

## РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ МНОГОДУГОВОЙ СВАРКИ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ

А.М. Уланов, М.А. Иванов

## DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGY OF MULTIARC WELDING OF PIPE STEELS

A.M. Ulanov, M.A. Ivanov

Рассмотрен хронологический процесс развития трубных сталей как в России, так и за рубежом, а вместе с ним становление и совершенствование сварочных технологий. Проведен анализ литературных источников по данному направлению.

Ключевые слова: сварка под флюсом, технология сварки, многодуговая сварка, трубная сталь.

The chronological process of development of pipe steels both in Russia and abroad is considered, as well as the formation and improvement of welding technologies. The analysis of literary sources on this direction is carried out.

Keywords: welding under flux, welding technology, multiarc welding, pipe steel.

Бурное развитие сварочной техники в Советском Союзе началось в 30-х гг. прошлого века и продолжается сейчас в России непрерывными темпами. Россия, бесспорно, занимает одно из ведущих мест по объему применений и техническому совершенству сварки. В середине XX в. многодуговая сварка была развита и усовершенствована советскими инженерами и учеными и имела широкое применение при индустриализации Советского Союза, особенно в машиностроении и в строительстве.

Многодуговая сварка под флюсом в ее совершенном виде была широко разработана в теоретическом и практическом плане Е.О. Патеном и руководимым им коллективом Института электро-сварки Академии наук УССР, а также сотрудни-

ками ЦНИИТМАШ, завода «Электрик» и ряда других институтов и передовых заводов.

Хронологию развития отечественных и зарубежных трубных сталей хорошо демонстрируют схемы, представленные на рис. 1. Концепция разработки трубных сталей предусматривает снижение содержания углерода; повышение чистоты металла по вредным примесям ( $S \leq 0,001\%$ ,  $P \leq 0,010$ ); рациональное микролегирование; термомеханическую прокатку [1, 2]; снижение дефектности сварных швов [3]; повышение стойкости сварных труб против лавинных разрушений [4]; снижение остаточных сварочных напряжений [5].

Трубы класса прочности X70 за рубежом применялись с 1970-х гг. во многих проектах и показали хорошие эксплуатационные свойства.

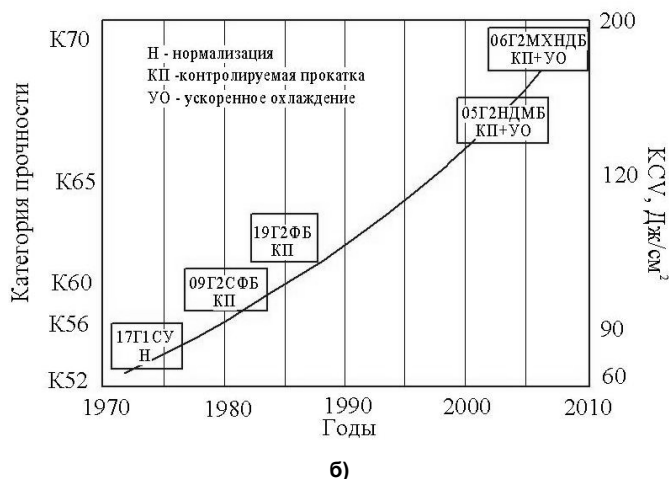
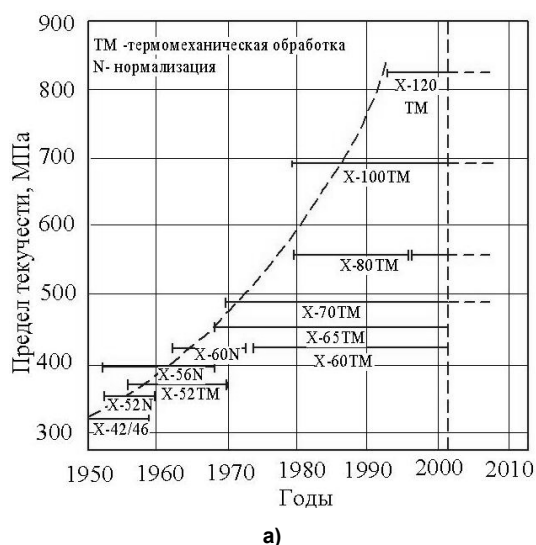


Рис. 1. Разработка высокопрочных трубных сталей за рубежом (а), в России (б) [1, 2]

В России им примерно соответствуют стали класса прочности К60. Дальнейшим развитием является разработка труб класса прочности Х80, которые впервые были использованы за рубежом в середине 80-х гг. XX в. для строительства опытных участков трубопроводов. В середине 90-х гг. XX в. за рубежом были разработаны и началось апробирование труб класса прочности Х100 для строительства трубопроводов. В последнее десятилетие выдвинуты требования по повышению прочности труб до Х120.

