

ПОВЫШЕНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ТРУБАХ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА, ИЗГОТОВЛЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИБРИДНОЙ ЛАЗЕРНО-ДУГОВОЙ СВАРКИ

Н.А. Терещенко, И.Л. Яковлева, М.А. Федоров¹, А.Б. Гизатуллин¹, Т.С. Есиев²

Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург

¹ПАО «ТМК», г. Челябинск

²ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Московская область

При строительстве магистральных газо- и нефтепроводов для повышения пропускной способности транспортируемого агента используются трубы большого диаметра, технологический цикл их изготовления труб включает операцию сварки. Трубопроводы прокладываются в районах со сложными геолого-климатическими условиями, поэтому требования, предъявляемые к материалу труб постоянно возрастают.

Большинство современных магистральных трубопроводов сооружается из прямошовных сварных труб. Материалом для их изготовления служат низкоуглеродистые низколегированные стали бейнитного класса, полученные по технологии контролируемой прокатки с последующим ускоренным охлаждением. В технической документации к трубам нормируются требования по химическому составу, показатели свариваемости, механические свойства при растяжении и ударном нагружении. Требования к прочностным и пластическим характеристикам основного металла и сварного соединения одинаковы, а для ударной вязкости сварного соединения необходимый показатель существенно ниже. Такое различие обусловлено тем, что традиционно применяемая дуговая сварка под слоем флюса (ДСФ) не может обеспечить вязкие свойства сварного соединения, сопоставимые со свойствами основного металла трубы. В этой связи для повышения ударной вязкости сварного соединения и конструктивной прочности трубы в целом актуально применение прогрессивных методов сварки.

В настоящей работе продемонстрировано, что для обеспечения высокого уровня вязких свойств в области сварного шва промышленную сварку труб большого диаметра перспективно осуществлять по инновационной технологии, совмещающей процессы гибридной лазерно-дуговой сварки (ГЛДС) и ДСФ. Процесс гибридной сварки заключается в том, что на одну сварочную ванну одновременно воздействуют два источника энергии - лазерный луч и электрическая дуга. Лазерный луч глубоко проникает в материал и стабилизирует дуговой разряд, в общую сварочную ванну вводится присадочный материал, который заполняет образованную лазерным лучом воронку и обеспечивает надежное соединение кромок.

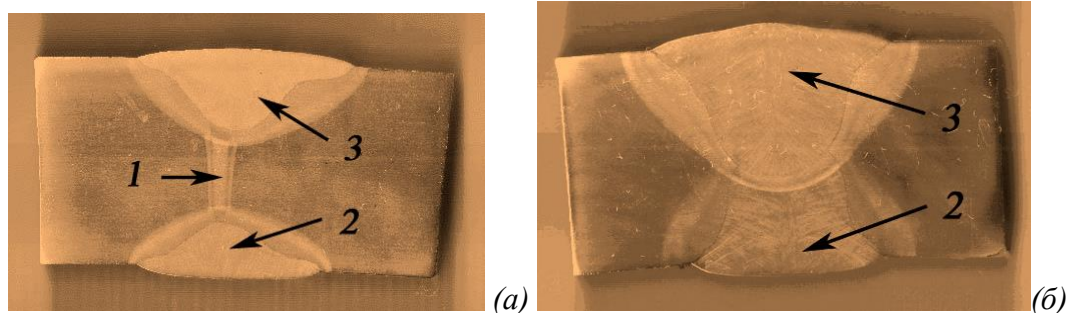


Рисунок - 1. Макроструктура сварных соединений труб толщиной 30 мм, выполненных с применением инновационной технологии (а) и традиционной технологии (б): 1 - шов ГЛДС; 2 – внутренний облицовочный шов ДСФ; 3 - наружный облицовочный шов ДСФ.

Сварное соединение, изготовленное по инновационной технологии, содержит корневой шов ГЛДС и облицовочные швы ДСФ, окаймленные зоной термического влияния (ЗТВ) (рис. 1а). В сварном соединении, выполненном по традиционной технологии, переплавленный металл присутствует во внутреннем и наружном швах ДСФ (рис. 1б). За счет малого тепловложения и особенностей термического цикла сварки, реализуемого в процессе ГЛДС, ширина корневого шва не превышает 2мм, а протяженность ЗТВ ограничена 1 мм. Для сравнения ширина облицовочных швов ДСФ на порядок больше и у поверхности трубы достигает 30 мм.

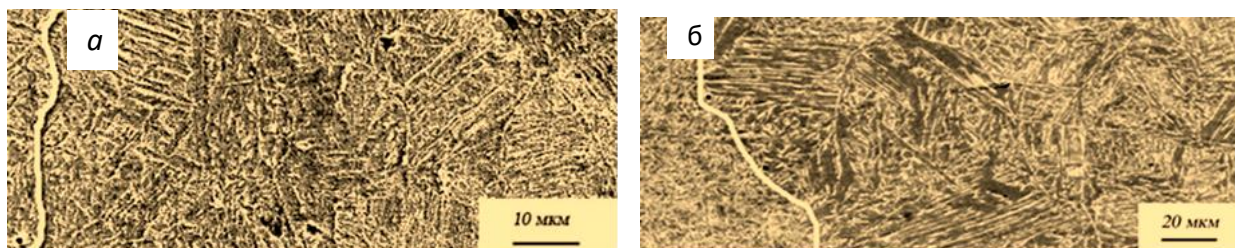


Рисунок – 2 Структура металла в зоне термического влияния на участке перегрева корневого шва ГЛДС (а) и облицовочного шва ДСФ (б). Белой кривой выделена линия сплавления, слева от нее – металл шва.

Фазовый состав металла швов и ЗТВ при использовании методов ГЛДС и ДСФ идентичны, а масштаб структуры существенно различается (рис.2). Основу структуры составляют кристаллы бейнита реечной и глобулярной морфологии. Размер «бывшего» аустенитного зерна на участке перегрева сопоставим с шириной столбчатых зерен металла шва и равен 40-60 мкм (для шва ГЛДС) и 150-200 мкм (для швов ДСФ).

В таблице приведены сведения об ударной вязкости образцов сварных соединений труб, изготовленных в заводских условиях ПАО «ТМК», г. Челябинск по различным технологиям. Можно видеть, что наличие корневого шва ГЛДС исключает зону локальной хрупкости, возникающую вблизи линии сплавления швов ДСФ при использовании традиционной технологии, и позволяет получить сварное соединение с повышенным уровнем вязких свойств. Фрактографический анализ изломов этих образцов показывает, что дисперсность, свойственная металлу шва ГЛДС и его ЗТВ, обуславливает высокую энергоемкость процесса зарождения магистральной трещины при ударных испытаниях и способствует реализации вязкого механизма разрушения металла по всей траектории ее движения.

| область сварного соединения / ориентация надреза | | KCV ⁻⁴⁰ , Дж/см ² | |
|--|------------------|---|------------|
| | | ДСФ | ГЛДС+ДСФ |
| наружный шов | металл шва | 211 | 211 |
| | линия сплавления | 37 | 200 |
| внутренний шов | металл шва | 219 | 221 |
| | линия сплавления | 89 | 193 |
| корневой шов | металл шва | - | 302 |
| | линия сплавления | - | 213 |

Опыт применения комбинированной технологии с использованием метода ГЛДС подтверждает высокое качество и стабильность вязких свойств сварных соединений труб, изготовленных из металлопроката больших толщин.