

## АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СВАРОЧНЫХ ПРОВОЛОК ДЛЯ СВАРКИ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ ПРИ ТОЛЩИНАХ СТЕНКИ ТРУБ БОЛЕЕ 25,0 мм

*Д.С. Яковлев*

## ANALYSIS OF DIFFERENT TYPES OF WELDING WIRE FOR WELDING OF STEEL PIPES HAVING WALL THICKNESS GREATER THAN 25.0 mm

*D.S. Yakovlev*

Приведен сравнительный анализ различных типов сварочных проволок: проволоки сплошного сечения и порошковой проволоки. С использованием указанных материалов проведена сварка пластин в среде защитных газов. Приведены механические испытания сварных соединений, макроисследование. На основе полученных результатов сделан вывод о возможности применения порошковой проволоки для сварки продольных швов труб большого диаметра с толщиной стенки более 25,0 мм.

*Ключевые слова:* сварка труб, сварка проволокой сплошного сечения, сварка порошковой проволокой, механизированная сварка в среде защитных газов.

The article presents a comparative analysis of different types of welding wire: solid wire and cored wire. A welding of plates in protective gas environment was carried out with the use of these types of wire. Mechanical tests and macrostructure study were performed. The results allowed to draw a conclusion that the cored wire can be effectively used for welding longitudinal seams of large diameter pipes with wall thickness greater than 25.0 mm.

*Keywords:* pipe welding, solid wire welding, cored wire welding, gas-shielded mechanized welding.

В последние годы стабильно повышается спрос на трубы большого диаметра для нефтегазового сектора. Более 150 трубных заводов по всему миру производят приблизительно 30 млн тонн сварных труб в год.

Нефтегазодобывающие компании ведут разработку месторождений в различных климатических зонах, в том числе и в труднодоступных местах при пониженных температурах. В связи с этим для трубопроводов, эксплуатируемых в условиях крайне низких температур, предъявляются повышенные требования к оценке качества труб, особенно к прочностным и пластическим свойствам, а также величине сопротивления хрупкому разрушению.

С целью повышения эффективности разработки таких месторождений и доставки углеводородов потребителям компании предусматривают переход на транспортировку газа и нефти под давлением 10–15 МПа для сухопутных и 20–25 МПа для морских трубопроводов. Для реализации этого необходимо применение труб большого диаметра из сталей категории прочности X80, а в перспективе – до X120, что позволит существенно уменьшить металлоемкость и стоимость сооружения и эксплуатации трубопроводов.

Эффективность применения высокопрочных трубных сталей для строительства газонефтепро-

водов в значительной степени определяется рациональными технологическими процессами их сварки, обеспечивающими требуемый уровень прочностных, пластических свойств и сопротивления хрупкому разрушению сварных соединений.

Проанализировав существующую технологию производства труб и используемые на сегодняшний день прогрессивные технологии и материалы, были проведены экспериментальные исследования и оценка применения порошковой проволоки для сварки труб большого диаметра.

Порошковые проволоки давно известны своими свойствами и характеристиками, но ввиду высокой стоимости их применение во многих случаях было не целесообразно. За последние годы технология их изготовления совершенствовалась, появилась серьезная конкуренция среди производителей проволоки, что благоприятно сказалось на ее стоимости, которая все же остается достаточно высокой по сравнению с проволокой сплошного сечения [1].

Оценка использования порошковой проволоки и проволоки сплошного сечения проводилась на примере механизированной сварки в среде защитных газов – смеси на основе аргона (Ar 80 % + CO<sub>2</sub> 20 %).

Для выполнения работ были выбраны 2 сва-

рочные проволоки, химический состав которых приведен в табл. 1.

- проволока сплошного сечения марки 80Ni1 диаметром 1,2 мм;
- порошковая проволока марки G80M-H диаметром 1,2 мм.

Сварку производили в цеховых условиях на пластинах, эмитирующих ремонтные участки с глубиной разделки 75 % номинальной толщины стенки пластин. Обозначение сварных соединений приведено в табл. 2.

В результате радиографического контроля в сварных швах Ст.-02, Ст.-04 дефектов не обнаружено. В сварном шве Ст.-01 выявлены два скопления крупных пор: диаметром до 3 мм с суммарной протяженностью 30 мм и диаметром до 5 мм с суммарной протяженностью 50 мм, а в шве Ст.-03 – четыре одиночные поры диаметром 2–3 мм.

Результаты испытаний на растяжение образцов показали, что проволока 80Ni1 характеризуется более высокими значениями предела прочности металла шва. Результаты испытаний приведены в табл. 3.