В России в рамках проекта «Магистраль» разработаны трубные стали класса прочности Х80–Х100 марганцевой композиции легирования с небольшими добавками никеля, меди и молибдена, микролегирования титаном, ванадием и ниобием [6–9], отвечающие всем требованиям зарубежной нормативно-технической документации.

В целях улучшения свариваемости трубные стали класса прочности Х80–Х90 содержат менее 0,10 % углерода; 1,7–1,9 % марганца; до 0,5 % меди, молибдена и никеля; не более 0,12 % микролегирующих элементов, таких как ванадий, ниобий, титан.

Мощная закрытая флюсом дуга глубоко расплавляет основной металл, позволяет уменьшить разделку кромок под сварку, а также снижается доля участия электродного металла в образовании шва: в среднем наплавленный металл образуется на 2/3 за счет расплавления основного металла и лишь на 1/3 за счет электродного [10].

В России в 80-е гг. Челябинский трубопрокатный завод занимался исследованием трехдуговой сварки пластин из стали 17Г1С размерами 600×400×15,2 мм [11]. Применялась проволока СВ-08ГА диаметром 4 мм и флюс АН-60. Ток на трех дугах – соответственно 1300, 1200 и 1100 А; охлаждение водяное.

На Украине, в Академии наук [12] проводили исследования влияния термического цикла однодуговой и двухдуговой сварки в  $\text{CO}_2$  на стойкость высоколегированной стали против образования холодных трещин.

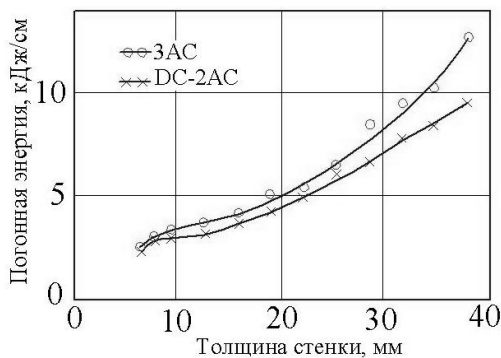
Установлено, что термический цикл сварки существенно влияет на стойкость закаляющихся сталей против образования холодных трещин. При замедленном охлаждении сварных соединений в области температур превращения аустенита вероятность образования холодных трещин в зоне термического влияния значительно снижается. Было отмечено, что двухдуговая сварка в  $\text{CO}_2$  обеспечивает благоприятную структуру сварного соединения при сварке стали 20ХГСНМ проволокой СВ-08ГСМТ при расстоянии между дугами 100 мм.

С целью увеличения скорости сварки продольных швов применяется многодуговая сварка под флюсом с использованием до пяти электродов. Это достигается комбинацией в сварочной ванне более одного электрода, что дает увеличение производительности по сравнению с однодуговой сваркой до пяти раз [13].

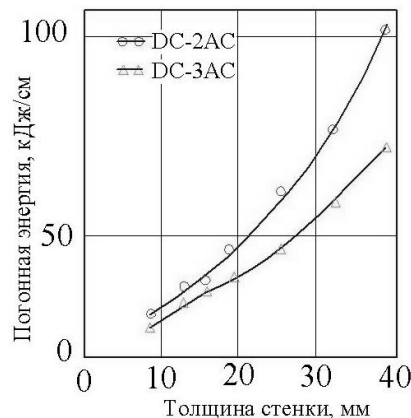
Ключевым свойством многодуговой сварки является получение швов без пористости и подрезов, с возможностью контроля формы шва при высокой силе сварочного тока и скорости сварки [14]. При этом используется комбинация с источником постоянного тока на первой дуге (DC) и переменного тока на остальных (AC) – комбинации DC–AC–AC–AC–AC, DC–AC–AC–AC. Подключение к ведущему электроду источника постоянного тока позволяет добиться увеличения проплавления при прочих равных условиях по сравнению с источником переменного тока. Также благодаря использованию данной комбинации источников происходит снижение погонной энергии для одной и той же толщины стенки, что становится особенно заметно при больших толщинах (рис. 2, а) [15].

