

УДК 621.789

Фазылов М. Р., Ямилев М. З., Файрушин А. М.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫПОЛНЕНИЯ СВАРНОГО УЗЛА ТРУБА – ТРУБНАЯ РЕШЕТКА КОЖУХОТРУБЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

На сегодняшний день применение недорогих и надежных материалов при изготовлении нефтегазового и нефтеперерабатывающего оборудования является актуальной задачей для машиностроительных предприятий. К разряду таких материалов можно отнести жаропрочную сталь мартенситного класса 15X5M, которая при своей невысокой стоимости обладает хорошими прочностными и антикоррозионными свойствами при высоких температурах.

Однако применение данной стали для изготовления сварного оборудования затруднено, вследствие ее низкой технологичности. Получение качественных однородных сварных соединений требует применения предварительной и последующей термической обработки со строгим соблюдением температурно-временных параметров операций термической обработки. Необходимость предварительного, сопутствующего подогрева и незамедлительного проведения последующей термообработки с целью снятия остаточных сварочных напряжений и предотвращения образования холодных трещин делают процесс изготовления оборудования энергозатратным, а в некоторых случаях практически невозможным. Применение альтернативной технологии сварки аустенитными сварочными материалами без последующей термообработки не всегда обеспечивают эксплуатационную надежность сварных конструкций, поэтому приоритетно изготовление сварного оборудования из мартенситных сталей применением однородных сварочных материалов [1, 2].

В последние годы достаточно много приводится информации о применении менее энергоемких методов, позволяющих снизить вероятность образования холодных трещин. К таким методам относят вибрационную и ультразвуковую обработку сварных соединений, которые позволяют значительно снизить уровень напряжений, а также улучшить механические свойства металла шва [3, 4].

С целью разработки ресурсосберегающей технологии изготовления сварных соединений из мартенситных сталей в данной работе была рассмотрена технология изготовления узла труба – трубная решетка кожухотрубчатого теплообменного аппарата.

Целью исследований было изучение влияния различных видов обработки в процессе сварки на технологическую прочность, геометрические параметры и твердость металла шва.

В работе проводилось исследование на натуральных образцах, моделирующих приварку трубы в трубной решетке с различными режимами обработки, указанными в табл. 1.

Таблица 1

Режимы сварки и обработки исследуемых образцов

Номер образца	Вид обработки	Вид сварки, режим
1	С подогревом 300 °С	Ручная дуговая сварка. Электрод – ЦЛ-17. Диаметр – 3 мм. $I_{св} = 90...110$ А.
2	Без подогрева с ультразвуковой обработкой (частота – 25 кГц)	
3	Без подогрева	
4	Без подогрева, с вибрационной обработкой (частота – 150 Гц)	
5	Без подогрева с ультразвуковой обработкой (частота – 25 кГц)	Полуавтоматическая сварка в среде аргона. Сварочная проволока – 10X5M. Диаметр – 1,2 мм. $I_{св} = 120$ А.
6	Без подогрева, с вибрационной обработкой (частота – 50 Гц)	
7	Без подогрева, с вибрационной обработкой (частота – 150 Гц)	

Образец представлял собой стальную заготовку (рис. 1), в которую вставлены и предварительно развальцованы три трубки для имитации трубного пучка в трубной решетке теплообменного аппарата. Толщина трубной решетки – 90 мм, диаметр трубок – 20 мм, толщина трубок – 2 мм.

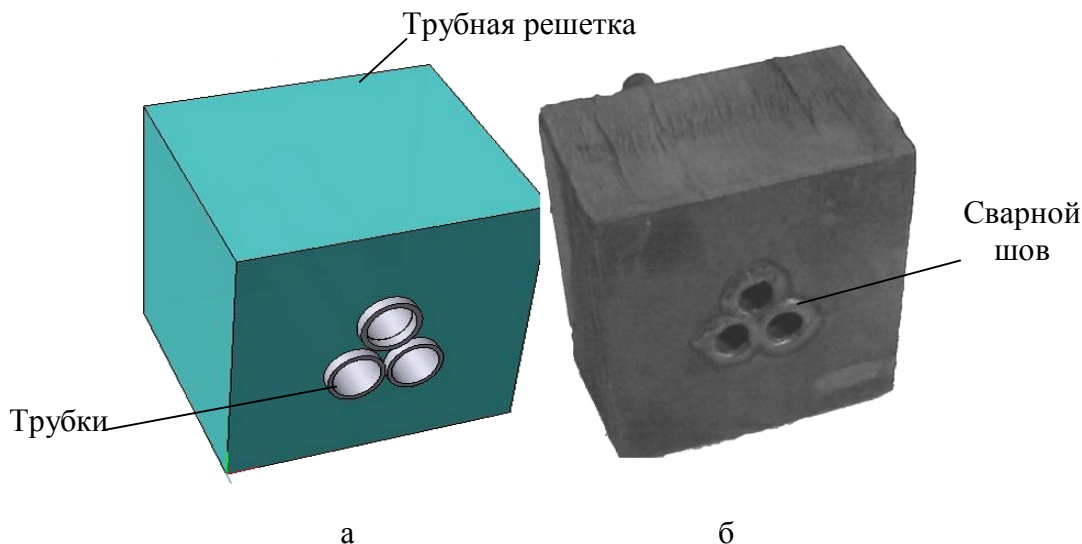


Рис. 1. Исследуемый образец:
а – объемная модель; б – фото образца

С целью определения технологической прочности сварных швов (выявления наличия холодных трещин) была проведена капиллярная дефектоскопия. Обследование образцов не выявило поверхностных дефектов.

