотных стыков.

Как показывают результаты выполненных исследований, некачественные сварочные материалы генерируют специфические дефекты сварных соединений. Это скопления и цепочки пор, шлаковые, оксидные, нитридные и другие включения, непровары с основным металлом, между отдельными слоями, дефекты формы шва. Поры, включения, непровары являются концентраторами напряжений.

Установление закономерностей причин (причинно-следственных связей) образования дефектов по фактору «Сварочные материалы» представляется сложной, но очень важной задачей, решение которой позволит создать историю качества сварных соединений конкретных БС в зависимости от применяемых сварочных материалов. На этой основе формируется система превентивных мер по предупреждению брака сварочных материалов и управлению качеством сварных соединений. Нами было установлено, что каждый доминирующий фактор сварочного производства (подготовка и сборка, сварочные материалы, сварочное оборудование, квалификация сварщика, технология сварки) имеет свои параметры состояния, которые могут оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на качество сварки [5–7]. Так, основные параметры состояния фактора «Сварочные материалы» – это сварочно-технологические свойства, условия хранения, состояние покрытия электродов и проволок, внешний вид и др. (табл. 1). Все партии сварочных материалов должны проходить входной контроль, включающий:

- проверку наличия сертификатов качества или сертификатов соответствия фирмы (завода-изготовителя);
- проверку сохранности упаковки;
- определение диаметра электродов и проволок и проверку их соответствия данным сертификата;
- проверку внешнего вида покрытия электродов и проволок – прочности (адгезии) покрытия электродов, отсутствие поверхностных дефектов электродных покрытий и проволок, разнотолщинность электродного покрытия;
- проверку сварочно-технологических свойств электродов и порошковых проволок при сварке катушек труб и металлоконструкций во всех пространственных положениях.

Таблица 1. Основные параметры состояния фактора «Сварочные материалы»

№ параметра	Факторный параметр
1.1.	Сварочно-технологические свойства (соответствие сертификату качества)
1.2.	Условия хранения (упаковка, герметичность, срок хранения)
1.3.	Состояние покрытия (прочность – адгезия покрытия электродов и проволок, разнотолщинность электродного покрытия)
1.4.	Внешний вид (наличие трещин, вмятин, сколов, масел, ржавчины и т. п.)

Электроды, порошковые проволоки, проволоки сплошного сечения и флюсы при условии сохранности герметичности упаковки и централизованного складирования в специально оборудованном помещении могут храниться без дополнительной проверки перед использованием в течение одного года. При хранении сварочных материалов более одного года они должны пройти повторную проверку состояния качества.

Если в результате обследования внешнего вида на поверхности проволоки или на электродном стержне обнаружены следы ржавчины и/или в результате проверки сварочно-технологи-

ческих свойств сварочных материалов установлено, что они не обеспечивают требуемого качества выполнения сварных швов, то такие сварочные материалы использованию не подлежат.

Исследование влияния сварочных материалов на общий уровень качества проводили при изготовлении сварных соединений технологических трубопроводов различных типоразмеров РДС, механизированной в среде CO_2 , в смеси $\text{CO}_2 + \text{Ar}$ и аргонодуговой сваркой (РАДС). Анализ дефектности производили на основе данных неразрушающих методов контроля: визуального, рентгенографического и ультразвукового.

Согласно формуле дефектности БС [3, 8, 9], структура дефектности по причинам определяется следующим образом:

$$D = \frac{\sum D_0}{\sum n} = \frac{\sum П}{\sum n} + \frac{\sum Ш}{\sum n} + \frac{\sum Н}{\sum n} + \frac{\sum Фш}{\sum n} + \frac{\sum Пр}{\sum n}, \quad (1)$$

где D_0 – общее количество дефектов; n – количество проконтролированных участков шва ($l = 300$ мм); П – поры и их скопления; Ш – шлаковые включения; Н – непровары; Фш – дефекты формы шва; Пр – прочие дефекты.

В табл. 2 представлены данные о дефектности, генерируемой по причинам некачественных сварочных материалов. Связи причин с количеством дефектов не выявлено. Однако легко просматривается важная статистическая связь структуры образуемой дефектности с ее причиной.

Таблица 2. Дефектность, выявленная по причинам фактора «Сварочные материалы»

Способ сварки	Сварено стыков, шт.	Проконтролировано участков $l = 300$ мм, шт.	Выявлено дефектов, шт.				
			поры и их скопления	шлаковые включения	непровары	дефекты формы шва	прочие
РДС	2100	5880	9410	8230	1170	1730	1760
РДС+ CO_2	2300	6210	8700	8450	1350	1430	1280
РДС+ $\text{CO}_2 + \text{Ar}$	1850	5360	8040	7240	1070	1240	1210
РАДС	1550	4650	7200	6040	700	1160	1220
Структура дефектности			33350	29960	4290	5560	5470

