

УДК 786.2

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИ СВАРКЕ ТРУБОПРОВОДОВ В  
КОТЕЛЬНЫХ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ****Сомпольцева Анна Александровна,**

Старший преподаватель

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова

a.sompoltseva@narfu.ru

**Емченко Светлана Владимировна,**

Старший преподаватель

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова

s.emchenko@narfu.ru

**Уколов Павел Александрович,**

Бакалавр

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова

ukolov.p@edu.narfu.ru

**Аннотация**

В данной статье проведён метод технологических особенностей при сварке трубопроводов в котельных высокого давления. При работе были применены электроды марки ЦЛ-39 фирмы Санкт-Петербургский электродный завод, и проволоки марки Св-08ХГСМА фирмы ESAB, применяющихся для сварки теплоустойчивых типа ХМ и низколегированных высокопрочных сталей.

**Ключевые слова:** трубопровод, орбитальная сварка, сварной шов, автоматизация, неповоротный стык.

**TECHNOLOGICAL FEATURES IN WELDING PIPELINES IN HIGH-  
PRESSURE BOILER ROOMS****Sompoltseva Anna Alexandrovna,**

Senior lecturer

Northern (Arctic) Federal University named after M.V.Lomonosov a.sompoltseva@narfu.ru

**Yemchenko Svetlana Vladimirovna,**

Senior lecturer

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

s.emchenko@narfu.ru

**Ukolov Pavel Alexandrovich,**

Bachelor

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

ukolov.p@edu.narfu.ru

---

## ABSTRACT

---

This article presents an method of studying technological features during welding of pipelines in high-pressure boiler houses. Electrodes of the following brand were used in the work TSL-39 of the St. Petersburg Electrode Plant, and brand wire Sv-08XГCMA ESAB company, used for welding heat-resistant type XM and low-alloy high-strength steels.

---

**Keywords:** pipeline, orbital welding, weld, automation, fixed joint.

---

Сварка является незаменимым способом соединения разных материалов. При сварочных работах значительно сокращается время выполнения работ, сохраняя при этом такие качества, как прочность и надёжность сварной конструкции. Обеспечение надёжности зависит во многом от качества сварных соединений трубопроводов, особенно при условиях повышенных требований к безопасности и эффективности.

На котельных высокого давления, сваривают трубопроводы углеродистых и низколегированных марок сталей (12Х1МФ, Ст10, Ст20, 17Г1С) [1,2], и применяются виды сварки такие как: (РДС - ручная дуговая сварка покрытыми электродами, РАД - ручная аргонодуговая сварка, П - полуавтоматическая сварка в среде защитного газа).

На данный момент научные исследования, технологические инновации дают нам возможность для повышения качества сварных швов при использовании робототехники и автоматизированных систем сварки.

Автоматическая и роботизированная сварка позволяет добиться высококачественных сварных швов. При сварке труб из сложных материалов высокой чистоты и теплоустойчивости, робот обеспечивает точное соблюдения режимов таких как (скорость сварки, сила тока, подача проволоки) и тд. Такие системы могут вести сварочные процессы в труднодоступных или опасных для человека условиях.

Трубопроводы диаметром до 200 мм часто сваривают поворотным способом, разбивая окружность стыка на две равные части, ведётся односторонняя сварка. При сплавлении кромок стыкового соединения формируется корень шва и обратная сторона сварочного шва. Для корневого шва используют электроды диаметром 2,5 мм, а для заполнения слоёв и облицовочного шва, электроды диаметром 3-4 мм.

Стыковые соединения вертикальные и горизонтальные (рис. 1), со свободным подходом к свариваемому изделию, выполняются сварщиком, который должен быть квалифицированным, не ниже 4-го разряда и с удостоверением о прохождении аттестации НАКС (Национальное Агентство Контроля Сварки). Разделку кромок и сварку выполняют по РД и ГОСТ [3, 4].

