

УДК 691.714.122

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4\(35\)-156-163](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4(35)-156-163)

EDN: LJDDYU

ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА ПРОДУКТОПРОВОДОВ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В СЕРОВОДОРОДНОЙ СРЕДЕ

З.Р. МУХАМЕТЗЯНОВ, д-р техн. наук

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
ул. Космонавтов, д. 1, г. Уфа, 450064, Российская Федерация

Аннотация

Введение. В статье рассматриваются методы повышения качества ремонта технологических трубопроводов, материал которых отличается насыщенностью сероводородом, взамен традиционных технологий ремонта, недостаточно учитывающих особенности эксплуатации в сероводородной среде.

Целью исследования является разработка технологии ремонта технологических трубопроводов, эксплуатируемых в среде сероводорода, с использованием ручной дуговой сварки плавящимся электродом.

Материалы и методы. Для достижения поставленной задачи проведены натурные эксперименты. В качестве исследуемого образца был выбран участок технологического трубопровода, срок эксплуатации которого составляет около 10 лет в среде сероводорода на установке гидрокрекинга нефтеперерабатывающего завода. Дегазация, т.е. удаление из металла в зоне ремонта диффузионно-подвижного атомарного водорода, проводилась устройствами электрического нагрева. Наплавка кромок свариваемых частей трубы слоем аустенитного или ферритного металла проводилась ручной дуговой сваркой.

Результаты. Разработанная технология ремонта технологических трубопроводов, эксплуатируемых в среде сероводорода, с использованием ручной дуговой сварки плавящимся электродом основана на применении дегазации и наплавки кромок металлом того же состава, что и основной металл. В этом случае положительное влияние наплавки обусловлено мелкодисперсным распределением в переплавленном металле неметаллических включений и благоприятным изменением их формы и химического состава.

Выводы. Эффективность технологии ремонта технологических трубопроводов с применением сварки достигается учетом при ее разработке свойств транспортируемого продукта и его влиянием на технологические процессы сварки. При разработке технологии сварки технологических трубопроводов, эксплуатируемых в среде сероводорода, обоснованы и предложены такие основные мероприятия, как предварительная дегазация металла труб, предварительная наплавка и термическая обработка кромок эксплуатируемой трубы.

Ключевые слова: технологический трубопровод, сероводородная среда, ручная дуговая сварка, дегазация, наплавка кромок, термообработка

Для цитирования: Мухаметзянов З.Р. Технология ремонта продуктопроводов, эксплуатируемых в сероводородной среде. *Вестник НИЦ «Строительство».* 2022;35(4):156–163. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4\(35\)-156-163](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4(35)-156-163)

Вклад автора

Мухаметзянов З.Р. – определение, обоснование и разработка технологии ремонта с применением ручной дуговой сварки технологических трубопроводов, эксплуатируемых в сероводородной среде.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 05.06.2022

Поступила после рецензирования 27.07.2022

Принята к публикации 02.08.2022

REPAIR TECHNOLOGY OF PRODUCT PIPELINES OPERATED IN A HYDROGEN SULFIDE ENVIRONMENT

Z.R. MUKHAMETZANOV, Dr. Sci. (Engineering)

Ufa State Petroleum Technological University, Cosmonauts str., 1, Ufa, 450064, Russian Federation

Abstract

Introduction. The article discusses the improved repair technologies of pipeline material saturated with hydrogen sulfide, which should replace conventional repair methods that ignore operational features in a hydrogen sulfide environment.

The aim of this work is to develop a technology for repairing pipelines operated in a hydrogen sulfide environment by manual arc welding using a consumable electrode.

Materials and methods. Full-scale experiments were carried out to achieve the goals. A section of an industrial pipeline was selected as a test sample, whose service life in a hydrogen sulfide environment at the hydrocracking unit of an oil refinery equals about 10 years. Degassing, i.e., the removal of diffusion atomic hydrogen from the metal in the repairing area, was carried out using electric heating devices. The surfacing of the pipe edges using a layer of austenitic or ferritic metal was carried out by manual arc welding.

Results. The developed technology for repairing pipelines operated in a hydrogen sulfide environment by manual arc welding using a consumable electrode involves degassing and surfacing the edges with metal having the same composition as the parent material. Here, the positive effect of surfacing lies in the fine distribution of non-metallic inclusions in the remolten metal and a favorable change in their shape and chemical composition.

