**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА
КОРПУСОВ ТОЛСТОСТЕННЫХ МАШИН И АГРЕГАТОВ****IMPROVEMENT OF THICK-WALLED MACHINE
AND UNIT CASING REPAIR TECHNOLOGY****А. М. Файрушин**
Airat M. FairushinУфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская ФедерацияUfa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation**Р. Р. Чернятьева**
Rita R. ChernyatevaУфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская ФедерацияUfa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation**М. Р. Фаткуллин**
Marat R. FatkullinУфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская ФедерацияUfa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation**А. В. Кадошникова**
Anna V. KadoshnikovaУфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская ФедерацияUfa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation**Р. Р. Ульябаев**
Radmir R. UlyabaevУфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская ФедерацияUfa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

На сегодняшний день одним из наиболее значимых вопросов в развитии нефтяного машиностроения является увеличение времени полезной работы машин и аппаратов, а также сокращение материальных, энергетических и трудовых ресурсов. При эксплуатации нефтегазового промышленного оборудования с течением времени разрушение элементов зачастую происходит в местах сварки вследствие воздействия температурных и силовых нагрузок, коррозии и других факторов.

Причину разрушений в сварных соединениях базовых деталей можно объяснить наличием в них структурной неоднородности и напряжений, остающихся после сварки. Электродуговая сварка в настоящее время является едва ли не единственной применимой технологией при ремонте нефтегазового промышленного оборудования, требующем сварочных операций. Высококонцентрированный источник тепловой энергии и различная деформационная способность деталей являются причиной возникновения остаточных напряжений, которые приводят к изменению формы, уменьшению прочности, снижению коррозионной стойкости металла, что оказывает негативное влияние на работоспособность конструкции.

В настоящее время используется консервативная технология ремонта с помощью ручной дуговой сварки покрытыми электродами с сопутствующим подогревом дефектного участка и по необходимости последующей термической обработкой. Сварка сопровождается комплексом одновременно протекающих процессов, основными из которых являются: тепловое воздействие на металл в зоне термического влияния, металлургические процессы в сварочной ванне и кристаллизация металла в объеме сварочной ванны.

Разработанная нами технология сварки, которая заключается в комбинировании сопутствующего охлаждения и ультразвуковой обработки, позволяет улучшить механические свойства сварного соединения, а также отказаться от проведения затратного сопутствующего подогрева во время сварки.

Ключевые слова

ремонт корпусов машин,
литейные стали,
сварочные деформации,
механические свойства,
сварное соединение,
ультразвуковая обработка,
сопутствующее охлаждение

To date, one of the most significant problems in the development of petroleum engineering is the increase in the productive life of machines and units, as well as the reduction of material, energy and labor resources. During the operation of oil and gas equipment, over time, the destruction of elements often occurs at welding joints due to thermal and force loads, corrosion and other factors.

The cause of failure in welded joints of base parts can be explained by presence of structural heterogeneity and stresses remaining after welding. Electric arc welding is currently almost the only applicable technology for the repair of oil and gas equipment requiring welding operations. A highly concentrated source of thermal energy and various deformation capacities of parts cause residual stresses that lead to a change in shape, a decrease in strength, a decrease in the corrosion resistance of the metal, which have a negative effect on the construction operation.

Currently, there used a conservative repair technology with manual arc welding of coated electrodes with the associated heating of the defective area and, if necessary, subsequent heat treatment. Welding is accompanied by a complex of simultaneous processes, the main ones are: thermal action on the metal in the zone of thermal influence, metallurgical processes in the weld pool and crystallization of metal in the volume of the weld pool.

The developed welding technology, consisting in combining the concomitant cooling and ultrasonic treatment, allows improving the mechanical properties of the welded joint, as well as avoiding the costly accompanying heating during welding.

