

Технология дуговой сварки стальных труб с внутренним остеклованным покрытием.

77-48211/585346

04, апрель 2013

Шатов А. П.

УДК 621.6.06; 621.6.076; 621.6.073.5

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

mt3@bmstu.ru

Огромные потери металла, в первую очередь в нефтедобывающей отрасли вызваны наличием агрессивной среды (сильноминерализованная, насыщенная сероводородом) вызывающей коррозию трубопроводов /1, 2/. Опыт эксплуатации нефтяных и газоконденсатных месторождений показывают, что шлейфы из труб к скважинам, монтируемых на сварке или резьбовых соединениях (насосно - компрессорные трубы) приходят в негодность вследствие интенсивной коррозии резьбовых соединений. Чаще всего наблюдается язвенная коррозия и утонение стенок труб. Одним из эффективных способов защиты с коррозией является нанесение остеклованного покрытия на внутреннюю поверхность труб. Внедрение этого способа защиты от коррозии стальных труб позволяет значительно продлить срок эксплуатации таких трубопроводов. Одним из прогрессивных способов получения неразъемного соединения на трубопроводах является сварка, однако до настоящего времени остаются неисследованными вопросы формирования монолитного стеклянного покрытия на внутренней поверхности остеклованных стальных труб в корне шва. В данной работе предпринята попытка разрешить эти проблемы технологии сварки таких конструкций.

Впервые процесс остеклования труб был произведен на базе Лениногорского НГДУ в ОАО «Татнефть» в газовой печи туннельного типа с применением гранулированного метода остеклования /1, 3/. После этого трубы сваривали в плети в нижнем поворотном положении на базе сборки и сварки. Основные характеристики укрупняющихся труб: диаметр и толщина стенки, а так же длина свариваемых труб соответственно $\Phi 114 \times 7$ мм., до 12 м, а длина плети (секции) до 36 м. Материал труб – Ст20, химический состав которой содержал в (%): С – 0,18-0,20; Si – 0,2 -0,23; Mn -0,55 - 0,65; S – 0,03 – 0,036; P – 0,016-0,18%

Форма разделки труб – V –образная. Сварку производили в поворотном положении электродами LB-52U диаметром 3,25 мм, и электродами УОНИ 13/55 диаметром 3 и 4 мм. и в углекислом газе с применением полуавтомата А -547У Режим сварки электродами LB-52U.: сварочный ток 110-130 А, напряжение на дуге 24-26 В; а электродами УОНИ 13/55 при диаметре 3 мм.: сварочный ток 130-140 А, напряжение 26-28 В, а при диаметре 4мм.: сварочный ток 160-180 А, напряжение на дуге 28-30 В, ток постоянный обратной полярности. Сварку проводили сместив электрод на 15-20 мм в сторону,

противоположную вращению трубы. Сварку в углекислом газе электродной проволокой Св – 08Г2С, диаметром 1,0 мм. проводили на режиме: сварочный ток 120-130 А, напряжение на дуге 21-24 В. при расходе углекислого газа 900 л/ч.

После сварки были проведены механические испытания образцов сварных соединений из остеклованных труб (рис. 1). Испытания проводили по ГОСТ 6996 - 06 , при исследовании на ударный изгиб использовались образцы типа Х, а при исследовании на статическое растяжение применяли гагаринские образцы типа III. Результаты механических испытаний образцов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Марка электрода	Подготовка внутренней поверхности трубы	σ_B , МПа	σ_T , МПа	Ударная вязкость KCV, Дж/см ² , при температуре, °С			
				+20	0	-20	-40
УОНИ-13/55	без покрытия остеклованная	440	247	200	185	165	145
		447	254	220	196	191	176
LB-52U	без покрытия остеклованная	450	260	225	196	190	169
		430	250	196	190	166	180
Св - 08Г2С	без покрытия остеклованная	480	275	210	195	170	155
		449	245	70	40	20	9,9