Далее были проведены замеры твердости металла сварного соединения. Для определения твердости использовали портативный ультразвуковой твердомер МЕТ-У1. В каждой зоне было проведено 10 замеров твердости, результаты приводятся по средним значениям (рис. 2).

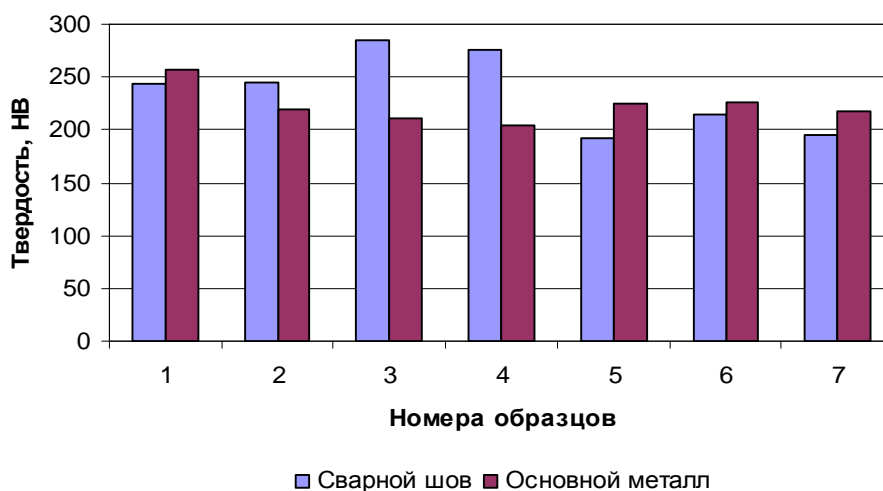


Рис. 2. Твердость образцов непосредственно после приварки труб к трубной решетке

На основе полученных данных можно судить о том, что вибрационная обработка позволяет снизить твердость металла сварного шва на промежуточном этапе. Это положительно сказывается на его технологических характеристиках.

После десятидневной выдержки при нормальных условиях была проведена термообработка образцов по следующему режиму: нагрев до температуры 740–760 °С, выдержка 3 часа и последующее остывание в печи со скоростью не более 100 °С/час.

После окончательной термообработки на образцах был произведен замер твердости. Результаты замера твердости приведены на рис. 3. После окончательной термообработки твердость сварного шва и зоны термического влияния лежат в допустимых пределах.

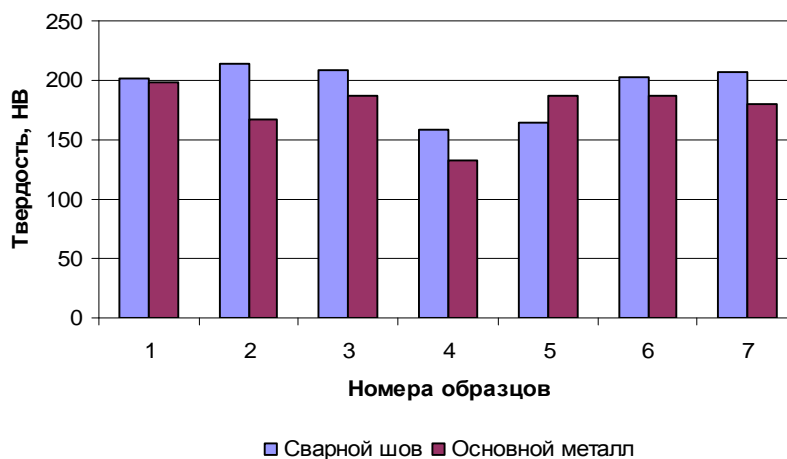


Рис. 3. Значения твердости образцов после термообработки

В данной работе также был рассмотрен другой способ сварки – контактная сварка. Контактная сварка это наиболее распространенный способ сварки давлением, вследствие своих преимуществ, среди которых особо выделяются: высокая производительность, простота процесса, высокий уровень автоматизации и механизации процесса, высокая прочность сварных соединений. Конструктивное исполнение узла труба – трубная решетка позволяет применять данный способ сварки, не прибегая при этом к каким либо сложным технологическим приемам и устройствам.

