

УДК 621.791:624.014.45(571.51)

**Н.Е. Крюков<sup>1</sup>, И.Н. Ковальский<sup>1</sup>, Н.А. Козырев<sup>2</sup>,  
В.Ф. Игушев<sup>2</sup>, Р.Е. Крюков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций

<sup>2</sup> Сибирский государственный индустриальный университет

## **ИЗГОТОВЛЕНИЕ НЕФТЕНАЛИВНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ В СЕВЕРНОМ ИСПОЛНЕНИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СПЕЦИАЛЬНЫХ СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

ОАО «Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций» освоил технологию изготовления резервуаров для нефтепродуктов в северном исполнении. В настоящее время изготовление резервуаров производится по индивидуальным проектам в соответствии с «Правилами устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов» ПБ-03-605 – 03 и СНиП II-23 – 81.

Технологически сборка, сварка, контроль и сворачивание в рулоны полотнищ стенок резервуаров производятся на специальных установках для рулонирования. Применяется двухсторонняя сварка стыковых швов полотнищ стенок автоматическим способом под флюсом на верхнем ярусе и после протягивания полотнища с помощью барабана на нижнем ярусе.

При изготовлении резервуаров для нефтепродуктов в северном исполнении применяются низколегированные стали. Широко используется кремнемарганцовистая сталь 09Г2С, которая обладает удовлетворительной свариваемостью, имеет достаточно большой предел выносливости и малую склонность к хрупкому разрушению, что обеспечивает надежную работу сварных конструкций в течение длительного времени [1]. При сварке стали необходимо сформировать структуру, обеспечивающую равнопрочность сварного соединения и основного металла при отрицательных температурах, что достигается путем подбора соответствующего материала для формирования металла шва. При выборе режима и технологии сварки необходимо также предотвратить образование холодных трещин путем смещения области распада аустенита в сторону более высоких температур. Регулирование термического цикла сварки возможно путем изменения погонной энергии и применения предварительного или сопутствующего подогрева. Правильный выбор сварочных материалов позволяет получить сварной шов с высокими механическими свойствами без предварительного подогрева, который в ряде случаев технически невозможен.

При отработке технологии сварки на заводе были опробованы различные композиции проволок с флюсами, в результате выбраны оптимальные составы сварочных материалов и режимы сварки, обеспечивающие получение сварного шва с высокими механическими свой-

ствами и ударной вязкостью при отрицательных температурах.

Для сварки конструкций, позволяющей при высокой производительности процесса сварки обеспечить необходимый уровень механических свойств при работе при температурах ниже  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , обычно используются сварочные проволоки марок Св-08ГА и Св-10НМА и окислительные флюсы, предназначенные для сварки низколегированных сталей.

При сварке стали 09Г2С под флюсом проволокой марки Св-08ГА формируется преимущественно феррито-перлитная структура, при использовании проволоки марки Св-10НМА формируется феррито-перлитная структура с мелкодисперсными темнотравящимися выделениями, состоящими из бейнита, мартенсита и остаточного аустенита без заметной ориентировки.

На механические свойства металла шва (особенно на ударную вязкость) большое влияние оказывают состав флюса и режим сварки. Для сварки низколегированных сталей широко применяются окислительные флюсы марок АН-348А, АН-67, АН-60 [2, 3].

Наибольшее распространение для автоматической дуговой сварки под слоем флюса металлоконструкций из стали 09Г2С нашли применение проволока Св-08ГА и флюс АН-348А. Этот флюс дает глубокое проплавление, хорошее формирование шва с плавным переходом к основному металлу. Металл шва имеет высокие механические свойства, однако удовлетворительная ударная вязкость металла шва при плюсовой температуре при отрицательных ( $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) температурах снижается до значений ниже допустимых. Низкая ударная вязкость при отрицательных температурах, по-видимому, связана с повышенным содержанием кислорода в швах, который накапливается в металле шва за счет окислительно-восстановительных процессов между жидким металлом и шлаком. Такой флюс не рекомендуется для сварки конструкций, работающих в условиях севера и при температурах ниже  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  [2].