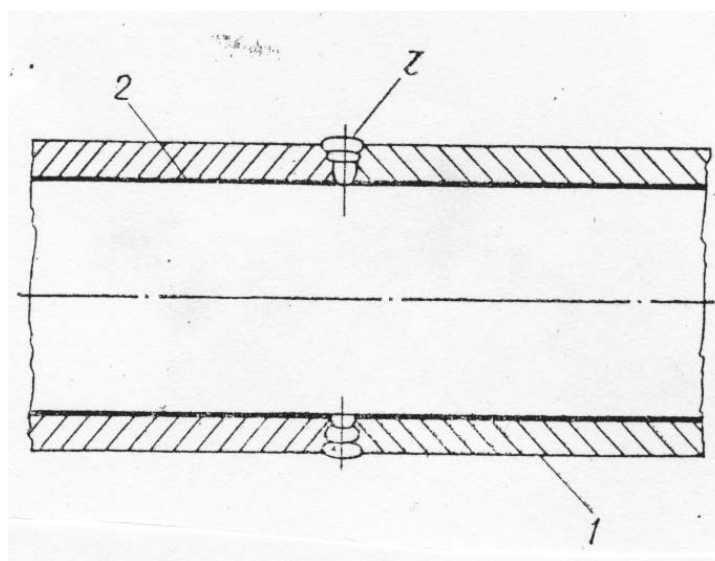


Рис. 1. Внешний вид стыкового соединения, используемого при сварке остеклованных труб: 1 - основной металл трубы, 2 - остеклованное покрытие, 3 - сварной шов.

Влияние остеклованного покрытия (табл. 3) на механические свойства швов, сваренных электродами УОНИ 13/55 и LB-52U, незначительно по сравнению со свойствами сварных соединений аналогичных труб сваренных в углекислом газе, особенно при сварке образцов остеклованных патрубков. Особенно это заметно снижение пластических свойств металла шва, что приводит к смещению порога хладоломкости в сторону положительных температур наблюдается при сварке образцов

остеклованных патрубков в углекислом газе (табл. 2) и связано с микролегированием бором, попадающего при сварке из остеклованного покрытия в металл шва в количестве (0,002 – 0,003 % В) (табл. 3). Кроме того, проведенные исследования на статический изгиб сварных образцов выявил следующее: показатели угла загиба составлял $\alpha = 180^0$ для испытанных сварных образцов, за исключением аналогичных образцов, вырезанных из остеклованных (марка стекла СЗ -1 и СЗ-2) стальных патрубков полученных при сварке в углекислом газе плавящимся электродом. Формирование и монолитность покрытия в корне шва с внутренней поверхности обеспечивалось последующей обработкой наружной поверхности сварного шва пламенем газовой горелки.

Химический состав металла сварных швов, полученных при сварке электродами УОНИ - 13/ 55, LB -52U в углекислом газе электродной проволокой Св-08Г2С приведен в таблице 2.

Таблица 2

Марка электрода	Вид обработки внутренней поверхности трубы	Химический состав металла шва, %					
		C	Mn	Si	S	P	B
УОНИ - 13/ 55	Без покрытия	0,13	0,82	0,34	0,013	0,020	-
	Остеклованная	0,08	0,72	0,53	0,015	0,020	-
LB – 52U	Без покрытия	0,08	0,86	0,30	0,016	0,020	-
	Остеклованная	0,09	0,83	0,39	0,018	0,021	-
Св-08Г2С В CO ₂	Без покрытия	0,11	0,86	0,32	0,012	0,020	-
	Остеклованная	0,10	0,85	0,28	0,011	0,020	0,003

Исследование микроструктуры металла шва сварных соединений, полученных при сварке электродами УОНИ – 13/55, выявили наличие ферритно – перлитной структуры, которая становится измельченной ближе к корню шва, из-за влияния остеклованного покрытия при сварке (рис. 2).

а



б

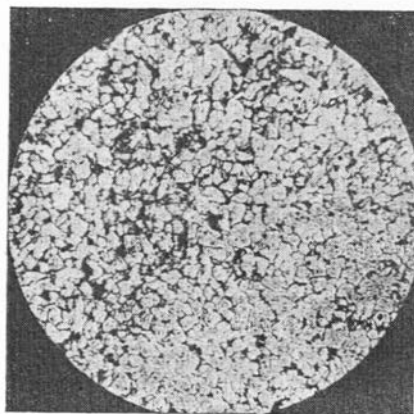


Рис. 2. Микроструктура металла шва сварного соединения из остеклованных труб, полученная при сварке электродами УОНИ-13/55: а – верхняя часть шва; б – корень шва.