Одним из важных аспектов в любой сфере деятельности является обеспечение безопасности условий труда и экологическая безопасность. При эксплуатации толстостенного оборудования с течением времени часто происходит разрушение корпуса. С учетом того, что данное оборудование работает в условиях больших нагрузок, последствия аварии могут быть плачевными. По сведениям отчетов территориальных органов Ростехнадзора, анализ результатов расследования причин ежегодных аварий показывает, что наибольшее их количество, до 50 %, происходит по причине отказа и разгерметизации технических устройств [1]. Причина разрушений в сварных соединениях во многом объясняется наличием в них структурной неоднородности и остаточных напряжений.

На сегодняшний день в нефтегазовой отрасли нашли широкое применение машины и агрегаты, выполненные с толстостенными литыми корпусами из сталей марок: 20ГСЛ, 20ХГСФЛ и т. п. Как показывает опыт эксплуатации данного оборудования, с течением времени в различных узлах корпуса могут возникать эрозионные износы, а также трещины от действия эксплуатационной нагрузки.

В настоящее время известно несколько способов ремонта сварки литых корпусов с применением сварочных технологий. Как правило, на практике чаще всего применяется традиционная технология ремонта с помощью

Key words

machine casing repair, castability steels, welding deformations, mechanical properties, welded joint, ultrasonic treatment, accompanying cooling

ручной дуговой сварки электродами типа УОНИ 13/55 с сопутствующим подогревом дефектного участка. Однако у этого способа много недостатков, так как высокотемпературный источник энергии и механические свойства сталей являются основополагающей причиной появления высоких остаточных напряжений. Последствия: изменение формы, снижение прочности, снижение коррозионной стойкости металла, что в целом отрицательно отражается на работе конструкции. Борьба с остаточными напряжениями путем проведения сопутствующей термической обработки способствует перлитному превращению и является эффективным способом ликвидации закалочных структур. Это, в свою очередь, приводит к значительному увеличению зоны термического влияния, что также оказывает негативное воздействие на дальнейшую работоспособность корпусов машин и агрегатов [2–5]. Нередко в зоне термического влияния (ЗТВ) после ремонтов образуются трещины (рисунок 1).

Термическая обработка — это один из основных этапов в технологии производства и ремонта металлических конструкций и, как показывает практика, по объему трудозатрат находится почти на уровне выполнения сварочных операций [6–8]. Поэтому уменьшение операций по термической обработке приведет к минимизации затрат почти в два раза. Возможность удешевления ремонта корпус-

ных деталей оборудования за счет отказа от трудоемких сопутствующей и последующей термообработок и использования ультразвуковой ударной обработки представлена в работе А. А. Венгера и др. [9]. Исследования поведения деформации и разрушения участка конструкции «основной металл — сварной шов» показали, что при деформации растяжением сварных соединений накладываемая ультразвуковая ударная обработка замедляет процесс формирования деформационного рельефа, а при циклическом нагружении сварных соединений без какой-либо обработки очаг деформаций концентрируется на границе «основной металл — сварной шов». Также мы знаем, что ультразвуковая ударная обработка сварных соединений является причиной уменьшения напряжений на границе участка «основной металл — сварной шов» и малоциклового усталости стали в 4–5 раз. При этом основная усталостная трещина появляется в местах, не обработанных ультразвуковой ударной обработкой, что позволяет использовать описанный метод вместо операции термообработки. Однако и данный способ обработки не позволяет уменьшить зону термического влияния, которая имеет значительные размеры при сварке толстостенных конструкций.

Рисунок 1. Фото разрушенного корпуса бурового насоса из стали 20ХГСФЛ, толщина стенки 50 мм

В 2013 г. компания ОАО «Газпром» опубликовала статью (автор Е. М. Вышемирский) [10], в которой описывается разработанная технология сварки с послесварочной проковкой наплавленного металла, с целью снижения сварочных напряжений в сварном шве, взамен операции термической обработки. Недостатком данной технологии, на наш

взгляд, является сохранение широкой зоны термического влияния, включающей участок перегрева, имеющий крупнозернистую структуру с низкой ударной вязкостью.