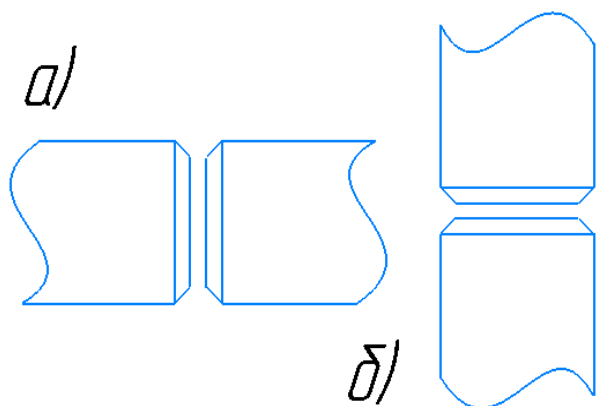


Рисунок-1 Стыковое соединение трубопровода (разработано авторам)

- а) вертикальное стыковое соединение на горизонтальной поверхности;  
 б) горизонтальное стыковое соединение на вертикальной поверхности.

В некоторых случаях стыковое соединение неповоротного трубопровода приходится сваривать в труднодоступных местах и с частичным обзором зоны сварки (рис. 2). Зачастую ручная дуговая сварка не предоставляется возможным из-за длины электрода, который приходится укорачивать чтоб подлезть к месту сварки, и плохим обзором соединения для сварки коня шва и тд.

Могут возникнуть такие дефекты как не сплавление, большая вогнутость обратного сварочного шва, подрезы и прожоги. А наличие хорошо сформированного обратного валика указывает на то, что шов проварен на всю глубину, что важно для прочности соединения.

В котельных также часто бывает повышенная влажность из-за которой образуется газы включения (поры) в сварном шве, поэтому следует подогреть деталь чтоб избавиться от повышенного содержания водорода.

Для соединений в труднодоступных местах применяют орбитальную сварку. Орбитальная сварка – это прогрессивное направление высокотехнологического процесса, которое используется при сварке трубопроводов, работающих под высоким давлением, при котором сварочный элемент (электрод или сварочная проволока) совершает орбитальное движение вокруг трубопровода, а дуга фокусируется на участке соединения [5]. Такой метод находит широкое применение в таких областях как:

- Энергетика;
- Атомная энергетика;
- Нефтегазовая промышленность;
- Химическая промышленность.

Для данного стыкового соединения (рис 2) мари стали 12Х1МФ, подбираем проволоку Св-08ХГСМФА диаметром 2 мм по ГОСТ 2246-70 и электроды ЦЛ-39 диаметром 2,5 мм по ГОСТ [6], для сварки низколегированной теплоустойчивой стали работающей при температуре среды до 510°С. Газ (75% Ar+25% CO<sub>2</sub>) расход газа рассчитывается по формуле:

$$Q = \pi \cdot D \cdot V \cdot K$$

Q- расход (л/мин); D- диаметр сопла(см); V- скорость сварки (см/мин); K- коэффициент запаса (1,2-1,5) из этого следует,

$$Q = 3,14 \cdot 0,8 \cdot 6 \cdot 1,2 = 18 \text{ (л/мин)}$$

Перед сваркой стык подготавливают, выполняют зачистку по 40 мм снаружи и 10 мм внутри при помощи УШМ и пневматической фрезерной машинки. Фаску снимают при помощи фаскоснимателя/торцевателя для металлических труб под углом 30°, стык С-17[4]. Стыковое соединение закрепляют центратором ЦЗН-159, выставляют зазор 2 мм.

Выставляем прихватки согласно НТД, при диаметре трубы 159 мм, выставляем 3 прихватки равномерно по периметру стыка, длиной 5-7 мм и высотой 4 мм. При сварке прихваток использовался сварочный выпрямитель ВД-306, сила тока I-70 А.

Соединение раскрепляют и производят подогрев газовым пламенем до 250° чтоб избежать дефекты, такие как микротрещины, газовые включения.