Но в связи с тем, что наиболее распространенным и является сварка встык, при этом вид сварного соединения требует:

- необходимости проведения сортировки и подбора труб, подлежащих сварке, по диаметру, что в промышленном производстве сварных плетей в цеховых и полевых условиях сопряжено с большими трудностями;
- необходимости строгой ориентации труб относительно друг друга, так как один из торцов свариваемых труб должен иметь утолщение из стекла высотой 3 мм и шириной 4-5 мм;
- обязательное требование к целостности и толщине стеклянного покрытия на концах труб, которые в полевых условиях контролировать практически невозможно.

При этом главным недостатком этой технологии является отсутствие надежного стеклянного покрытия в стыках при V – образной разделки. В этой связи соединение труб осуществлялось с помощью наружных муфт, торцы которых сваривали с соединяемыми трубами.

В настоящее время ГОСТ 8732-2007 “Трубы стальные бесшовные горячекатаные” регламентируют допускаемые отклонения по размеру труб: +

- по наружному диаметру - при диаметре свыше 50 мм до 219 мм - - 1,0%
- по диаметру свыше 219 мм +
- 1,25%
- При толщине стенки до 15 мм включительно + 12,5%
- 15,0%

При наиболее неблагоприятных сочетаниях в отклонениях, в пределах допусков по внутренней поверхности стыкуемых труб, смещения могут быть определены по формуле:

$$\Delta = \frac{(D_{\max} - 2 S_{\min}) - (D_{\min} - 2 S_{\max})}{2}$$

где $D_{\max}$ - максимальный наружный диаметр трубы, мм

$D_{\min}$ - минимальный наружный диаметр трубы, мм.

$S_{\max}$ - максимальная толщина стенки, мм

$S_{\min}$ - минимальная толщина стенки, мм.

Не выполняя расчетов по всей номенклатуре труб, приводим данные по двум типоразмерам:

а) для трубы Ф114х7 мм. $\Delta = 3,07$ мм.

б) для трубы Ф325х10 мм $\Delta = 6,61$ мм.

Результаты расчетов показывают, что смещение внутренних кромок стыкуемых труб могут быть весьма значительными, поэтому оптимально допустимое смещение представляет важный показатель для сварки остеклованных труб с точки зрения формирования стеклянного покрытия на внутренней поверхности сварного шва в процессе его термообработки (газовым пламенем горелки или с применением электрических пальцевых нагревателей). Проведенные исследования по оценке влияния смещения как такового, но и расположение смещения в зависимости от положения его по окружности и направлению перемещения источника нагрева показали, что при поворотном стыке полное сплавление покрытия по всему периметру достигается при смещении не более 1,5 мм, а неповоротном – не более 0,7 мм.

Однако несмотря на недостатки сварки труб встык, они не исключают возможности применения рассмотренного способа соединения остеклованных труб. Кроме того, этот способ сварки встык позволил определить один из путей решения проблемы изготовления отводов и тройников из остеклованных труб. В настоящее время этот способ сварки труб может быть рекомендован в случае калибровки концов труб, с целью обеспечения стыковки их, исключающий смещение по внутреннему диаметру более 0,7 мм для полевых условий и 1,5 мм для цеховых.

При сварке остеклованных труб с применением наружной муфты было установлено, что самым ответственным моментом является начало сварного шва. В точке зажигания дуги и в период стабилизации ее стеклянное покрытие находится под воздействием мощного теплового удара. Из-за высокой скорости нагрева (до 90° С/с) и возникающих при этом больших температурных напряжениях наблюдалось растрескивание покрытия.