Так, согласно формуле дефектности БС и формуле (1), структура дефектности по причинам фактора «Сварочные материалы» выглядит следующим образом:

$$ПС_1 = П(1,8) + Ш(1,3) + Н(0,2) + Фш(0,3) + Пр(0,3);$$

$$ПС_2 = П(1,6) + Ш(1,5) + Н(0,1) + Фш(0,3) + Пр(0,2);$$

$$ПС_3 = П(1,5) + Ш(1,4) + Н(0,2) + Фш(0,2) + Пр(0,3);$$

$$ПС_4 = П(1,7) + Ш(1,3) + Н(0,2) + Фш(0,2) + Пр(0,2);$$

$$Ф_M = П(1,6) + Ш(1,4) + Н(0,2) + Фш(0,3) + Пр(0,3),$$

где $ПС_1$ – сварочно-технологические свойства электродов и проволоки; $ПС_2$ – условия хранения; $ПС_3$ – адгезия покрытия электродов и проволок, разнотолщинность электродного покрытия; $ПС_4$ – внешний вид (сколы, трещины, ржавчина, загрязнения); $Ф_M$ – структура дефектности по фактору.

Таким образом, установлено, что каждый отрицательный параметр исследуемого фактора является причиной уникальной, только ему присущей структуры дефектности (рис. 2). Из диаграммы, представленной на рисунке, видно, что в структуре дефектности по причинам фактора «Сварочные материалы» преобладают дефекты: поры и их скопления 1,6; шлаковые включения 1,4 на участок контроля. Непровары, дефекты формы шва и прочие дефекты здесь довольно редки: от одного до двух на 10 участков контроля. Установлено, что структуры образующейся дефектности при разных отрицательных параметрах фактора отличаются незначительно и имеют общие закономерности, позволяющие при сварке конкретных типоразмеров сварных соединений, способах сварки, свариваемых материалах и условиях сварки БС использовать их для повышения качества сварных соединений в каждом конкретном случае.

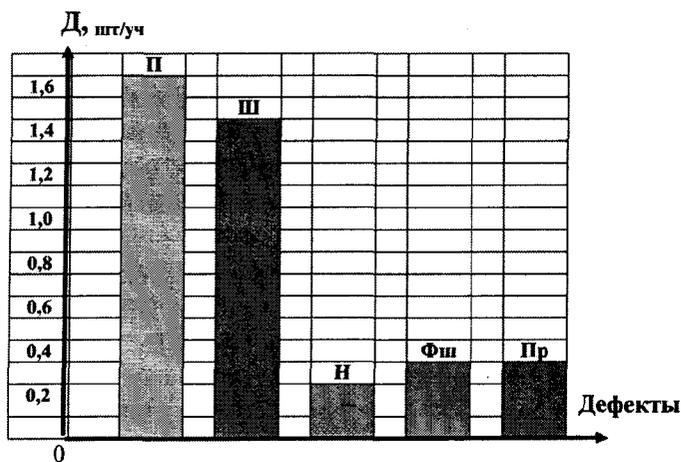


Рис. 2. Структура дефектности, образующаяся по причинам фактора «Сварочные материалы» при сварке технологических трубопроводов

Результаты исследования причин образования дефектности по фактору «Сварочные материалы» представлены в табл. 3. Видно, что доминирующими причинами, генерирующими 59,8% дефектов сварочных материалов, являются их сварочно-технологические свойства и адгезия (прочность) покрытия электродов и проволоки. Отсюда следует вывод о важности правильного выбора сварочных материалов при сварке конкретных марок сталей и их сплавов. Однако и другие параметры фактора также в определенной мере, а в общей сложности в 40,2% случаев могут генерировать брак сварных соединений.

Т а б л и ц а 3. Причины дефектности сварных соединений технологических трубопроводов по фактору «Сварочные материалы»

Способ сварки	Диаметр, мм	Толщина, мм	Марка стали	Сварено стыков, шт.	Забраковано сего(шт.) / процент брака	Забраковано (шт.) / удельный вес причины брака в процентах						
						всего по фактору	сварочно-технологические свойства	условия хранения	адгезия покрытия	внешний вид	прочие	
РДС	57	2,5	09Г2	1250	61/4,9	14/23,0	5/35,7	2/14,3	3/21,4	2/14,3	2/14,3	
РДС+CO ₂ +Ar	89	4,0	20Х	1270	73/5,8	16/21,9	7/43,8	3/18,8	3/18,8	2/12,5	1/6,3	
РАДС	89	4,0	14ХГС	5740	360/6,3	76/21,1	28/36,8	11/14,5	18/23,7	10/13,2	9/11,8	
РДС+CO ₂ +Ar	112	6,0	20Х	4300	290/6,7	71/24,5	24/33,8	9/12,7	15/21,1	12/16,9	11/15,5	
РДС	112	6,0	14ХГС	2790	215/7,7	57/26,5	21/36,8	8/14,0	12/21,1	9/15,8	7/12,3	
РАДС	289	10,0	14ХГС	2900	235/8,1	56/23,8	22/39,3	7/12,5	12/21,4	8/14,3	7/12,5	
РДС	289	10,0	20Х	1500	132/8,8	27/20,5	11/40,7	3/11,1	7/25,9	4/14,8	2/7,4	
РДС	500	14,0	14ХГС	1790	167/9,3	34/20,4	13/38,2	4/11,8	9/26,5	5/14,7	3/8,8	
Итого					21540	1533/7,2	351/22,9	131/37,3	47/13,4	79/22,5	52/14,8	42/12,0

