

УДК 66.045.122

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РОТАЦИОННОЙ СВАРКИ ТРЕНИЕМ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СТАЛИ МАРКИ 20X13

А. В. ЯХИН¹, А. С. ТОКАРЕВ², Д. В. КАРЕТНИКОВ²

¹ nazart7@mail.ru, ² andrewtok07@gmail.com

¹ ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНИТ)

² ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (УГНТУ)

Поступила в редакцию 10.01.2023

Аннотация. Проведена оценка эффективности использования ротационной сварки трением при получении соединений из стали марки 20X13. Для этого были изготовлены опытные образцы со сварным соединением и из основного металла, а затем проведены исследования микроструктуры и испытания на растяжение. В рамках исследования микроструктуры определена структура металла сварного соединения и основного металла. В результате испытаний на растяжение для образцов из основного металла и образцов со сварным соединением определены временное сопротивление, относительное удлинение после разрыва, а также участок разрушения.

Ключевые слова: сталь мартенситного класса, кожухотрубчатый теплообменный аппарат, термическая обработка, микроструктура, прочность.

ВВЕДЕНИЕ

Кожухотрубчатые теплообменные аппараты широко используются на предприятиях нефтегазовой отрасли, достигая в некоторых случаях половины от общего объема оборудования, используемого на предприятии [1].

Ресурс и надежность данного оборудования, таким образом, оказывает существенное влияние на производство в целом. Данные параметры теплообменников во многом зависят от одного из наиболее сложных и самого часто встречающегося узла, а именно соединения трубы с трубной решеткой, которых в одном аппарате может быть до нескольких тысяч [2].

Многие процессы нефтепереработки происходят при повышенных давлениях и температурах. Для эксплуатации в этих условиях теплообменное оборудование часто изготавливают из жаропрочных нержавеющей сталей, таких как сталь 20X13 и аналоги (исполнение Б1 по ГОСТ Р 55601-2013 «Аппараты теплообменные и аппараты воздушного охлаждения. Крепление труб в трубных решетках»). Сталь 20X13 применяется как жаропрочный материал при температурах до 550 градусов и как жаростойкий до 700 градусов соответственно. Данная сталь также устойчива к коррозии во время работы в окислительной среде [3].

Для таких условий работы соединения труб с трубными решетками выполняют комбинированными, то есть выполненными при помощи операций сварки и развальцовки [4].

Сталь 20X13 относится к ограниченно свариваемым [3]. Для предотвращения образования холодных трещин нужно использовать сопутствующий или предварительный подогрев до температуры 400 градусов Цельсия включительно. После сварочных работ проводится высокий отпуск, чаще всего это делается при температуре порядка 700 градусов. Операции термической обработки не только труднореализуемы, но и энергозатратны, что влияет на существенное увеличение затрат предприятий-изготовителей теплообменного оборудования.

Предыдущие исследования показали [5–8], что одним из эффективных способов получения комбинированных соединений труб с трубными решетками с требуемыми эксплуатационными свойствами без необходимости применения операций термической обработки на примере жаропрочной низколегированной стали 15X5M и коррозионно-стойкой стали 12X18Н10Т является технология получения данных соединений с применением сварки трением. Однако исследование эффективности применения данной технологии применительно к жаропрочным коррозионно-стойким сталям типа 20X13 до настоящего времени не проводилось.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является оценка эффективности использования ротационной сварки трением при получении соединений из стали марки 20X13.

Для достижения этой цели решались следующие задачи:

1. Соединение цилиндрических образцов из стали 20X13 с помощью сварки трением, изготовление из них опытных образцов для проведения исследований.
2. Исследование микроструктуры сварных соединений опытных образцов.
3. Проведение испытаний на растяжение опытных образцов.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследований были изготовлены цилиндрические образцы диаметром 20 мм из стали 20X13 в количестве 11 штук: 6 сварных образцов, полученных ротационной сваркой трением без термообработки, и 5 образцов из основного металла. Далее из этих образцов были вырезаны опытные образцы соответствующих формы и размеров в зависимости от проводимых исследований (рис. 1).