Проведенные исследования с целью определения режима сварки и начальной температуры на целостность стеклянного покрытия при сварном соединении с применением наружной муфты позволили сделать следующий вывод – одним из

сварных трубах, являются физические свойства стекла. Так, например, стекла марок СЗ - 3 и СЗ-4 (табл.3) могут быть применены при остекловании труб и последующей их сварки в трубопроводах нефтекомпрессорных НГДУ, так как в их химическом составе отсутствуют соединения бора, которые, как показали ранее проведенные исследования, снижают порог хладоломкости металла шва при сварке в сторону положительных температур, что может оказать неблагоприятное воздействие на эксплуатацию таких трубопроводов в условиях Севера и Западной и Восточной Сибири.

Таблица 3

Компоненты, входящие в состав стекол	Марка стекол и их хим. состав(%):			
	СЗ-1	СЗ-2	СЗ-3	СЗ-4
SiO ₂	52,5	53,0	52,7	53,9
Al ₂ O ₃	3,8	3,5	10,2	8,4
B ₂ O ₃	10,5	9,5	-	-
Na ₂ O	14,0	11,0	13,6	13,4
Li ₂ O	4,0	-	-	-
K ₂ O	-	9,8	7,7	7,7
CaF ₂	-	8,0	8,5	8,7
CaO	6,0	-	0,4	0,5
CoO	0,5	0,5	-	-
NiO	-	0,5	0,5	0,5
MgO	2,5	-	-	-
P ₂ O ₅	0,2	-	0,6	0,4
Fe ₂ O ₃	-	0,2	0,2	0,5
SiO ₂	-	-	3,8	4,0
TiO ₂	-	-	1,6	1,6
Cr ₂ O ₃	-	-	0,2	0,4

Иногда, как показывают проведенные исследования сварки остеклованных труб встык, смещение по внутреннему диаметру может достигать значительных величин, что резко ограничивает возможности применения этого типа соединения. Соединение труб с применением наружной муфты рекомендуется применять при ремонтной сварке остеклованных трубопроводов в полевых условиях, хотя такое соединение тоже не лишено вышеуказанного недостатка, так как допустимые ГОСТ 8732 – 78 отклонения по наружному диаметру также весьма существенны и составляют:

для труб Ф 114х7мм - 2,26 мм.,

для труб Ф 325х10 мм - 8,22 мм.

В связи с этим изучалась возможность соединения труб со специальной предварительной формовкой их концов (торцов), обеспечивающей защиту места стыка стеклянным покрытием (рис. 3). В первом варианте оба конца стыкуемых труб формируются в виде раструба. Соединение и сборка стыка выполняется на подкладном кольце, изготовленного из материала трубы. Соединение труб может осуществляться как ручной дуговой сваркой, так и сваркой в углекислом газе. Во втором варианте формовка

раструба выполняется только у одной трубы, а у другой – конец протачивается на токарном станке. Формовка, т.е. раздача концов труб производится нагревом до ковочной температуры в газовой печи.

