

УДК 621.79

СВАРКА ДЛИННОМЕРНЫХ БЕЗМУФТОВЫХ ТРУБ УСТАНОВКИ РЕМОНТА СКВАЖИН

А. Г. ЛУПАЧЕВ, А. О. КОРОТЕЕВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В технологических и ремонтно-восстановительных работах, производимых на газовых, нефтяных и газоконденсатных скважинах, широко используют колтюбинг (англ. Coiled tubing – колонна гибких труб).

Колтюбинг конструктивно выполнен в виде гибких непрерывных труб, которые заменяют традиционные сборные бурильные трубы при работах внутри скважин. Такие трубы благодаря своей гибкости способны предоставить доступ даже в боковые и горизонтальные стволы, кроме того, не требуется производить операции по сборке/разборке бурильной колонны.

Для изготовления колтюбинга используют низколегированные высокопрочные стали с широким диапазоном механических свойств и размеров, технические данные приведены в табл. 1.

Табл. 1. Технические данные колтюбинга

Марка	σ_{02} , min, МПа	σ_B , min, МПа	Отношение σ_{02}/σ_B	Максимальная твёрдость HRC	Диаметры труб, мм	Толщина стенки, мм
GT-70 TM	483	552	0,875	22	19,5...60,33	2,21...8,46
GT-80 TM	552	607	0,909	22	19,5...127,0	2,21...8,46
GT-90 TM	621	669	0,928	22	19,5...127,0	2,21...8,46
GT-100 TM	689	758	0,909	28	19,5...127,0	2,21...8,46
GT-110 TM	758	793	0,956	30	19,5...127,0	2,21...8,46

Согласно СТБ ISO 15608/TR–2010, рассматриваемые стали относятся к группе 3. Расчеты показывают, что эквивалент углерода имеет значение $C_{\text{ЭКВ}} = 0,61...0,793$. При $C_{\text{ЭКВ}} \geq 0,45$ при сварке становится возможным формирование закалочных структур в металле сварного соединения, что при условии насыщения металла водородом и высоких сварочных напряжений может привести к образованию холодных трещин или трещин замедленного разрушения. Отношение предела текучести к временному сопротивлению составляет от 0,875 до 0,956. При таких значениях основной металл находится в квазихрупком состоянии, т. е. разрушение происходит без заметного пластического деформирования.

Высокое значение эквивалента углерода и показателей прочности повышает степень реакции стали на сварочный термический цикл, что проявляется в ее разупрочнении. Склонность к разупрочнению проявляется в зависимости от соотношения скоростей охлаждения $\omega_{кр}/\omega$, где $\omega_{кр}$ – условная критическая скорость охлаждения, при которой обеспечивается распад аустенита с образованием структур, имеющих твердость, соответствующую твердости свариваемой стали; ω – скорость охлаждения при сварке, которая определяется режимом сварки.

Установлено, что при сварке по традиционной технологии в зоне термического влияния образуется участок разупрочнения. При испытании на разрыв сварных соединений труб $\varnothing 38,1 \times 3,5$ мм из стали марки GT-90™ временное сопротивление разрыву уменьшается с 753 до 588 МПа, т. е. на 20 %. При этом значение предела текучести уменьшилось на 26 %. Такое разупрочнение обусловлено невысокой скоростью охлаждения и большим временем пребывания рассматриваемого участка при температуре рекристаллизации.

Для обеспечения требуемых механических характеристик сварного соединения использовали разъемные медные охлаждающие накладки. Они изготовлены из медного прутка и имеют толщину 10, 15, 25 мм и посадочный диаметр, позволяющий плотно облегать трубу. На них предусмотрен скос с наклоном 30 град, обращенный к сварному шву и позволяющий обеспечить доступ для сварочной горелки. Длина охлаждающих накладок – 100 мм.

Сварку контрольных соединений выполняли дуговой сваркой в инертном газе вольфрамовым электродом (141). Использовали присадочную проволоку диаметром 2,4 мм системы легирования Cr-Ni-Mn с гарантированным пределом текучести после сварки 450 МПа. Применение проволоки с повышенным содержанием марганца позволило отказаться от защиты обратной стороны шва инертным газом. Сварку выполняли в два прохода. После заварки корневого шва сварное соединение охлаждали в накладках до комнатной температуры. Затем вторым проходом заполняли разделку и охлаждали сварное соединение до комнатной температуры, не снимая накладок.

Применение сварочных материалов системы Cr-Ni-Mn, обладающих удовлетворительными механическими характеристиками в состоянии после сварки, позволяет существенно их увеличить при последующей эксплуатации колтюбинга за счет пластического деформирования сварного соединения в процессе намотки на рабочий барабан. При этом твердость металла сварного шва повышается до НВ 400 при сохранении показателей пластичности.