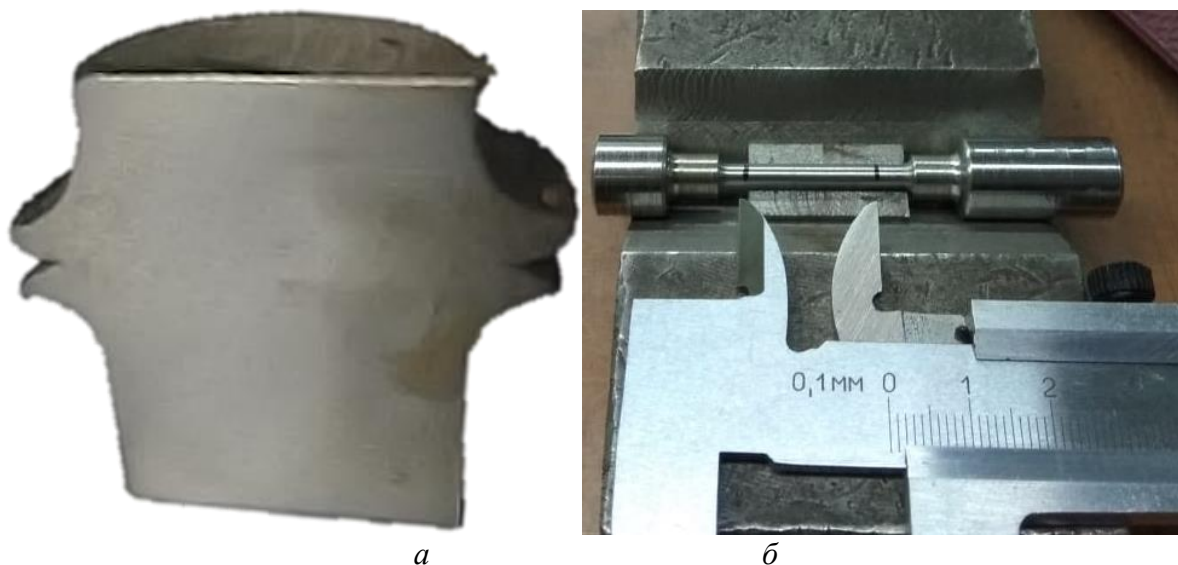


Рис. 1. Опытные образцы для исследований:

а – образец для исследования микроструктуры; б – образец для испытаний на растяжение

Сварка трением проводилась на машине для сварки трением KUKA RS 12 на режиме, представленном в табл. 1.

Исследование микроструктуры проводили в соответствии с п. 7 ГОСТ Р 57180-2016 «Соединения сварные. Методы определения механических свойств, макроструктуры и микроструктуры».

Испытания на растяжение проводились при комнатной температуре на образцах типа II (ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение»). Скорость движения траверсы

разрывной машины составляла 5 мм/мин. Было испытано по 5 образцов из основного металла и со сварным соединением.

Таблица 1

Режим сварки трением цилиндрических образцов

<i>Давление при нагреве, МПа</i>	<i>Давление при проковке, МПа</i>	<i>Время нагрева, с</i>	<i>Время проковки, с</i>	<i>Частота вращения, об/мин</i>
100	200	5	1,5	3000

РЕЗУЛЬТАТЫ

На полученном с помощью сварки трением образце для исследования микроструктуры отсутствуют несплошности, включения, трещины и другие дефекты (рис. 1, а).

На рис. 2 показана микроструктура металла сварного шва. Данный металл имеет двухфазную перлитно-ферритную структуру, характерную для неотожжённого металла.

