

УДК 621.791.011/.042

Исследование свойств сварных соединений при автоматической двухдуговой сварке магистральных газопроводов из высокопрочной бейнитной стали

Николаев Андрей Сергеевич

nikolaev1999@yandex.ru

Паршин Сергей Георгиевич

parshin@spbstu.ru

SPIN-код: 5399-6783

Иванова Ирина Владимировна

ivanova_iv@spbstu.ru

СПбПУ, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Выполнены исследования сварных соединений высокопрочных трубных сталей при двухдуговой автоматической сварке в среде защитных газов. Изучены механические характеристики при низкой температуре, распределение микротвердости, объем неметаллических включений, особенности микроструктуры.

Ключевые слова: двухдуговая сварка, сварные соединения, высокопрочные трубные стали, микроструктура, микротвердость, хладостойкость, ударная вязкость

Введение. Повышение производительности, ударной вязкости и хладостойкости сварных соединений при сварке магистральных газопроводов является актуальной задачей сварочного производства, решение которой основано на исследовании металлургических процессов [1], формировании микроструктуры [2] и неметаллических включений [3] под влиянием термического цикла сварки и диффузионного водорода [4, 5].

Методы и материалы; результаты. При исследовании выполняли двухдуговую сварку комплексом Dragoweld 700 вертикального стыка труб диаметром 1420 мм с толщиной стенки 21,6 мм из стали К60 с проволокой К600 диаметром 1 мм по AWS A5.18-ER70S-G в смеси газов 80 % Ar + 20 % CO₂. Испытания проводили при температурах до -60 °С по ГОСТ 6996-66, ГОСТ 9454-78, СТО Газпром 15-1.1-002-2023 на образцах из вертикального и потолочного участка стыка труб.

С понижением температуры с -40 до -60 °С средняя ударная вязкость шва на вертикальном участке снижалась в 1,49 раза с 167–204 Дж/см² до 100–148 Дж/см², по линии сплавления в 2,62 раза с 157–283 Дж/см² до 67,7–100 Дж/см². С понижением температуры испытаний с -40 до -60 °С средняя доля вязкой составляющей по сварному шву труб К60 снижалась в 1,2 раза с 64,6–66,6 % до 50–59 %, по линии сплавления в 1,95 раза с 58,3–72 % до 24,3–42,3 %. На участке замковых перекрытий в сварном соединении труб К60 средняя ударная вязкость по шву составляла 204–293 Дж/см², по линии сплавления 218–255 Дж/см², что выше, чем значения KCV₋₄₀ для вертикального участка в 1,34 и 1,07 раза соответственно. Этот эффект связан с перекристаллизацией при наложении замков и уменьшением размера зерна, что подтверждается анализом микроструктуры. Средняя доля вязкой составляю-

щей на участке замковых перекрытий по шву составила 68,6–71 %, по ЛС — 67,6–69,6 %, что выше в 1,05–1,06 раза на вертикальном участке.

Прочность сварного шва на вертикальном участке при растяжении образцов типа XXIV по ГОСТ 6996–66 составила при +23 °С: 732–738 МПа, при –40 °С: 772–784 МПа, при –60 °С: 782–804 МПа, при прочности основного металла 623 ± 9 МПа. Твердость в корне/усилении вертикального шва составила 269–287/250–266 HV_{0,18}, в слоях твердость возрастала до 285–300 HV_{0,18}, а между слоев уменьшалась до 230–240 HV_{0,18}. В швах потолочного участка в районе замков твердость распределялась равномернее: в корне/усилении 260–277/267–277 HV_{0,18}, в слоях твердость возрастала до 276–287 HV_{0,18}, а между слоев твердость уменьшалась до 238–249 HV_{0,18}. Объем точечных оксидов по методу Ш по ГОСТ 1778–2022 составил по вертикальному шву 4 балла, в потолочном шве объем точечных оксидов увеличился до 4–5 баллов, строчечных оксидов до 1–2 баллов.

Заключение. Установлены изменения микротвердости, оксидных включений и микроструктуры швов при двухдуговой сварке, ударной вязкости и прочности шва при низких температурах на потолочном и вертикальном участках сварного соединения труб.

Список источников

- [1] Паршин С.Г. *Металлургия сварки*. Санкт-Петербург, Изд-во Политех-Пресс, 2020, 508 с.
- [2] Николаев А.С., Паршин С.Г., Коротеев А.О. Исследование свариваемости трубных сталей при двухдуговой автоматической сварке магистральных газопроводов. *Сварка и диагностика*, 2025, № 4, с. 42–47.
- [3] Паршин С.Г., Николаев А.С. Исследование неметаллических включений в проволоках для дуговой сварки высокопрочных сталей и сплавов. *Сварка и диагностика*, 2025, № 2, с. 21–26.
- [4] Макаров Э.Л., Якушин Б.Ф. *Теория свариваемости сталей и сплавов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014, 487 с.
- [5] Кархин В.А., Левченко А.М. *Поведение водорода при сварке сталей*. Санкт-Петербург, Политех-Пресс, 2024, 321 с.