В работе [11] представлена технология совмещения сварки с сопутствующим принудительным охлаждением и последующей виброобработкой. Сопутствующее охлаждение при сварке позволяет уменьшить ширину зоны термического влияния, однако этот метод хорошо подходит для конструкций с малой жесткостью, для толстостенного оборудования вибрационная обработка коротких швов практически невозможна.

Известен также способ ультразвуковой релаксационно-упрочняющей обработки сварных швов, который включает статическое нагружение сварного шва и ультразвуковое воздействие на сварной шов с помощью ультразвукового инструмента-волновода посредством акустической системы [12]. Недостатком данного способа является невозможность регулирования ширины ЗТВ, вследствие чего увеличивается вероятность образования трещин от действия остаточных напряжений сварного шва.

Вышеперечисленные способы в полной мере не удовлетворяют по прочностным характеристикам, неэффективны или требуют проведения затратных технологий. Воспользовавшись результатами исследований [2–3, 11], нами было предложено объединить две технологии, одновременно проводимые в процессе заварки дефекта, расположенного на толстостенном образце из стали 20ХГСФЛ — это ультразвуковая релаксационно-упрочняющая обработка сварных швов и сопутствующее охлаждение при сварке.

Использование вышеназванных технологий принималось исходя из следующих аргументов:

- использование сопутствующего охлаждения во время сварки позволяет увеличить скорость охлаждения, появляется возможность уменьшить зерно, сделать более узкой зону термического влияния и улучшить прочностные свойства и ударную вязкость в ней;

- ультразвуковая обработка оказывает комплексное воздействие на сварное соединение, уменьшая концентрации напряжений в сварном шве и околошовной зоне, создавая на обрабатываемой поверхности упрочняющий

слой с повышенной сопротивляемостью к образованию трещин и т. д.

Целью наших исследований является повышение работоспособности корпусов толстостенного оборудования после ремонта с применением сварки и снижение затрат на проведение ремонта.

Для подтверждения предложенной технологии была произведена реальная заварка образца. На толстостенных образцах из стали 20ХГСФЛ выполняли паз, чтобы имитировать ремонт дефектного участка — выборка и заварка трещины в соответствии с методикой, изложенной в [2].

Сварка выполнялась электродами марки УОНИ 13/55. Ультразвуковая ударная обработка шва производилась с помощью технологического комплекса «Шмель» в процессе и после сварки с частотой 25–27 кГц.

Охлаждение сварного шва производилось путем подачи распыленной струи воды с противоположной относительно источника нагрева стороны температурой 10–15 °С и расходом смеси 0,3–0,5 л/мин. Перемещение распылителя водовоздушной смеси производили со скоростью перемещение сварочной дуги [13].

Сущность данной технологии заключается в том, что происходит послойное чередование ультразвуковой ударной обработки (УУО) и сопутствующего охлаждения (СО). Первый шов (корневой) заваривается ручной дуговой сваркой (РДС) электродами типа УОНИ 13/55 с применением УУО. Второй шов также заваривается тем же способом, но уже с сопутствующим охлаждением. Заварка последующих швов производится аналогично, путем чередования УУО и охлаждения. Последний (облицовочный) шов заваривается РДС с применением УУО.

Для сравнения макроструктуры сваренных образцов принимали образцы, сваренные по традиционной технологии с предварительным подогревом и последующей термообработкой и по предлагаемой выше технологии с использованием УУО и сопутствующего охлаждения.

Исследования макроструктуры проводились согласно РД 24.200.04-90 «Швы сварных соединений. Металлографический метод контроля основного металла и сварных соединений химнефтеаппаратуры».