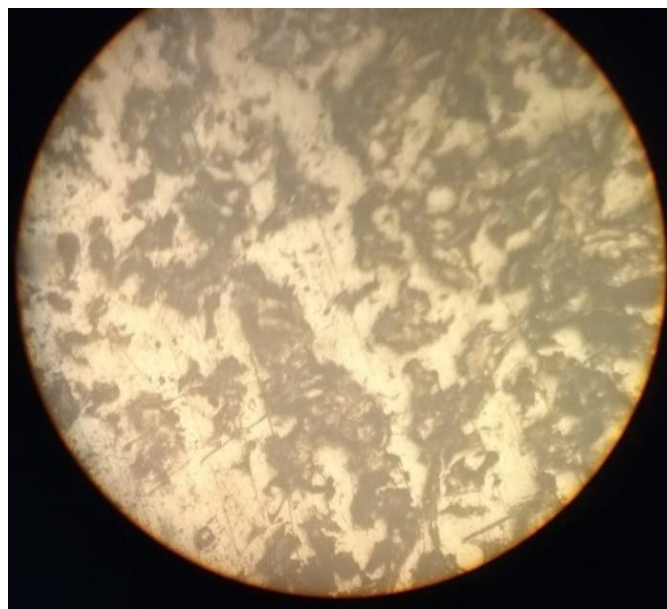


Рис. 2. Микроструктура сварного шва.

На рис. 3 показана микроструктура основного металла, представляющая собой зернистый перлит, характерная для отожжённого металла в поставочном состоянии.

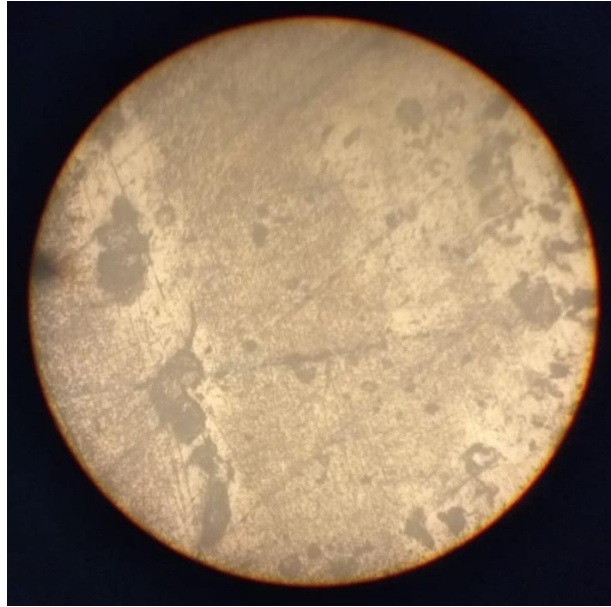


Рис. 3. Микроструктура основного металла.

В результате испытаний на растяжение все сварные образцы разрушились по основному металлу (рис. 4). Средние значения временного сопротивления σ_b и относительного удлинения после разрыва δ_5 для образцов из основного металла и сварных образцов показаны на рис. 5.



Рис. 4. Сварные образцы после разрушения



Рис. 5. Результаты испытаний на растяжение опытных образцов

Данные испытания показали, что сварные соединения в образцах, полученных сваркой трением, обладают большей прочностью, чем основной металл. Однако относительное удлинение после разрыва у сварных образцов ниже аналогичного показателя у образцов из основного металла почти в 2 раза.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, что сварка трением позволяет получать соединения из стали 20Х13 без применения предварительного и сопутствующего подогрева при сварке, на полученных образцах отсутствуют несплошности, включения, трещины и другие дефекты.