Увеличение количества дуг позволяет снизить погонную энергию, что видно из рис. 2, б, на котором сравнивается сварка тремя и четырьмя электродами [15].

Таким образом, эволюционное увеличение количества дуг при многодуговой сварке оправда-



а)



б)

Рис. 2. Влияние источника постоянного тока на погонную энергию [15] (а); погонная энергия при трех- и четырехдуговой сварке [15] (б)

но повышением производительности труда, скорости сварки, улучшением качества сварного шва.

### Литература

1. Gray, M. Niobium bearing steels in pipeline projects / M. Gray // *Niobium science and technology: Proc. Int. Symposium on Niobium, Orlando, Florida, Dec. 2–5, 2001.* – P. 23–45.

2. Морозов, Ю.Д. Стали для труб магистральных трубопроводов: состояние и тенденции развития / Ю.Д. Морозов, Л.И. Эфрон // *Металлург.* – 2006. – № 5. – С. 11–15.

3. Пашков, Ю.И. Разработка классификатора дефектов для сварных труб / Ю.И. Пашков, В.А. Лупин, М.А. Иванов // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия».* – 2012. – Вып. 18. – № 15 (274). – С. 37–40.

4. Лупин, В.А. Проблемы лавинных разрушений газопроводов из сварных труб и способы их предотвращения / В.А. Лупин, Ю.И. Пашков, М.А. Иванов // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия».* – 2012. – Вып. 18. – № 15 (274). – С. 26–27.

5. Пашков, Ю.И. Остаточные сварочные напряжения и пути снижения стресс-коррозионных разрушений магистральных газопроводов / Ю.И. Пашков, М.А. Иванов, Р.Г. Губайдулин // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия».* – 2012. – Вып. 18. – № 15 (274). – С. 28–30.

6. Освоение производства штрипса К70 для труб большого диаметра на стане 5000 / А.А. Немтинов, А.М. Корчагин, А.Г. Попков и др. // *Металлург.* – 2008. – № 11. – С. 61–67.

7. Структура и свойства штрипса для труб большого диаметра из стали категории прочности Х80–Х100 / Ю.Д. Морозов, А.М. Корчагин, В.В. Орлов и др. // *Металлург.* – 2009. – № 3. – С. 57–65.

8. Исследование сопротивления деформированию и разрушению металла штрипса и труб категории прочности Х80, изготовленного методом ТМО / О.П. Виноградов, А.В. Ильин, В.В. Орлов и др. // *Металлург.* – 2009. – № 4. – С. 53–57.

9. Ердаков, И.Н. Ресурсосберегающий аспект в производстве литых плит из стали Гадфильда / И.Н. Ердаков // *Заготовительные производства в машиностроении.* – 2011. – № 11. – С. 3–5.

10. Серенко, А.Н. Температурные поля при многодуговой сварке с программированием режима / А.Н. Серенко, В.А. Шаферовский // *Сварочное производство.* – 1922. – № 7. – С. 23–24.

11. Рудаков, А.С. Длина ванны при многодуговой сварке под флюсом / А.С. Рудаков, А.К. Танчук // *Вопросы сварочного производства.* – Челябинск: ЧПИ. – 1975. – № 168. – С. 177–181.

12. Влияние термического цикла двухдуговой сварки в  $CO_2$  на стойкость 20ХГСНМ против образования холодных трещин / С.Н. Гончаров, Н.З. Гуднев, Ю.А. Стеренбоген и др. // *Автоматическая сварка* – 1982 – № 7. – С. 14–15.

13. Uttrachi, G.D. Multiple electrode systems for submerged arc welding / G.D. Uttrachi // *Welding journal.* – 1978. – May. – P. 15–22.

14. Мельник, С.С. Многодуговая автоматическая сварка стальных корпусных конструкций под слоем флюса АН-66 / С.С. Мельник, Н.Д. Ксенз, В.В. Кухаренко // *Сварочное производство.* – 1984. – № 8. – С. 37–38.

15. Four-wire submerged arc welding process with DC–AC power combination for production of high toughness line pipe / Z. Baba, M. Nagashima, M. Nakanishi et al. // *Transactions ISIJ.* – 1986. – Vol. 26. – P. 373–378.

Поступила в редакцию 7 сентября 2012 г.