На рис. 1 приведены результаты испытания на ударный изгиб при температуре –40 °С образцов

Ст.-01 и Ст.-02, и при температуре –30 °С образцов Ст.-03 и Ст.-04, показывающие, что более высокие и стабильные значения продемонстрировала порошковая проволока G80M-H.

Измерение твердости по Виккерсу (HV 10) на макрошлифах Ст.-01 и Ст.-02 выявило пиковое значение 286 HV10 рядом с линией сплавления, что несколько выше требуемого максимума 280 HV 10. Для проволоки G80M-H максимальное значение составляет 264 HV 10. Измерение твердости по Виккерсу на макрошлифах Ст.-03 и Ст.-04 показало одинаковый для обеих проволок результат и составило в ЗТВ 240 HV 10, что ниже нормируемого максимума 270 HV 10.

Анализ макроструктуры швов Ст.-01, Ст.-02, Ст.-03, Ст.-04 показал, что недопустимые дефекты отсутствуют. В сечении шва Ст.-01 выявлена мелкая одиночная пора диаметром около 0,6 мм, а в шве Ст.-03 – два несплавления длиной около 0,4 мм каждое и одиночная пора размером около 0,4 мм. Макроструктура швов Ст.-02 и Ст.-04, выполненных проволокой G80M-H, является более «равновесной» и с точки зрения обеспечения стабильности механических свойств металла шва бо-

Таблица 1

Химический состав сварочных проволок, %

Марка проволоки	C	Mn	Si	Ni	Ti	Cu	Cr	Mo	V	Al	S	P
80Ni1	0,07–0,08	1,5–1,6	0,65–0,75	0,85–0,95	≤0,1	≤0,2	≤0,05	≤0,01	≤0,03	≤0,01	≤0,015	≤0,015
G80M-H	0,03–0,04	1,7–1,79	0,37–0,41	0,9–0,98	–	–	0,07–0,11	0,24–0,27	0,022–0,023	–	0,008–0,012	0,015–0,017

Таблица 2

Контрольные сварные соединения

Номер соединения	Основной металл	Сварочный материал
Ст.-01	Пластины 450 × 150 × 27,7 мм из стали класса прочности K65	Проволока 80Ni1 Ø1,2 мм
Ст.-02		Проволока G80M-H Ø1,2 мм
Ст.-03	Пластины 1000 × 120 × 37,4 мм из стали марки SAWL 485	Проволока 80Ni1 Ø1,2 мм
Ст.-04		Проволока G80M-H Ø1,2 мм

Таблица 3

Результаты испытания на статическое растяжение цилиндрических образцов

	Номер образца	Диаметр образца, мм	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Поперечное сужение, %	
Сталь K65	1-1	5,91	658,91	601,85	23,45	69,20	
	1-2	5,96	665,80	583,87	25,62	67,65	
	Среднее значение			662,335	592,86	24,535	68,425
	2-1	5,99	644,27	588,64	26,89	66,83	
	2-2	5,98	654,03	590,72	25,44	65,96	
	Среднее значение			649,15	581,25	26,165	66,395
Сталь SAWL 485	3-1	5,95	677,24	613,57	24,03	70,71	
	3-2	5,97	670,04	606,28	25,07	60,54	
	Среднее значение			673,24	609,925	24,55	65,625
	4-1	5,99	653,23	602,20	26,56	58,69	
	4-2	5,99	659,74	605,51	25,45	63,68	
	Среднее значение			656,485	603,855	26,005	61,185