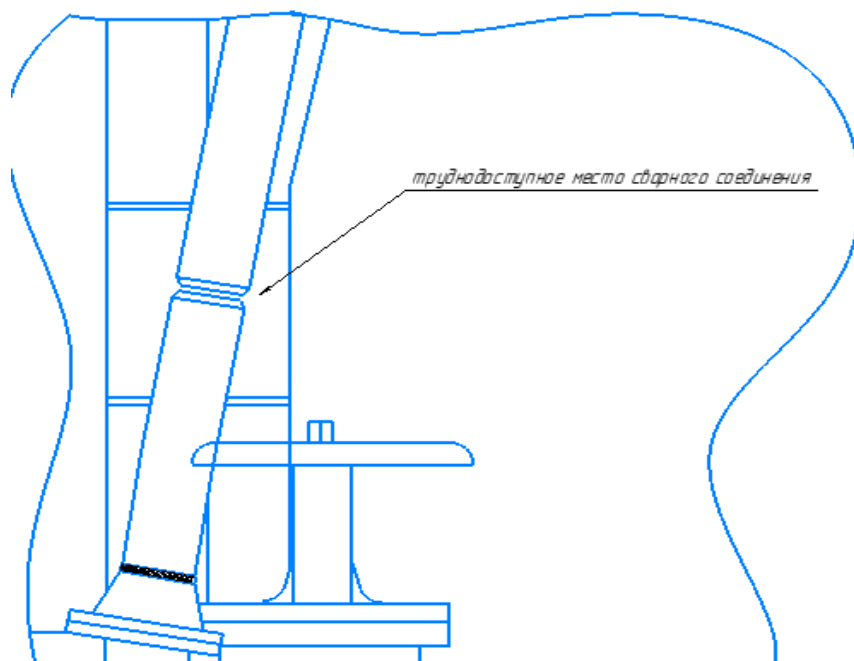


Рисунок - 2 Неповоротный стык трубопровода с ограниченным обзором (разработано авторам)

Для сварки стыка используются специализированные аппараты. Которые обеспечивают точное управление сварочным процессом. Современная модель ORBIMAT 300 SA, такой источник питания позволяет автоматически настраивать параметры сварки (диаметр, толщина стенки, материал). Функция управления сварочной головкой:

Скорость вращения головки вокруг стыка;

Скорость подачи присадочной проволоки, подача подогревающего тока на присадочную проволоку;

Колебания электрода включая задержки электрода на краях разделки;

Управление системой слежения за процессом сварки.

Источник питания может подключаться к персональным компьютерам, в таком случае облегчается программирование, которое модно выполнять не на монтажной площадке, а в условиях технологического бюро.

На стык устанавливают открытую сварочную головку, которая фиксирует процесс сварки (рис 3).

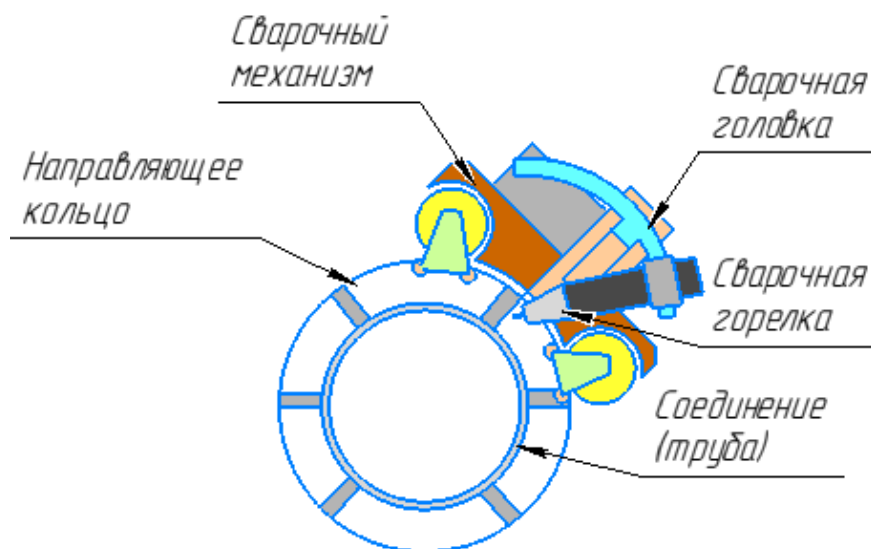


Рисунок – 3 Схема установки системы для орбитальной сварки [5]

Сварщик предварительно вводит в контроллер все находимые параметры. Для данного соединения устанавливают многоуровневую программу с постепенным снижением силы тока.