Получению металла шва с высокой ударной вязкостью способствует флюс АН-67, но при этом ухудшается формирование шва, что связано со снижением содержания оксидов кремния во флюсе. С целью

улучшения формирования шва сварку выполняли под смесью флюсов АН-348А и АН-67.

При сварке на форсированных режимах используется флюс АН-60, что позволяет получать металл шва с низким содержанием кислорода и высокой ударной вязкостью. Недостатки использования этого флюса: наблюдается малое проплавление свариваемого металла, неудовлетворительные санитарно-гигиенические условия труда при сварке под этим флюсом. Сварка под смесью флюсов АН-60 и АН-348А позволила получить глубокое проплавление, наблюдается хорошее формирование шва и высокие механические свойства металла шва.

Рекомендуемая для сварки ответственных работающих при отрицательных температурах металлоконструкций из стали 09Г2С проволока марки Св-10НМА в отличие от проволоки марки Св-08ГА содержит больше углерода, а также никель и молибден, которые значительно повышают прочность металла шва и ударную вязкость при отрицательных температурах, дают мелкозернистую структуру. Опыты показали, что хорошие результаты при сварке низколегированной стали 09Г2С получены при использовании проволоки марки Св-10НМА под смесью флюсов АН-348А и АН-60 при их содержании в соотношении 1:1. Механические свойства металла шва и ударная вязкость выше требуемых в государственных стандартах значений при отрицательных температурах. Формирование шва хорошее, наблюдается плавный переход к основному металлу.

В настоящей работе изучена структура шва, выполненного разными проволоками под разными флюсами, и зона термического влияния. Исследования проводили с помощью инвертированного металлографического микроскопа OLIMPUS GX-51 при различных увеличениях. В результате металлографического анализа сварных соединений установлено, что в зоне термического влияния наблюдается игольчатая видманштеттова структура феррита, образовавшаяся вследствие ускоренного охлаждения (рис. 1). В микроструктуре наплавленного металла наблюдаются вытянутые

зерна в направлении отвода тепла вследствие нагрева и ускоренного охлаждения. Структура металла шва, выполненного проволокой марки Св-10НМА, феррито-перлитная с вытянутыми ферритными зернами (рис. 2). По границам зерен расположены темнотравящиеся участки, представляющие структуру закалки.

Структура шва зависит от режима сварки и толщины полотна свариваемого металла, с увеличением которой повышается скорость охлаждения, что приводит к увеличению количества структур закалки в шве. Однако применение проволоки марки Св-10НМА для сварки швов на верхнем ярусе нежелательно, так как возможно образование трещин в швах при протягивании полотнища стенки с верхнего яруса на нижний и изгибе полотнища на барабане. Это связано с наличием в металле шва структуры закалки. Такие сварочные материалы можно применять при сварке без трещинообразования только на нижнем ярусе.

Оптимальной композицией сварочных материалов при сварке стыковых швов на верхнем ярусе является проволока марки Св-08ГА под смесью флюсов АН-348А и АН-67 при их содержании в соотношении 1:1. При сварке этой проволокой металл шва получается пластичным, без структур закалки. Структура металла шва, выполненного проволокой марки Св-08ГА, фер-