Т а б л и ц а 4. Влияние сварочных материалов на уровень качества сварных соединений технологических трубопроводов

Способ сварки	Диаметр трубопровода, мм	Толщина стали, мм	Марка стали	Сварено стыков, шт.	Забраковано стыков, всего, шт.	Уровень качества, %	Забраковано стыков по фактору, всего, шт.	Удельный вес фактора, %
РДС	57	2,5	09Г2	1250	61	95,1	14	23,0
РДС+CO ₂ +Ar	89	4,0	09Г2	1270	73	90,7	16	21,9
РАДС	89	4,0	14ХГС	5740	360	92,3	76	21,1
РДС+CO ₂ +Ar	112	6,0	14ХГС	4300	290	93,7	71	24,5
РДС	112	6,0	14ХГС	2790	215	91,2	57	26,5
РАДС	289	10,0	20Х	2900	235	94,3	56	23,8
РДС	289	10,0	20Х	1500	132	93,3	27	20,5
РДС	500	14,0	20Х	1790	167	91,2	34	20,4
Итого				21540	1533	92,7	351	22,9

Полученные данные также дают возможность определения общего удельного веса влияния фактора «Сварочные материалы» на уровень качества сварных соединений конкретных типов-размеров в разрезе способов сварки, марок свариваемых материалов и условий сварочного процесса [10].

В табл. 4 представлены результаты исследования удельного веса влияния сварочных материалов на уровень качества сварных соединений технологических трубопроводов различных типо-

размеров при сварке разными способами. Видно, что удельный вес влияния сварочных материалов на уровень качества сварных соединений колеблется от 20,4 до 26,5%. При общем браке 1533 стыков и уровне качества 92,7% забраковано по причинам некачественных сварочных материалов 351 сварное соединение, что составляет 22,9%.

Выполненными исследованиями установлено влияние сварочных материалов на уровень качества сварных соединений и определен их удельный вес в формировании качества при изготовлении конкретных типоразмеров сварных соединений различными способами сварки. Этот важный вывод позволяет по каждой БС стыков до начала их изготовления или в оперативном режиме принимать обоснованные решения, направленные на оптимальный выбор и использование необходимых сварочных материалов, что безусловно повышает выходной уровень качества и работоспособность изготавливаемых сварных соединений.

Таким образом, выполнены исследования образования дефектности сварных соединений по причинам некачественных сварочных материалов. В результате установлено, что по структуре дефектности с вероятностью 0,85 – 0,9 определяются причины ее образования. Проведен анализ и выявлены основные причины дефектности сварных соединений технологических трубопроводов по фактору «Сварочные материалы», определен удельный вес влияния сварочных материалов на уровень качества и работоспособность сварных соединений. Полученные результаты позволяют принимать обоснованные управляющие решения по устранению отрицательного влияния сварочных материалов на качество сварных соединений.

Литература

1. Недосека А. Я. Основы расчета и диагностики сварных конструкций. Киев, 2001.
2. Шахматов М. В., Ерофеев В. В., Коваленко В. В. Работоспособность и неразрушающий контроль сварных соединений с дефектами. Челябинск, 2000.
3. Занковец П. В., Здор Г. Н., Шелег В. К. // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 2004. № 2. С. 118–122.
4. Занковец П. В., Шелег В. К. // Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах: Сб. тр. 2-й Междунар. конф. Киев, 2004. С. 95–98.
5. Занковец П. В., Шелег В. К. // Сварка и родственные технологии. Мн., 2004, № 6. С. 93–96.
6. Занковец П. В., Здор Г. Н., Шелег В. К. // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 2006. № 2. С. 107–113.
7. Занковец П. В. // Защитные покрытия, сварка и контроль: Сб. тр. 37-го межгосударственного семинара. Мн., 2006. С. 67–72.
8. Занковец П. В. // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 2007. № 2. С. 120–128.
9. Денисов Л. С., Занковец П. В. // Технологии–Оборудование–Качество: Сб. тр. 11-го междунар. симпозиума. Мн., 2008. С. 85–88.
10. Занковец П. В. // Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах: Сб. тр. 4-й Междунар. конф. Киев, 2009. С. 17–22.

P. V. ZANKOVETS, A. F. ILJUSCHENKO, L. S. DENISOV

STUDY OF WELDING MATERIALS INFLUENCE ON QUALITY LEVEL AND CAPACITY FOR WORK OF WELDING JOINTS OF TECHNOLOGICAL TUBINGS

Summary

Analysis of welding materials quality state is carried out. Welding joints unsoundness origination investigations for the reasons of welding materials poor quality are performed. As a result of investigations it is ascertained, that the faulty structure with 0,85 – 0,9 probability defines the reasons of its origination. Principal origins of welded joints unsoundness in technological tubings according to the «Welding materials» factor are recognised. On the basis of real results of welding technological tubings having various standard sizes by different welding methods, the welding materials contribution into their impact onto welding joints quality level and working capacity was investigated and determined.