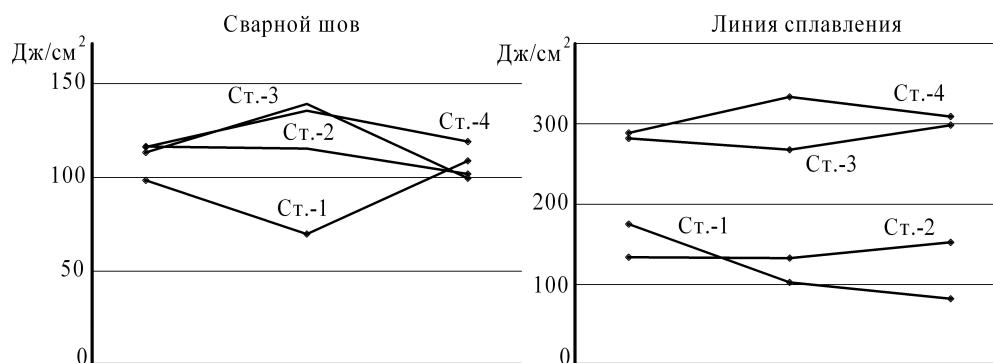


Рис. 1. Результаты испытания на ударный изгиб

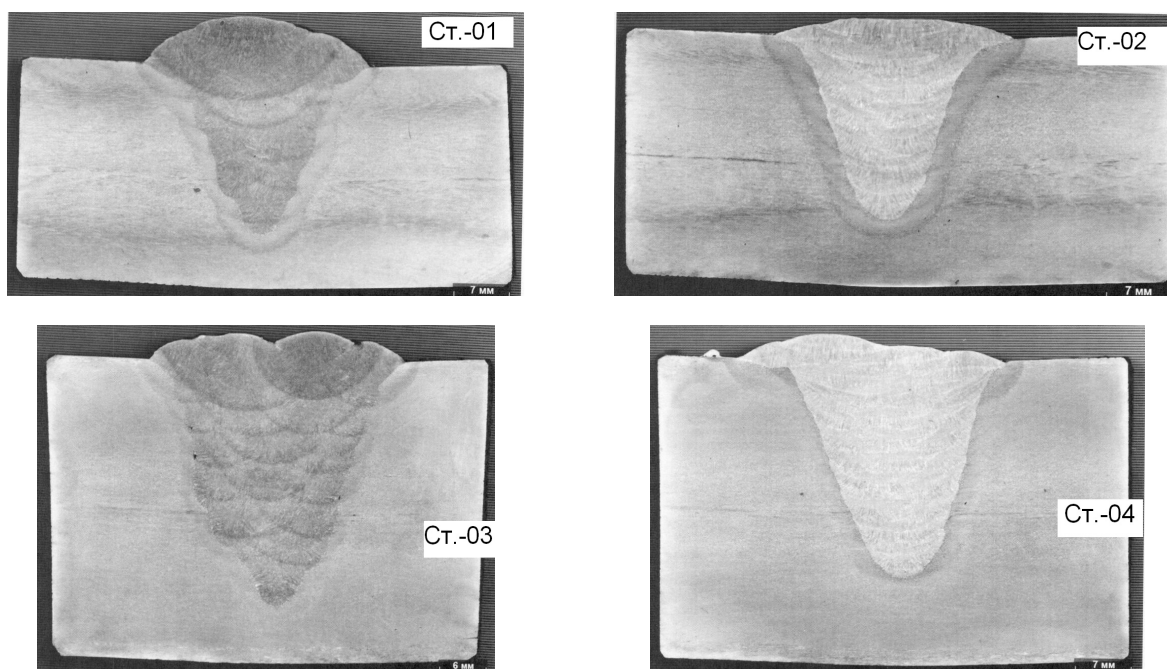


Рис. 2. Макроструктура сварных швов

лее предпочтительна. Шлифы сварных швов представлены на рис. 2.

Оценка химического состава металла швов показывает достаточно низкое содержание в них вредных примесей (суммарное содержание серы и фосфора не превышает 0,018 %), что является положительным фактором для обеспечения высоких служебных характеристик. При одинаковом содержании марганца содержание углерода и кремния в металле шва для порошковой проволоки G80M-H практически в 2 раза ниже, чем в металле шва сплошной проволоки 80Ni1.

По результатам неразрушающего контроля и оценки макроструктуры швы, выполненные порошковой проволокой G80M-H, отличаются более высоким качеством.

В ходе проведенного экспериментального сравнения проволоки сплошного сечения и порошковой проволоки можно сделать вывод, что порошковая проволока G80M-H обеспечивает более благоприятное сочетание прочностных, пластических свойств, твердости металла шва и зоны

термического влияния. Таким образом, даже несмотря на повышенную стоимость порошковой проволоки, ее применение дает ряд преимуществ, а именно высокий коэффициент расплавления проволоки, малую склонность к образованию трещин, высокие технологические сварочные свойства и некоторые другие показатели.

Проведенный анализ позволяет сказать, что применение порошковой проволоки для сварки основных швов при производстве труб большого диаметра является одним из перспективных решений, позволяющих повысить качество продукции при небольших затратах на перевооружение.

#### Литература

1. Исследования и разработки ИЭС им. Е.О. Патона в области электродуговой сварки и наплавки порошковой проволокой / И.К. Походня, В.Н. Шлепаков, С.Ю. Максимов, И.А. Рябцев // Автоматическая сварка. – 2010. – № 12. – С. 34–42.

Поступила в редакцию 25 июня 2012 г.