Уровень 1: (основной ток): устанавливают силу тока  $I - 120 \text{ А}$ , скорость сварки  $V_{\text{св.}} - 8 \text{ см/мин}$ , диаметр проволоки  $d_{\text{пр}} - 1,6 \text{ мм}$ , толщина металла  $S - 16 \text{ мм}$ ;

Уровень 2: Постепенное снижение тока (до 80-90% от уровня 1);

Уровень 3: Дальнейшее снижение тока (до 70-80% от уровня 1);

Уровень 4: (финишный): Около 80% от силы тока уровня 1, используется для «заполнения» шва и завершения цикла.

При заполнении следует следить за переходом края шва в основной металл без канавок и подрезов. Последний шов имеет выпуклую форму с плавным переходом к основному металлу, ширина шва 21мм [4, 7].

После сварки производят послесварочный подогрев режим термической обработки, для снятия внутренних напряжений в металле и предотвращением образований трещин. Подогрев выполняют газовым пламенем. Для низколегированной стали: температура нагрева  $550 - 580^\circ$ , скорость нагрева  $250^\circ \text{ С/ч}$ , время выдержки 2 мин на 1 мм. Контроль качества термообработки выполняют измерением твердости во всех зонах сварного соединения при помощи переносных приборов. Для низколегированной стали с нормальным временным сопротивлением разрыву 490-539 МПа твердость 160-200 НВ [5].

Стык заматывают огнеупорным матом до полного остывания, которое происходит в течении 24 часов. После полного остывания околошовную зону зачищают на расстоянии 20 мм [8].

Каждый сварочный шов проходит проверку неразрушающего контроля, ВИК (визуально измерительный контроль) и РК (рентгенографический контроль) с целью выявления скрытых дефектов, например, непровары, поры, трещины. По рентгенографическим снимкам (рис. 3) и заключению специалистов, все стыки сварены без дефектов и с соблюдением технологических требований.

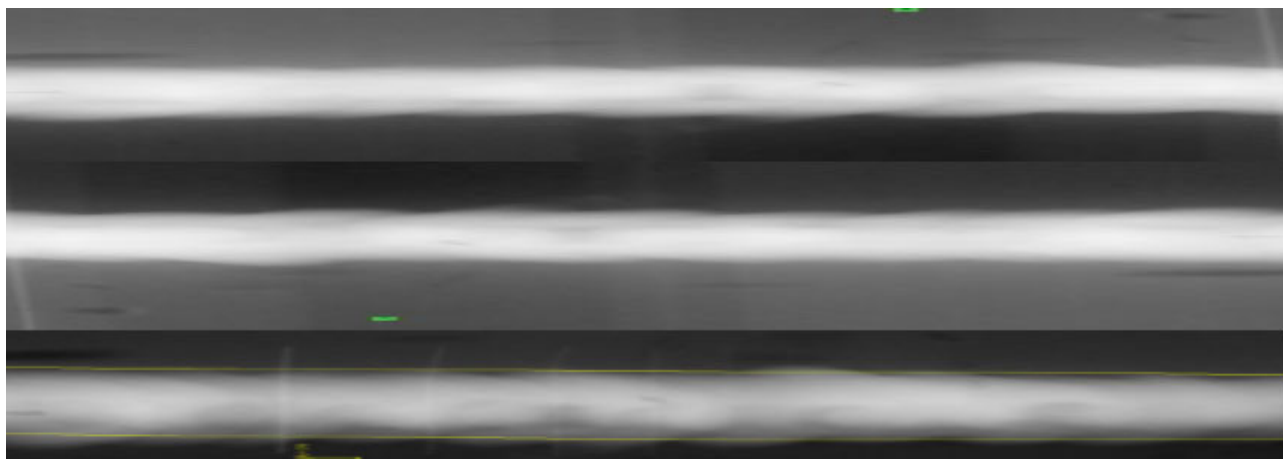


Рисунок- 4 Снимки стыка неповоротного трубопровода[9]

Таким образом, современные технологические достижения, кардинально меняют подход к сварке трубопроводов в котельных высокого давления. Использование автоматизированной робототехники позволят обеспечивать более надёжные соединения, это развитие способствует повышению безопасности энергетических систем и эффективности в условиях растущих требований к устойчивому развитию.