Образцы (шлифы) для исследований макроструктуры были вырезаны из контрольных

сварных соединений поперек шва на расстоянии 20–30 мм от начала или конца шва во избежание контроля участков с неустановившимся режимом сварки. Макроструктурный анализ проводили на макрошлифах невооруженным глазом. Для травления использовался реактив со следующим химическим составом: 10 мл концентрированной соляной кислоты + 1 мл концентрированной азотной кислоты + 10 мл воды + 2,5 г двуххромового калия.

Также были проведены замеры твердости металла сварного соединения. Измерение твердости проводили по методу Виккерса, в соответствии с ГОСТ Р ИСО 6507-1 2007 «Металлы и сплавы. Измерение твердости по Виккерсу. Часть 1. Метод измерения». Замерам подвергались: основной металл, зона термического влияния и сварной шов. Испытательная нагрузка составляла 294,2 Н, время выдержки — 15 с.

При измерении твердости отдельных участков было произведено по 6 замеров на каждом, после чего высчитывалось среднее арифметическое значение и округлялось до целого числа.

Результаты сравнения макроструктуры и замера твердости приведены на рисунках 2 и 3. Как видно на представленных фото макроструктуры образцов, зона термического влияния при существующей технологии сварки имеет равную ширину на протяжении всего шва и не превышает в среднем 7–8 мм (рисунок 2). Как правило, при таких размерах в ЗТВ развиваются значительные участки перегрева, которые приводят к охрупчиванию металла в околошовной зоне. При использовании сопутствующего охлаждения можно значительно снизить (на некоторых участках до 40 %) зону термического влияния и, соответственно, объем металла с низкими прочностными свойствами (рисунок 3).

Далее был проведен анализ микроструктуры основного металла и металла сварного шва.

Травление микрошлифа производилось химическим способом в реактиве до четкого выявления микроструктуры металла шва. Выявление микроструктуры осуществлялось методом протирки контролируемой поверхности ватным тампоном, пропитанным реактивом. В качестве реактива использовался 4 %-й раствор пикриновой кислоты в этиловом спирте.

ОМ — основной металл; ЗТВ — зона термического влияния; СШ — сварной шов

Рисунок 2. Макроструктура и твердость участков сварного соединения, выполненного по существующей технологии

ОМ — основной металл; ЗТВ — зона термического влияния; СШ — сварной шов; УУО — с применением ультразвуковой ударной обработки; СО — с сопутствующим охлаждением

Рисунок 3. Макроструктура и твердость участков сварного соединения, выполненного с ультразвуковой ударной обработкой и сопутствующим охлаждением

На рисунке 4 представлены фотографии микроструктуры сварного шва, выполненного по различным технологиям. Очевидно, что структура сварного шва, подвергнутого УУО и сопутствующему охлаждению, не имеет структуру мартенсита.

Проведенные исследования показали, что с технологической точки зрения сварка с УУО и сопутствующим охлаждением позволяет оказывать более благоприятное воздействие и на металл сварного шва, и на

а)

б)

Рисунок 4. Микроструктура металла сварного соединения: микроструктура участка шва при сварке с применением УУО и сопутствующего охлаждения, $\times 100$ (а); микроструктура участка шва при сварке с последующей термообработкой, $\times 100$ (б)

околошовную зону, по сравнению с традиционной технологией сварки с предварительным подогревом.

Замер твердости участков сварных соединений, выполненных с применением различных технологий, показал рост твердости на участках с использованием операций сопутствующего охлаждения. На участках с использованием ультразвуковой ударной обработки твердость по значениям идентична твердости металла с применением подогрева.

С учетом того, что твердость металла сварного шва после закалки (охлаждения в воде) стали 20ХГСФЛ колеблется в пределах от 600 до 750 НВ, можно считать, что предполагаемое снижение твердости металла шва и зоны термического влияния на участках с сопутствующим охлаждением, за счет перекрытия слоев выполняемых без охлаждения, частично подтвердилось.