Conclusions. The efficiency of the repair technology of industrial pipelines using welding is achieved by taking into account the properties of a transported product and its influence on the welding process. When developing the welding technology of industrial pipelines operated in the hydrogen sulfide environment, such basic measures as preliminary degassing of pipe metal, preliminary surfacing, and heat treatment of pipe edges are substantiated.

Keywords: industrial pipeline, hydrogen sulfide environment, manual arc welding, degassing, edge surfacing, heat treatment

For citation: Mukhametzyanov Z.R. Repair technology of product pipelines operated in a hydrogen sulfide environment. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;35(4):156–163. (In Russ.) [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4\(35\)-156-163](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4(35)-156-163)

Author contribution statement

Mukhametzyanov Z.R. – identification, substantiation, and development of repair techniques using manual arc welding of industrial pipelines operated in a hydrogen sulfide environment.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Received 05.06.2022

Revised 27.07.2022

Accepted 02.08.2022

Введение

На объектах нефтегазового комплекса РФ в настоящее время находится в эксплуатации большое количество изношенного оборудования, в том числе и технологических трубопроводов. Такая ситуация является причиной техногенных аварий, причиняющих большой ущерб экономике предприятий нефтегазоперерабатывающего комплекса. Одной из причин считается некачественное проведение ремонтных работ и реконструкции технологических трубопроводов после сверхнормативной эксплуатации. Поэтому возникает необходимость разработки эффективных способов восстановления работоспособности данного вида оборудования [1–7].

Постановка задачи исследования

Основным способом ремонта технологических трубопроводов является сварка. Для этого используется большое количество способов, но основным остается ручная дуговая сварка плавящимся электродом [8].

При проектировании технологических трубопроводов нефтегазоперерабатывающего комплекса чаще всего используется материал сталь 20. Сталь 20 – конструкционная углеродистая сталь, химический состав которой представлен в табл. 1.

Проблемой сварки и ремонта технологических трубопроводов, изготовленных из стали 20, является выполнение замены изношенных участков трубопроводов, эксплуатируемых в агрессивной среде сероводорода. Результатом эксплуатации в таком режиме является насыщенность материала трубопровода сероводородом, вследствие чего при сварке по традиционной технологии сварки новой трубы с эксплуатируемой не удается достичь качественного сварного соединения [9].

Результаты исследований

Для разработки новой технологии сварки была выбрана для исследований труба со следующими параметрами: материал – сталь 20; диаметр – 57 мм; толщина – 5 мм. Исследуемый образец продолжительное время работал в агрессивной среде, в частности в среде сероводорода на установке гидрокрекинга нефтеперерабатывающего завода.

Перед проведением экспериментальных и исследовательских работ испытываемые образцы были подвержены входному контролю: стилископированию металла, замеру твердости, толщины и диаметра трубы. Результаты подтвердили насыщение металла трубы сероводородом, что привело к структурным и геометрическим изменениям. Поэтому предварительно

Таблица 1

Химический состав стали 20

Table 1

Chemical composition of steel 20

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
< 0,17–0,24	0,17–0,37	0,35–0,65	< 0,3	< 0,04	< 0,035	< 0,25	< 0,008	< 0,3	< 0,08

была проведена дегазация металла трубы с целью удаления из металла в зоне ремонта диффузионно-подвижного атомарного водорода [10].

Дегазация проводилась устройствами электрического нагрева равномерным нагревом участка металла, включающего непосредственную зону выборки дефекта и сварки, и прилегающую зону шириной, равной 3–4 толщинам стенки ремонтируемого элемента в каждую сторону, при температуре на 50 °С выше температуры рабочего продукта, но не ниже 300–350 °С в течение 0,5 часа (рис. 1) [11].

При дегазации кроме задачи по удалению из металла в зоне ремонта диффузионно-подвижного атомарного водорода решается и задача по исключению кипения металла в процессе сварки, особенно корневых швов, и образования в нем пор и трещин.

Следующим этапом эксперимента является предварительная наплавка кромок свариваемых частей трубы. Сущность этой операции состоит в том, что перед сваркой на кромки наплавляется слой аустенитного или ферритного металла. Это позволяет предупредить образование околошовных трещин типа отколов вследствие благоприятного безнапряженного состояния на границе раздела: металл шва – основной металл.