#### Список литературы:

1. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов. Санкт-Петербург: Лань, 2025. С.119-140.
2. Николаев Г.А., Ольшанский Н.А. Сварка в машиностроении. Справочник. 1978. С.511.
3. РД 153-34.1-003-01. "Сварка, термообработка и контроль трубных систем котлов и трубопроводов при монтаже и ремонте энергетического оборудования". Руководящий документ: Утверждён Министерством Энергетики Российской Федерации: введён в действие 2002-01-01/. – Москва: 2001. – 93 с.
4. ГОСТ 16037-80 "Соединения сварные стальных трубопроводов". Основные типы, элементы и размеры: Межгосударственный стандарт: дата введения 1980-07-01 / - Изд. официальное. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 1980. – 24 с.
5. Кусков В.Н. Технология и оборудование физико-технической и механической обработки. Том 2. Сварочное производство в нефтегазовом комплексе. Тюмень. 2018. С. 42-61.
6. ГОСТ 9467-75 "Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей". Типы: Межгосударственный стандарт: дата введения 1977-01-01 / -Изд. официальное. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 1975. – 7 с.
7. ГОСТ 2246-70 "Проволока стальная сварочная". Технические условия: Межгосударственный стандарт: дата введения 1973-01-01 / Министерство чёрной металлургии СССР: – Изд. официальное. – Москва: Стандартиформ, 2008. – 19 с.
8. ГОСТ 6102-94 "Ткани асбестовые". Общие технические требования: Межгосударственный стандарт: дата введения 1996-01-01 / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации: - Изд. официальное. – Минск: Издательство стандартов, 1995. – 8 с.

9. Dreamstime.ru: База рентгенографических снимков: сайт. -URL: <https://ru.dreamstime.com> (дата обращения 20-11-2025). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

**References:**

1. Smirnov I. V. Welding of special steels and alloys. St. Petersburg: Lan, 2025. Pp. 119-140.
2. Nikolaev G.A., Olshansky N.A. Welding in mechanical engineering. Handbook. 1978. P.511.
3. RD 153-34.1-003-01. "Welding, heat treatment and inspection of boiler piping systems and pipelines during installation and repair of power equipment." Guidance document: Approved by the Ministry of Energy of the Russian Federation: entered into force on 2002-01-01/. - Moscow: 2001. - 93 p.
4. GOST 16037-80 "Welded joints of steel pipelines". Main types, elements and dimensions: Interstate standard: date of introduction 1980-07-01 / - Official ed. - Moscow: ИПК Publishing House of Standards, 1980. - 24 p.
5. Kuskov V.N. Technology and equipment for physical, technical and mechanical processing. Volume 2. Welding production in the oil and gas complex. Tyumen. 2018. Pp. 42-61.
6. GOST 9467-75 "Coated metal electrodes for manual arc welding of structural and heat-resistant steels". Types: Interstate standard: date of introduction 1977-01-01 / - Official ed. - Moscow: ИПК Publishing House of Standards, 1975. - 7 p.
7. GOST 2246-70 "Welding steel wire". Technical conditions: Interstate standard: date of introduction 1973-01-01 / USSR Ministry of Ferrous Metallurgy: - Official ed. - Moscow: Standartinform, 2008. - 19 p.
8. GOST 6102-94 "Asbestos Fabrics". General technical requirements: Interstate standard: date of introduction 1996-01-01 / Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification: - Official ed. - Minsk: Publishing House of Standards, 1995. - 8 p.
9. Dreamstime.ru: Database of X-ray images: website. - URL: <https://ru.dreamstime.com> (date of access 20-11-2025). - Access mode: for registered users.