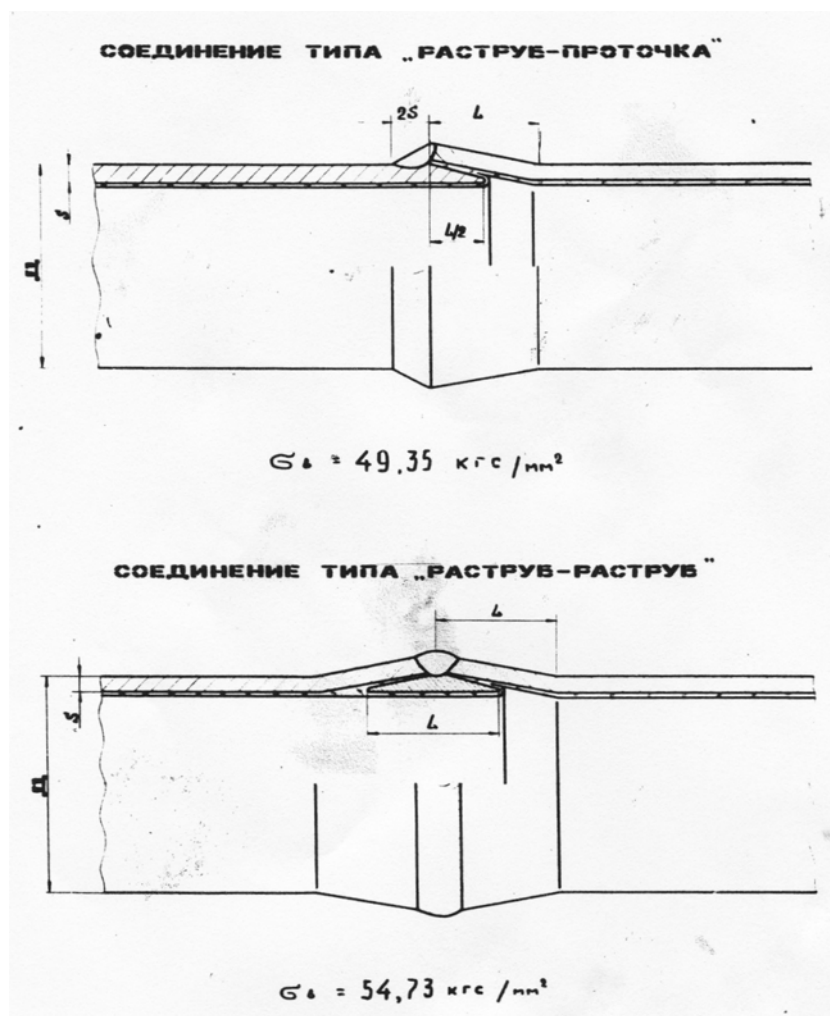


Рис. 3. Сварные соединения труб со специальной предварительной формовкой их торцов, обеспечивающего защиту места стыка стеклянным покрытием.

Проведенные испытания на статический разрыв сварных соединений показывают, что соединения имеют достаточную прочность (все разрушения происходили по металлу а не шву и составили $\sigma_{вр} = 450 \text{ МПа}$).

С точки зрения осуществления сборки под сварку эти соединения не имеют недостатков, присущих соединениям встык или соединениям с использованием наружной муфты, не требуют дополнительной операции формовки.

Выводы

1. Показана возможность применения остеклованных труб при монтаже технологических трубопроводов нефтекомпрессорных станции НГДУ с помощью сварки.
2. Исследованы показатели механических свойств, полученные при сварке электродами УОНИ -13/55 и LB -52U и в углекислом газе электродной проволокой Св-08Г2С стыковых соединений остеклованных трубопроводов.

3. Выявлено неблагоприятное воздействие соединений бора, содержащегося в стеклянном покрытии(СЗ-1, СЗ-2), использованного при остекловании стальных труб, особенно при сварке в углекислом газе электродной проволокой Св-08Г2С, приводящей к снижению пластических свойств металла шва таких соединений.
4. Установлены оптимальные показатели смещения торцов труб при их калибровке под сварку встык, которые составляют при сварке в поворотном положении труб. не более 1, 5 мм , а в неповоротном не более 0,7 мм для обеспечения оптимального формирования стеклянного покрытия в зоне сварного шва при последующей термообработки после сварки.
5. Рассмотрены альтернативные соединения (с помощью наружных муфт, специальной формовкой торцов труб) сваркой остеклованных труб и выявлены преимущества и недостатки этих соединений.
6. Проведенным исследованием установлено, что с учетом вышеуказанных замечаний, разработанная технология сварки остеклованных трубопроводов позволяет получить пол качественное сварное соединение с монолитном формирование с внутренней стороны стеклянного покрытия после сварки и использовать данную технологию при монтаже остеклованных трубопроводов нефте-компрессорных НГДУ в нефтедобывающей отрасли.

Список литературы

1. Шатов А.П., Стеклов О.И., Ступников В.П. Сварка и ремонт металлических конструкций с противокоррозионными покрытиями. М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009, 174 с.
2. Стеклов О.И. Мониторинг и защита конструкций повышенной опасности в условиях старения и коррозии // Защита металлов, 1999, Т. 35, № 5 , с. 1-5.
3. Стекло. Справочник. / Под ред. Н.М. Павлушкина. М.: Стройиздат,1973