Применение наплавки кромок позволяет осуществить полную термообработку деталей с наплавленными кромками и полностью устранить неблагоприятные структурные изменения в околошовной зоне даже в том случае, когда термообработка после сварки невозможна или затруднена (рис. 2).

Наплавка кромок металлом того же состава, что и основной металл, или переплав кромок неплавящимся электродом также значительно повышают стойкость соединений против образования отколов. В этом случае положительное влияние наплавки обусловлено мелкодисперсным распределением в переплавленном металле неметаллических включений



Рис. 1. Дегазация участка старой трубы перед наплавкой

Fig. 1. Degassing of an old pipe section prior to welding



Рис. 2. Предварительная наплавка кромки «старой» трубы

Fig. 2. Preliminary surfacing of "old" pipe edge

и благоприятным изменением их формы и химического состава. В процессе сварки было выявлено, что дуга после дегазации горит устойчивее.

Перед наплавкой производится проковка электродов типа Э50А УОНИИ 13/55 (LB-52U) по следующему режиму: нагрев до температуры 350–400 °С, выдержка 1–2 часа.

После проведения наплавки проводилась термическая обработка наплавленного участка. Ее назначение заключается в снятии внутренних напряжений в металле, возникших в процессе изготовления элементов оборудования (при сварке, гибке листов, вальцовке и т. д.).

Термообработка производилась по режиму высокого отпуска: нагрев до температуры 600–630 °С, скорость нагрева с 300 °С – не более 150 °С/час, время выдержки – 2,5 минуты на 1 мм толщины стенки трубы, но не менее 1 часа, скорость охлаждения – не более 150 °С/час до 300 °С, далее – на спокойном воздухе или под слоем теплоизоляции.

После получения удовлетворительных результатов наплавки кромок трубы была проведена сварка бывшей в эксплуатации трубы с новой ремонтной трубой.

Сборка стыков труб под сварку осуществлялась с использованием центровочных приспособлений, обеспечивающих требуемую соосность стыкуемых труб и равномерный зазор по всей окружности стыка, а также с помощью прихваток или привариваемых на расстоянии 50–70 мм от торца труб временных технологических креплений (рис. 3).

Сварка проводилась короткой дугой, особенно при использовании электродов с основным покрытием, для которых длина дуги должна быть не более диаметра электрода. При этом соблюдались следующие условия: как можно реже обрывалась дуга; сварка начиналась в разделке или на наплавленном металле; кратер шва тщательно заплывлялся частыми короткими замыканиями электрода; не выводился кратер на основной металл; при смене электрода или случайных обрывах дуги сварка возобновлялась с отступом 15–20 мм назад от кратера и предварительной очисткой этого места от шлака и окалины [12].

Сварка стыка выполнялась по условиям производства при неповоротном положении стыка (рис. 4).



Рис. 3. Центратор ЦЗН 57 (диаметр трубы 57 мм)
Fig. 3. Pipe alignment clamp TSN 57 (pipe diameter of 57 mm)

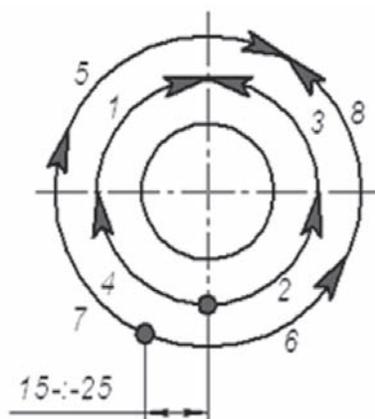


Рис. 4. Порядок сварки первого (корневого) и последующих слоев при сварке неповоротного вертикального стыка диаметром до 273 мм. 1–8 – порядок сварки первого (корневого) и последующих слоев шва
Fig. 4. Order of welding first (root) and subsequent passes of a vertical-fixed joint having a diameter of up to 273 mm. 1–8 – order of welding first (root) and subsequent passes

Процесс сварки проходил в нормальных условиях. Свариваемость при этом была хорошей, не было прилипания электрода (рис. 5).

После окончания сварки проведен контроль качества сварного соединения ВИК (визуальный измерительный контроль) – 100 %, ЦД (цветная дефектоскопия) в объеме 100 % для выявления поверхностных трещин (рис. 6).