С экономической точки зрения переход от проведения предварительного подогрева и последующей термической обработки на технологию сварки с применением послойной УУО и сопутствующим охлаждением позволит значительно снизить затраты и повысить производительность ремонтных работ.

Выводы

Сварные соединения после ремонта корпусов машин большой толщины из сталей марок 20ХГСФЛ и т. п. обладают значительной неоднородностью механических свойств, что приводит к возникновению холодных трещин в зоне термического влияния в процессе ремонта, а также снижению ресурса работы узлов, даже при использовании существующих технологий термической обработки.

В качестве одного из вариантов решения проблемы повышения технологической прочности и ресурса работы узла предложено выполнение в процессе сварки послойного чередования ультразвуковой обработки и сопутствующего охлаждения.

Установлено, что при использовании сопутствующего охлаждения можно значительно снизить (на некоторых участках до 40 %) зону термического влияния и, соответственно, объем металла с пониженной вязкостью.

Замер твердости различных участков сварного соединения показал возможность частичного снижения твердости металла при сопутствующем охлаждении за счет перекрытия слоями, выполняемыми без охлаждения с последующей ультразвуковой ударной обработкой.

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Смородова О.В., Китаев С.В., Сергеева К.В. Повышение взрывопожарной безопасности с помощью огнепреградителей насадочного типа // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2016. № 5. С. 193-206. URL: http://ogbus.ru/issues/1_2017/ogbus_1_2017_p202-216_SmorodovaOV_ru.pdf.

2. Файзуллин А.В., Файрушин А.М., Каретников Д.В. и др. Ремонт корпусов насосных агрегатов из стали 20ХГСФЛ с применением сварочных технологий // Прогресивні технології і системи машинобудування. 2014. № 4. С. 191-197.

3. Файзуллин А.В., Файрушин А.М., Каретников Д.В., Фаткуллин М.Р. Ремонт корпусов насосных агрегатов из стали 20ХГСФЛ с применением сварочных

технологий // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2014. № 1. С. 345–361. URL: http://ogbus.ru/authors/FaizullinAV/FaizullinAV_1.pdf.

4. Худяков А.О. Влияние химического состава основного металла на вязкие свойства зоны термического влияния электросварных труб большого диаметра // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Metallurgy. 2014. № 3. С. 55–61.

5. Чупейкина Н.Н. Влияние качества ремонтной сварки на работоспособность сварных соединений // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 5. С. 181–184.

6. Гончаров Н.Г., Колесников О.И., Воронцов А.Н. Термическая обработка сварных соединений трубопроводов в условиях трассы и в заводских условиях // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2013. № 2. С. 55–59.

7. Гончаров Н.Г., Колесников О.И., Юшин А.А., Неганов Д.А., Михайлов И.И., Братусь А.А. Исследование дефектов литых корпусных деталей насосов и разработка технологии их ремонта // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016. № 5. С. 84–89.

8. Розанов Д.С. Расчетное обоснование режимов послесварочного нагрева при сварке крупногабаритных оболочковых сварных конструкций в энергетическом машиностроении // Сварка и диагностика. 2011. № 3. С. 47–49.

9. Венгеров А.А., Якупов А.У., Бранд А.Э. Ремонтная сварка корпусов насосов, изготовленных из среднеуглеродистой литейной стали // Актуальные проблемы трубопроводного транспорта Западной Сибири: сб. научн. тр. Всеросс. научн.-техн. конф., 2014., Тюменский индустриальный университет. 2014. С. 13–18.

10. Вышемирский Е.М. Сварочное производство ОАО «Газпром». Новые требования нормативных документов // Журнал нефтегазового строительства. 2015. № 1. С. 30–39.

11. Халимов А.А., Жаринова Н.В., Халимов А.Г., Файрушин А.М. Обеспечение технологической прочности сварных соединений из мартенситных хромистых сталей типа 15X5M // Нефтегазовое дело. 2012. Т. 10, № 3. С. 102–108.