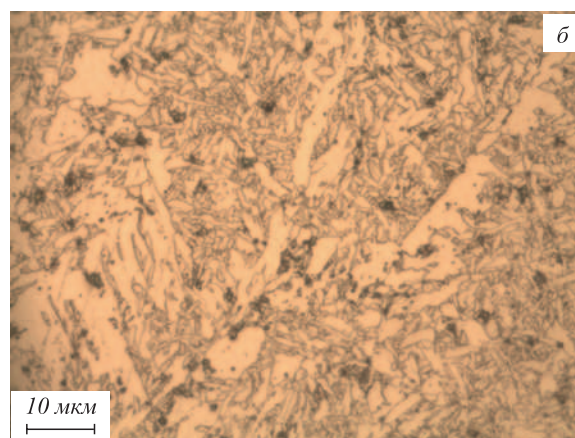
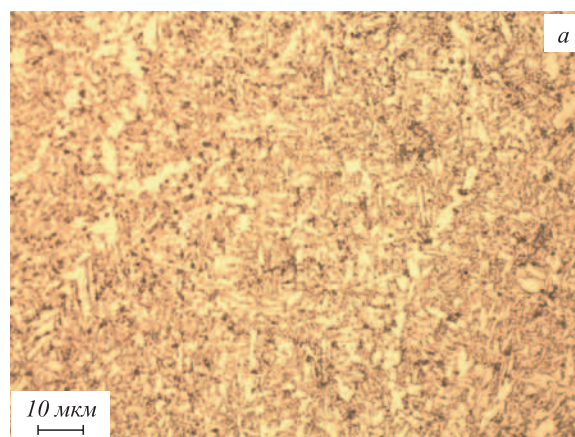


Рис. 2. Микроструктура сварного шва, выполненного проволокой марки Св-10НМА

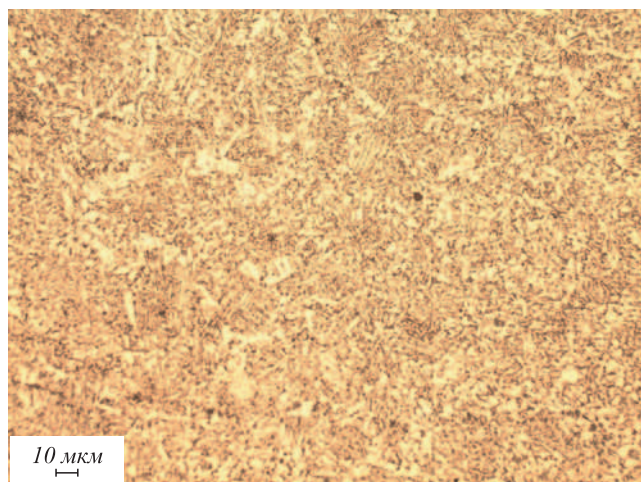


Рис. 1. Микроструктура зоны термического влияния стали 09Г2С



рито-перлитная (рис. 3). Механические свойства металла шва высокие. Добавка флюса АН-67 снижает скорость протекания окислительно-восстановительных процессов, способствует уменьшению содержания кислорода в шве и позволяет повысить ударную вязкость металла шва. При деформации полотнища стенки на барабане трещины в швах не образуются.

В результате проведенных работ выбрана оптимальная технология сварки полотнищ стенок резервуаров, работающих в условиях низких отрицательных температур. Это двухсторонняя сварка: с внутренней стороны резервуара проволокой марки Св-08ГА (на верхнем ярусе) под смесью флюсов АН-348А и АН-67 при их содержании в соотношении 1:1; с наружной стороны проволокой марки Св-10НМА (на нижнем ярусе) под смесью флюсов АН-348А и АН-60 при их содержании в соотношении 1:1.

В настоящей работе сварку осуществляли без разделки кромок до толщины листа 16 мм. На верхнем ярусе стыковые швы сваривали при режимах, обеспечивающих проплавление металла до 0,55 толщины листа. На нижнем ярусе сварку производили на токе, позволяющем получать проплавление металла до 0,7 толщины листа.

При рассмотренной схеме сварки стыковых швов полотнищ стенок резервуаров получаемый шов состоит в основном из металла, полученного переплавлением основного металла 09Г2С и электродного металла проволоки Св-10НМА. Механические свойства сварных соединений и швов определяли при температуре 20 °С, ударную вязкость КСЧУ металла шва и зоны термического влияния (ЗТВ) определяли при температуре –50 °С. Дополнительные значения ударной вязкости КСЧВ для швов, работающих при температурах –40 °С, согласно ПБ-03-605 – 03 определяли при температуре –20 °С.