По итогам контроля дефектов не обнаружено. Для полного контроля стыка проведен УЗК (ультразвуковой контроль) стыка (рис. 7). УЗК не показал наличие дефектов в данном сварном шве. Поэтому стык был признан годным, без единого дефекта.



Рис. 5. Стыковое соединение после наплавки кромок и термообработки
Fig. 5. Butt joint following edge welding and heat treatment



Рис. 6. Цветная дефектоскопия сварного соединения
Fig. 6. Dye penetrant testing of weld joint



Рис. 7. Ультразвуковой контроль сварного соединения
Fig. 7. Ultrasonic testing of weld joint

Выводы

Эффективность технологии ремонта технологических трубопроводов с применением сварки достигается с учетом при ее разработке свойств транспортируемого продукта и его влиянием на процессы технологического процесса сварки.

При разработке технологии сварки технологических трубопроводов, эксплуатируемых в среде сероводорода, были обоснованы и предложены следующие мероприятия:

- предварительная дегазация металла труб;
- предварительная наплавка и термическая обработка кромок эксплуатируемой трубы;
- рекомендована технология ручной дуговой сварки с выполнением следующих условий: как можно реже обрывать дугу; сварку начинать в разделке или на наплавленном металле; кратер шва тщательно заплавлять частыми короткими замыканиями электрода; не выводить кратер на основной металл; при смене электрода или случайных обрывах дуги сварку возобновлять, отступив 15–20 мм назад от кратера и предварительно очистив это место от шлака и окалины

Результатами практического применения предлагаемой технологии сварки подтверждена высокая эффективность разработанной технологии сварки технологических трубопроводов, эксплуатируемых в среде сероводорода.

Список литературы

1. *Zaripov M.Z., Fairushin A.M., Karetnikov D.V.* Conditions of possible application of vibration processing in the course of welding. *Materials Science Forum*. 2019;946 MSF:883–888. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.946.883>
2. *Файрушин А.М., Каретников Д.В., Зарипов М.З., Карпов А.Л.* Повышение стойкости к коррозии металла сварных соединений корпусов нефтеперерабатывающих и нефтехимических аппаратов. *Башкирский химический журнал*. 2011;18(2):124–127.
3. *Файрушин А.М., Шарафиев Р.Г., Зарипов М.З., Каретников Д.В., Латыпов А.А.* Изготовление сварных нефтехимических аппаратов с применением вибрационной обработки. *Управление качеством в нефтегазовом комплексе*. 2012;(4):30–32.
4. *Mukhametzyanov Z.R., Kulakov P.A., Rubtsov A.V., Churakov Yu.A.* Modeling a composite assembly for repair of trunk pipelines. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020;1582(1):012055. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1582/1/012055>
5. *Rubtsov A.V., Kulakov P.A., Mukhametzyanov Z.R., Farshatov A.R., Bayazitov M.I., Kovshova Y.S., Gimaltidinov I.K.* Modeling a stressed-deformed state of a technological pipeline with a displacement of edges. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020;1661(1):012078. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1661/1/012078>
6. *Rubtsov A.V., Kulakov P.A., Mukhametzyanov Z.R., Bayazitov M.I., Arkhipova K.S., Gimaltidinov I.K.* Modeling a stressed-deformed state of a technological apparatus. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020;1661(1):012079. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1661/1/012079>
7. *Зарипов М.З., Ибрагимов И.Г., Ризванов Р.Г., Файрушин А.М., Мухаметзянов З.Р.* Исследование влияния вибрационных и ультразвуковых колебаний в процессе сварки на свойства сварных соединений нефтегазового оборудования из стали 12х18н10т [интернет]. *Нефтегазовое дело*. 2010;(2). Режим доступа: <http://ogbus.ru/article/view/issledovanie-vliyaniya-vibratsionnyh-i-ultrazvukovykh-kolebaniy-v-processe-svarki-na-svoystva-svarnykh-soedinenij-neftegazovogo-oborudovaniya-iz-stali-12x18n10t>
8. *Петров Г.Л., Тумарев А.С.* Теория сварочных процессов (с основами физической химии). Москва: Высш. шк.; 1977.
9. *Гафаров Н.И., Кушнеренко В.М., Гринцов А.С., и др.* Сварка трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие нефтегазовые среды. Москва: ИРЦ Газпром; 1997.
10. *Фролов В.В.* Поведение водорода при сварке плавлением. Москва: Машиностроение; 1966.