12. Пат. 683873 СССР, МПК В 23 К 28/00. Способ ультразвуковой обработки сварных швов / В.М. Сагалевич, В.Г. Федоров, Ю.А. Янченко, Г.Ю. Макушин, В.Н. Виноградов (СССР). 2469402/25-27; заявл. 31.01.1977; опубл. 15.09.1979, Бюл. № 33.

13. Пат. 2605888 РФ, МПК В 23 К 28/00. Способ ультразвуковой сварки толстостенных конструкций / А.В. Файзуллин, А.М. Файрушин, М.Р. Фаткуллин, М.З. Зарипов; Рос. Федерация. 2015132761/02, заявл. 05.08.2015; опубл. 27.12.2016, Бюл. № 36.

REFERENCES

1. Smorodova O.V., Kitaev S.V., Sergeeva K.V. Povyshenie vzryvopo-zharnoi bezopasnosti s pomoshch'yu ognepregraditelei nasadochnogo tipa [The Robotic Systems for Danger Reducing]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» — Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business»*, 2016, No. 5, pp. 193–206. URL: http://ogbus.ru/issues/1_2017/ogbus_1_2017_p202-216_SmorodovaOV_ru.pdf. [in Russian].

2. Faizullin A.V., Fairushin A.M., Karetnikov D.V. e.a. Remont korpusov nasosnykh agregatov iz stali 20KhGSFL s primeneniem svarochnykh tekhnologii [Repair of 20CrMnSiVaL Steel Pumping Units with the Use of Welding Technologies]. *Progresivni tekhnologii i sistemi mashinobuduvannya — Progressive Technologies and Machine-Building Systems*, 2014, No. 4, pp. 191–197. [in Russian].

3. Faizullin A.V., Fairushin A.M., Karetnikov D.V., Fatkullin M.R. Remont korpusov nasosnykh agregatov iz stali 20KhGSFL s primeneniem svarochnykh tekhnologii [Repair of 20CrMnSiVaL Steel Pumping Units with the Use of Welding Technologies]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» — Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business»*, 2014, No. 1, pp. 345–361. URL: http://ogbus.ru/authors/FaizullinAV/FaizullinAV_1.pdf. [in Russian].

4. Khudyakov A.O. Vliyanie khimicheskogo sostava osnovnogo metalla na vyazkie svoistva zony termicheskogo vliyaniya elektrosvarnykh trub bol'shogo diametra [Effect of Base Metal Composition on Toughness in a Heat-Affected Zone of Large Diameter Welded Line Pipes]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Metallurgiya» — Bulletin of the South Ural State University. Series «Metallurgy»*, 2014, No. 3, pp. 55–61. [in Russian].

5. Chupeikina N.N. Vliyanie kachestva remontnoi svarki na rabotosposobnost' svarnykh soedinenii [Influence of Quality of Repair Welding on Serviceability of Welded Joints]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' — Mining Information and Analytical Bulletin*, 2011, No. 5, pp. 181–184. [in Russian].

6. Goncharov N.G., Kolesnikov O.I., Vorontsov A.N. Termicheskaya obrabotka svarnykh soedinenii truboprovodov v usloviyakh trassy i v zavodskikh usloviyakh [Heat Treatment of Pipeline Welding Joints in Conditions of the Route and Plant]. *Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefiti i nefteproduktov — Science & Technologies: Oil and Oil Products Pipeline Transportation*, 2013, No. 2, pp. 55–59. [in Russian].

7. Goncharov N.G., Kolesnikov O.I., Yushin A.A., Neganov D.A., Mikhailov I.I., Bratus' A.A. Issledovanie defektov litykh korpusnykh detalei nasosov i razrabotka tekhnologii ikh remonta [Investigation of Cast Pump Bodies Defects and Development of a Repair Technology for Them]. *Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefiti i nefteproduktov — Science & Technologies: Oil and Oil Products Pipeline Transportation*, 2016, No. 5, pp. 84–89. [in Russian].