Установлено, что термомеханическое влияние при сварке трением приводит к формированию двухфазной перлитно-ферритной структуры с прочностью выше, чем у основного металла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берлинер Ю.И., Балашов Ю.А. Технология химического и нефтяного аппаратостроения. М.: Машиностроение, 1976. 256 с. [Yu.I. Berliner, Yu.A. Balashov. "Technology of chemical and oil apparatus building", (in Russian). Moscow, Mashinostroenie, 1976.]
2. Вихман Г.Л., Круглов С.А. Основы конструирования аппаратов и машин нефтеперерабатывающих заводов. М.: Машиностроение, 1978. 327 с. [G.L. Vikhman, S.A. Kruglov. "Fundamentals of designing apparatus and machines of oil refineries", (in Russian). Moscow, Mashinostroenie, 1978.]
3. Зубченко А.С., Колосков М.М., Каширский Ю.В. Марочник сталей и сплавов. М.: Машиностроение, 2003. 784 с. [A.S. Zubchenko, M.M. Koloskov, Yu.V. Kashirsky. "Grader of steels and alloys", (in Russian). Moscow, Mashinostroenie, 2003.]
4. Владимиров А.И., Пермячкин В.И. Ремонт аппаратуры нефтегазопереработки и нефтехимии. М.: ГУП Издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2001. 120 с. [Vladimirov A.I., Permyachkin V.I. "Repair of equipment for oil and gas processing and petrochemistry", (in Russian). Moscow, GUP Izdatel'stvo «Neft' i gaz» RGU nefti i gaza im. I.M. Gubkina, 2001.]
5. Яхин А.В. и др. Совершенствование технологии изготовления трубных пучков теплообменных аппаратов из стали 12Х18Н10Т с применением сварки трением // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2018. № 11. С. 14–16. [Yakhin A.V. and others. "Improving the technology of manufacturing tube bundles of heat exchangers from steel 12Kh18N10T using friction welding", (in Russian), in *Chemical and oil and gas engineering*, no. 11, pp. 14-16, 2018.]
6. Токарев А.С. и др. Оценка коррозионной стойкости комбинированных соединений труб с трубной решеткой, полученных с применением различных способов сварки // Нефтегазовое дело. 2019. № 6. С. 114–133. [A.S. Tokarev and others. "Evaluation of the corrosion resistance of combined joints of pipes with a tube sheet obtained using various welding methods", (in Russian), in *Oil and gas business*, no. 6, pp. 114-133, 2019.]
7. Яхин А.В. и др. Эффективность использования альтернативных технологий при изготовлении комбинированных соединений труб с трубными решетками // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2020. № 7. С. 36–39. [Yakhin A.V. and others. "Efficiency of using alternative technologies in the manufacture of combined pipe joints with tube sheets", (in Russian), in *Chemical and oil and gas engineering*, no. 7, pp. 36-39, 2020.]
8. Токарев А.С., Ризванов Р.Г., Каретников Д.В. Исследование микроструктуры и механических свойств сварных соединений из коррозионностойкой стали марки 10Х17Н13М2Т, полученных ротационной сваркой трением // Нефтегазовое дело. 2022. Т. 20, № 4. С. 163–172. [A.S. Tokarev, R.G. Rizvanov, D.V. Karetnikov. "Investigation of the microstructure and mechanical properties of welded joints made of corrosion-resistant steel grade 10Kh17N13M2T obtained by rotational friction welding", (in Russian), in *Oil and gas business*, V. 20, no. 4, pp. 163-172, 2022.]

ОБ АВТОРАХ

ЯХИН Азат Варисович, канд. техн. наук, преподаватель, ФГБОУ ВО «УУНИТ», г. Уфа, Российская Федерация.

ТОКАРЕВ Андрей Сергеевич, старший преподаватель кафедры «Оборудование и технологии сварки и контроля», ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация.

КАРЕТНИКОВ Денис Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии сварки и контроля», ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация.

METADATA

Title: Evaluation of the effectiveness of the use of rotary friction welding in the production of joints from steel grade 20Cr13.

Authors: A. V. Yakhin¹, A. S. Tokarev², D. V. Karetnikov²

Affiliation:

¹ Ufa University of Science and Technology (UUST), Russia.

² Ufa State Petroleum Technological University (USPTU), Russia.

Email: ¹ nazart7@mail.ru, ² andrewtok07@gmail.com

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), vol. 27, no. 1(99), pp. 81-86, ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: The effectiveness of using friction rotary welding in obtaining joints of 20Cr13 steel grade was evaluated. For this purpose, prototypes with the welded joint and the base metal were made, and then the microstructure and tensile tests were carried out. As part of the microstructure study the structure of the metal of the welded connection and the base metal was determined. As a result of tensile tests for specimens made of base metal and specimens with welded joint the time resistance, relative elongation after rupture as well as the fracture area were determined.

Key words: Martensitic class steel, shell and tube heat exchanger, heat treatment, microstructure, strength.

About authors:

YAKHIN Azat Varisovich, Candidate of Technical Sciences, UUST, Ufa, Russian Federation.

TOKAREV Andrey Sergeevich, Senior Lecturer at the Department of Equipment and Technology for Welding and Control, USPTU, Ufa, Russian Federation.

KARETNIKOV Denis Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Equipment and Technology for Welding and Control, USPTU, Ufa, Russian Federation.