11. Р 395-80 Рекомендации по технологии дуговой сварки трубопроводов, транспортирующих газ, содержащий сероводород с парциальным давлением до 0,1 кгс/см². Москва: Всесоюзный научно-исследовательский институт по строительству магистральных трубопроводов (ВНИИСТ); 1981.
12. Соколов Е.В. Справочник по сварке. Т. 1. Москва: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы; 1960.

References

1. Zarirov M.Z., Fairushin A.M., Karetnikov D.V. Conditions of possible application of vibration processing in the course of welding. *Materials Science Forum*. 2019;946 MSF:883–888. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.946.883>
2. Fayrusnin A.M., Karetnikov D.V., Zarirov M.Z., Karpov A.L. Increasing the corrosion resistance of metal welded joints of oil refining and petrochemical apparatus housings. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal = Bashkir chemical journal*. 2011;18(2):124–127 [in Russian].
3. Fayrusnin A.M., Sharafeev R.G., Zarirov M.Z., Karetnikov D.V., Latypov A.A. Manufacture of welded petrochemical devices using vibration treatment. *Upravlenie kachestvom v neftegazovom komplekse = Quality Management in Oil and Gas Industry*. 2012;(4):30–32 [in Russian].
4. Mukhametzyanov Z.R., Kulakov P.A., Rubtsov A.V., Churakov Yu.A. Modeling a composite assembly for repair of trunk pipelines. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020;1582(1):012055. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1582/1/012055>
5. Rubtsov A.V., Kulakov P.A., Mukhametzyanov Z.R., Farshatov A.R., Bayazitov M.I., Kovshova Y.S., Gimaltidinov I.K. Modeling a stressed-deformed state of a technological pipeline with a displacement of edges. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020;1661(1):012078. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1661/1/012078>
6. Rubtsov A.V., Kulakov P.A., Mukhametzyanov Z.R., Bayazitov M.I., Arkhipova K.S., Gimaltidinov I.K. Modeling a stressed-deformed state of a technological apparatus. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020;1661(1):012079. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1661/1/012079>
7. Zarirov M.Z., Ibragimov I.G., Rizvanov R.G., Fayrusnin A.M., Mukhametzyanov Z.R. Investigation of the influence of vibration and ultrasonic vibrations in the welding process on the properties of welded joints of oil and gas equipment made of steel 12x18n10t [internet]. *Neftegazovoe delo*. 2010;(2). Available at: <http://ogbus.ru/article/view/issledovanie-vliyanija-vibracionnykh-i-ultrazvukovykh-kolebanij-v-processe-svarki-na-svoystva-svarnykh-soedinenij-neftegazovogo-oborudovaniya-iz-stali-12x18n10t> [in Russian].
8. Petrov G.L., Numarev A.S. *Theory of welding processes (with the basics of physical chemistry)*. Moscow: Vysshaya shkola Publ.; 1977 [in Russian].
9. Gafarov N.I., Kushnerenko V.M., Griptsov A.S., et al. *Welding of pipelines transporting hydrogen sulfide-containing oil and gas media*. Moscow: IRTS Gazprom; 1977 [in Russian].
10. Frolov V.V. *Behavior of hydrogen during fusion welding*. Moscow: Mashinostroenie Publ.; 1966 [in Russian].
11. Р 395-80. Recommendations on the technology of arc welding of pipelines transporting gas containing hydrogen sulfide with a partial pressure of up to 0.1 kgf /cm². Moscow: All-Union Research Institute for the Construction of Trunk Pipelines (VNIIST); 1981 [in Russian].
12. Sokolov E.V. *Welding Handbook*. Vol. 1. Moscow: State Scientific and Technical Publishing House of Machine-building Literature; 1960 [in Russian].

Информация об авторе / Information about the author

Зинур Ришатович Мухаметзянов, д-р техн. наук, доцент, доцент кафедры «Автомобильные дороги и технология строительного производства» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа

e-mail: zinur-1966@mail.ru

тел.: +7 (917) 780-35-05

Zinur R. Mukhametzyanov, Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor, Department of Highways and Technology of Construction Operation, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa

e-mail: zinur-1966@mail.ru

tel.: +7 (917) 780-35-05