Средние значения временного сопротивления ( $\sigma_b$ ), предела текучести ( $\sigma_t$ ), относительного удлинения ( $\delta$ ), ударной вязкости (КСЧУ, КСЧВ), полученные по результатам шести испытаний (числитель), минимальные и максимальные значения этих показателей (знаменатель) и температура ( $T$ ) испытаний приведены в таблице.

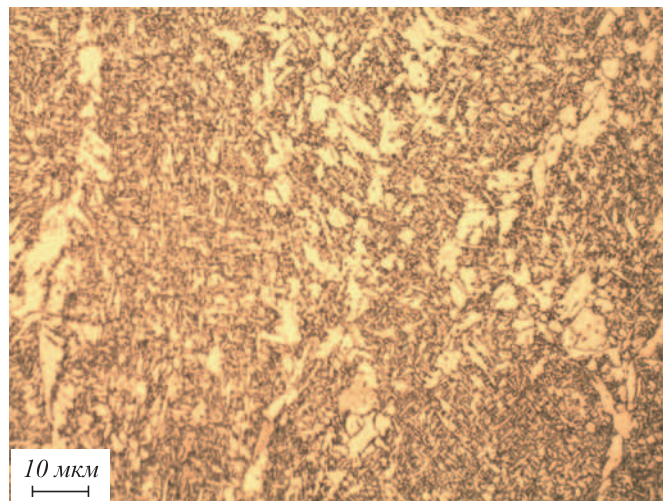


Рис. 3. Микроструктура сварного шва, выполненного проволокой марки Св-08ГА

Механические свойства и ударная вязкость шва и зоны термического влияния превышали требования ПБ-03-605 – 03.

При сварке резервуаров в северном исполнении также должна замеряться твердость сварного соединения, которая не должна превышать 280 НВ. Изучение распределения твердости по поперечному сечению сварного соединения показало, что твердость металла ЗТВ и металла шва составила 110 – 130 НВ и 155 – 170 НВ соответственно. Повышение твердости шва по сравнению с твердостью основного металла связано с наличием структур закалки в феррито-перлитной структуре. Твердость металла шва, выполненного по такой технологии, незначительно отличается от твердости основного металла и не превышает допустимых значений.

**Выводы.** Разработана технология изготовления полотнищ стенок резервуаров, работающих в условиях севера, подобраны композиции сварочных материалов (проволока и флюс), позволяющие получать сварные соединения с требуемыми механическими свойствами

#### Показатели механических свойств

Объект	$\sigma_{\text{в}}$ , МПа	$\sigma_{\text{т}}$ , МПа	$\delta$ , %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup> , сварного шва	КСУ, Дж/см <sup>2</sup> , ЗТВ	КСВ, Дж/см <sup>2</sup> , сварного шва	$T$ , °С
Сварное соединение	$\frac{523}{518 - 528}$	$\frac{375}{370 - 380}$	$\frac{25}{23 - 27}$	—	$\frac{90}{87 - 93}$	—	—50
Сварной шов	$\frac{535}{530 - 540}$	$\frac{360}{355 - 365}$	$\frac{25}{23 - 27}$	$\frac{70}{67 - 73}$	—	—	—50
				—	—	$\frac{40}{37 - 43}$	—20
Требования ПБ-03-605 – 03							
	$\geq 490$	$\geq 350$	$\geq 21$	$\geq 35$	$\geq 35$	—	—40
				—	—	$\geq 30$	—20

и ударной вязкостью при отрицательной температуре. Технология исключает образование трещин в сварных соединениях и обеспечивает высокую производительность при изготовлении полотнищ стенок резервуаров.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грабин В.Ф. Металловедение сварки плавлением. – Киев: Наукова думка, 1982. – 416 с.