8. Rozanov D.S. Raschetnoe obosnovanie rezhimov poslesvarochnogo nagreva pri svarke krupnogabaritnykh obolochkovykh svarnykh konstrukttsii v energeticheskom mashinostroenii [Calculation Justification of Post-Welding Heating Modes for Welding Large-Sized Shell Welded Structures in Power Engineering]. *Svarka i diagnostika — Welding and Diagnostics*, 2011, No. 3, pp. 47–49. [in Russian].

9. Vengerov A.A., Yakupov A.U., Brand A.E. Remontnaya svarka korpusov nasosov, izgotovlennykh iz sredneuglerodistoi liteinoi stali [Repair Welding of Pump Housings Made of Medium-Carbon Casting Steel]. *Sbornik nauchnykh trudov Vserossiyskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Aktual'nye problemy truboprovodnogo*

transporta Zapadnoi Sibiri», 2014, Tyumenskii industrial'nyi universitet [Collection of Scientific Works of All-Russian Scientific-Technical Conference «Actual Problems of Pipeline Transport in Western Siberia», 2014, Tyumen Industrial University: 2014, pp. 13–18. [in Russian].

10. Vyshemirskii E.M. Svarochnoe proizvodstvo OAO «Gazprom». Novye trebovaniya normativnykh dokumentov [Welding Production of OJSC GAZPROM. New Requirements Appeared in Normative Documents]. *Zhurnal neftegazovogo stroitel'stva — Journal of Oil and Gas Construction*, 2015, No. 1, pp. 30–39. [in Russian].

11. Khalimov A.A., Zharinova N.V., Khalimov A.G., Fairushin A.M. Obespechenie tekhnologicheskoi prochnosti svarnykh soedinenii iz martensitnykh khromistykh stalei

tipa 15Kh5M [Ensuring Technological Strength of Welding Joints of Chromium Martensitic Steel 15CR5M]. *Neftegazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2012, Vol. 10, No. 3, pp. 102–108. [in Russian].

12. Sagalevich V.M., Fedorov V.G., Yanchenko Yu.A., Makushin G.Yu., Vinogradov V.N. *Sposob ul'trazvukovoi obrabotki svarnykh shvov* [The Method of Ultrasonic Treatment of Welds]. Patent USSR, No. 683873, 1979. [in Russian].

13. Faizullin A.V., Fairushin A.M., Fatkullin M.R., Zaripov M.Z. *Sposob ul'trazvukovoi svarki tolstostennykh konstrukttsii* [The Method of Ultrasonic Welding of Thick-Walled Structures]. Patent RF, No. 2605888, 2015. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ABOUT THE AUTHORS

Файрушин Айрат Миннуллович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Airat M. Fairushin, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Assistant Professor of Petroleum Apparatus Construction Technology Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: tna_ugntu@mail.ru

Фаткуллин Марат Рафисович, аспирант кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», УГНТУ г. Уфа, Российская Федерация

Marat R. Fatkullin, Post-Graduate Student of Petroleum Apparatus Construction Technology Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: 19maratik92@mail.ru

Ульябаев Радмир Радикович, студент кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Radmir R. Ulyabaev, Student of Petroleum Apparatus Construction Technology Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: ulyabaev2015@mail.ru

Чернятьева Рита Раисовна, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Метаматика» ФГБОУ ВО УГНТУ г. Уфа, Российская Федерация

Rita R. Chernyat'eva, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Assistant Professor of Mathematics Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: margarita.ch2011@yandex.ru

Кадошников Анна Викторовна, студент кафедры «Экономика и управление на предприятии нефтяной и газовой промышленности», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Anna V. Kadoshnikova, Student of Economics and Management of the Oil and Gas Industry Enterprise Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: kadoshnikovaanna@mail.ru

|