Для определения механических и геометрических характеристик сварного соединения были изготовлены пластинчатые образцы толщиной 2 мм, которые в дальнейшем сваривались на машине контактной сварки АТП-5. Режимы сварки образцов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Режимы контактной сварки

№	Сила сварочного тока, А	Время протекания тока, с	Сопутствующая обработка
1	22,8	«на проход»	нет
2	22,8	1	нет
3	22,8	2	нет
4	22,8	3	нет
5	22,8	5	нет
6	22,8	3	ультразвуковая обработка (частота 25 кГц)
7	22,8	3	вибрационная обработка (частота 50Гц)

После приварки образцов сварные соединения были визуально проконтролированы, на наличие внешних дефектов. Среди выявленных дефектов были обнаружены вмятина, которая образовалась в результате вибрационного ударного воздействия на металл (образец 7) и выплеск металла (образец 2) в результате нарушения режима сварки. Трещины в сварных соединениях не выявлены.

Далее были проведены замеры твердости металла шва, зон термического влияния, основного металла, а также их геометрические параметры. Результаты замеров показаны на рис. 4, 5.

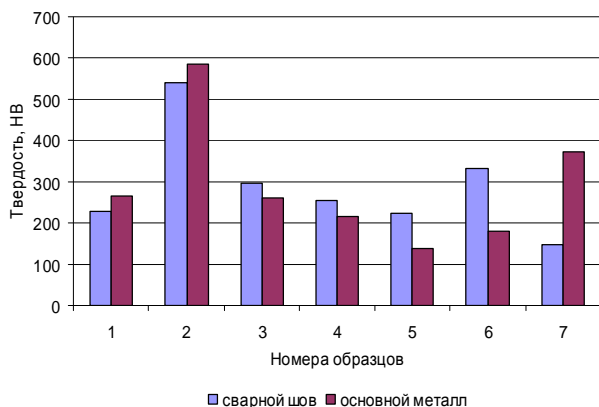


Рис. 4. Значение твердости по образцам

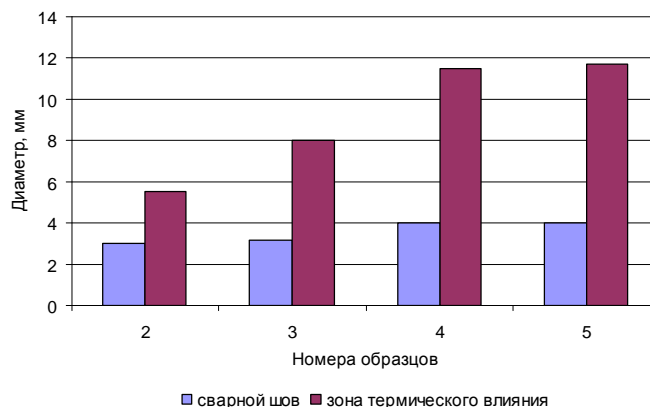


Рис. 5. Влияние времени выдержки на диаметр сварной точки и зоны термического влияния

Было также изучено влияния способа сварки на геометрические параметры сварных соединений. Результаты данных исследований показывают, что при аналогичных размерах сварного шва, размер зоны термического влияния при контактной сварке меньше, чем при дуговой на 20...25 %.

ВЫВОДЫ

1. Экспериментально установлено, что применение сопутствующей вибрационной либо ультразвуковой обработки взамен предварительного и сопутствующего подогрева в процессе дуговой сварки нефтегазового оборудования из жаропрочной мартенситной стали позволяет на межоперационном цикле, до проведения заключительного отпуска, снизить вероятность образования холодных трещин, тем самым увеличить технологическую прочность сварных соединений из стали 15X5M.

2. В результате комплекса проведенных исследований можно сказать о возможностях замены дуговой сварки на контактную, не снижая при этом механических характеристик сварного соединения. При этом будет повышена производительность труда, создаются реальные условия для автоматизации процесса сварки, соответственно повышения качества сварки, снижения энергозатрат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Халимов А. Г. Исследование свариваемости и разработка технологии сварки нефтеаппаратуры из малоуглеродистых хромистых закалывающихся сталей : дис. канд. технических наук / А. Г. Халимов. – Москва, 1980. – 278 с.
2. Халимов А. Г. Работоспособность сварных соединений из стали 15X5M / А. Г. Халимов, А. В. Бакиев, Р. С. Зайнуллин. – М. : ЦИНТИхимнефтемаш, 1991. – 84 с.
3. Сутырин Г. В. Снижение остаточных напряжений сварных соединений низкочастотной вибрационной обработкой / Г. В. Сутырин // Сварочное производство. – 1983. – № 2. – С. 22–24.
4. Энергосберегающая технология изготовления сварного нефтегазоперерабатывающего оборудования из стали 15X5M с применением вибрационной обработки / И. Г. Ибрагимов, Я. А. Колесников, Р. Г. Ризванов, А. М. Файрушин // Нефтегазовое дело. – 2006. – № 4. – Том 2. – С. 142–146.