2. Сварочные материалы для дуговой сварки: Справочное пособие в 2 т. Т. 1. Защитные газы и сварочные флюсы / Б.П. Конищев, С.А. Курланов, Н.Н. Потапов и др. / Под общ. ред. Н.Н. Потапова. – М.: Машиностроение, 1989. – 544 с.
3. Подгаецкий В.В., Люборец И.И. Сварочные флюсы. – Киев: Техника, 1984. – 166 с.

© 2012 г. Н.Е. Крюков, И.Н. Ковальский, Н.А. Козырев,  
В.Ф. Игушев, Р.Е. Крюков  
Поступила 30 марта 2011 г.

УДК 621.774.35

*С.Р. Рахманов*

Национальная металлургическая академия Украины (г. Днепропетровск)

## О МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА ПРОШИВКИ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ НА ПРОШИВНОМ СТАНЕ

Технологический процесс производства бесшовных труб на станах винтовой прокатки трубопрокатного агрегата (ТПА) предусматривает прошивку отверстий в сплошной цилиндрической заготовке с использованием различных технологических инструментов. Рабочие поверхности технологических инструментов (оправок, рабочих валков и линеек) в силу несовершенства их формы подвергаются интенсивному износу со стороны потока прошиваемого металла. Повышенный износ рабочей поверхности оправок, в частности, приводит к увеличению осевого сопротивления оправки в потоке металла и увеличению сил, действующих на стержневую систему механизма ее удержания на оси прошивки [1, 2]. Процесс прошивки трубной заготовки схематично показан на рис. 1.

Из-за ряда особенностей реализации схемы винтовой прокатки труб на станах ТПА (одного из самых сложных процессов ОМД) общеизвестные методы математического моделирования процессов прошивки не дали ожидаемых результатов. При этом из-за сложности процесса прошивки трубной заготовки существуют ограничения на применение общеизвестных методов расчета очага деформации, а также отсутствуют воз-

можности для полного представления и анализа динамики этого процесса.

В настоящей работе сделана определенная попытка по развитию уточненной математической модели динамики процесса прошивки трубной заготовки, которая адекватна действительным процессам взаимодействия металла с рабочими валками и оправкой.

Основной целью развития математических моделей технологического процесса прошивки трубной заготовки является получение картины распределения энергосиловых параметров в очаге деформации и выработка обобщающих практических рекомендаций по выбору оптимальных условий для реализации этих процессов. При этом создаются определенные предпосылки для разработки динамической модели калибровки технологического инструмента, например, оправки.

Построенная на базе гидродинамической аналогии и нетрадиционной реологии рабочей среды (металла) модель плоской задачи технологического процесса прошивки трубной заготовки (несколько в ином виде) развивает общеизвестные методы расчета, что позволяет расширить круг рассматриваемых вопросов [3, 4].

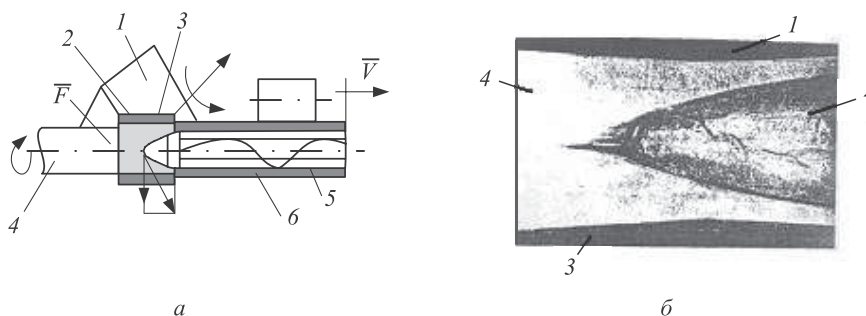


Рис. 1. Процесс прошивки трубной заготовки (а) и очаг деформации на стане винтовой прокатки труб ТПА (б): 1 – рабочий валок; 2 – оправка; 3 – линейка; 4 – заготовка; 5 – стержень оправки; 6 – гильза