

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт Машиностроения

(Наименование института)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные
процессы»

(Наименование кафедры, центра, департамента)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему Исследование процессов сварки элементов печи дожига хвостовых
сероводородсодержащих и нефtezависимых газов из стали NIMONIC 75 и
12X18H10T

Студент

И.И. Закиров

(И.О.Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

д.техн.наук, доцент, А.И. Ковтунов

(ученая степень, звание, И.О.Фамилия)

Тольятти 2021 г.

Оглавление

Введение.....	4
Глава 1 Особенности сварки нержавеющей и жаростойких сталей.....	8
1.1 Описание теплообменника печи дожига хвостовых сероводородсодержащих и нефtezависимых газов.....	8
1.2 Материалы и особенности сварных соединений теплообменника	13
1.3 Особенности сварки нержавеющей и жаростойких сталей.....	16
1.4 Анализ способов ремонтной сварки и наплавки сталей.....	17
Глава 2 Технологическая подготовка деталей к восстановлению и методы устранения дефектов	26
2.1 Подготовка деталей к восстановлению.....	26
2.2 Дефекты появляющиеся при сварке нержавеющей и жаропрочных сталей.....	30
2.3 Исследование причин и механизма возникновения холодных трещин.....	32
2.4 Характеристика существующих способов устранения процесса появления холодных трещин.....	33
Глава 3 Исследование сварных соединений сталей NIMONIC 75 и 12X18H10T	36
3.1 Формирование математической модели образования холодных трещин.....	36
3.2 Определения свариваемости.....	38
3.3 Физико-механические свойства и химический состав исследуемых материалов	46
3.4 Экспериментальные сварочные мероприятия.....	54
3.5 Дефектоскопия полученных образцов сварного соединения исследуемых сталей.....	62
Глава 4 Практическая реализация предложенной технологии восстановительных сварочных работ	64

4.1 Практическая реализация.....	64
4.2 Технологический процесс восстановительных работ	64
Заключение	70
Список используемой литературы	72
Приложение А Технологическая карта на ремонт теплообменника	76
Приложение Б Расчет экономического эффекта от внедрения ремонта теплообменника	80
Приложение В Заключение контроля цветной дефектоскопии	84
Приложение Г Заключение о качестве сварных швов методом просвечивания	85
Приложение Д Акт приемки-передачи выполненных работ по ремонту теплообменника	86

Введение

На сегодняшний день не только экономическое, но и политическое значение нефтегазового производства для страны трудно переоценить. Бурное развитие предприятий нефтегазовой отрасли требует постоянной работы по совершенствованию технологий переработки, транспортировки и утилизации как готовых, так и переработанных продуктов.

Эта задача особенно актуальна в свете осуществляемых в России ряда крупнейших нефтегазопроводных проектов. Известно, что на современном этапе развития технологии строительства нефтегазоперерабатывающих предприятий сварной способ соединения секций является основным. «Основой безопасной эксплуатации нефтегазоперерабатывающих установок является качество проведения сварочных работ наряду с другими влияющими факторами» [1].

В настоящее время для строительства трубопроводов применяются стальные бесшовные и электросварные (прямо- и спирально-шовные) трубы в большинстве своем изготовленные из низколегированных сталей, в том числе с термическим и термохимическим упрочнением марок 17ГС, 10Г2БТЮ и пр.; аустенитные нержавеющие стали 12Х18Н10Т, 08Х18Н11 и пр.; высокотемпературные сплавы (на основе Ni) 55Х20Г9АН4, Nimonic 75 и др.

Актуальность темы. Теплообменник используется в составе печи дожигания хвостовых сероводородсодержащих и нефtezависимых газов, для охлаждения «камеры сгорания». Работа этого агрегата происходит в условиях высокой температуры и давления. Имеет смысл решить проблему получения качественного сварного шва, наличие дефектов в узлах этого оборудования может привести к разрушению установки, что может привести к утечкам серы, привести к затратам на важное оборудование, аварии. на работе и с потерей человеческих жизней.

Цель работы: Снижение себестоимости восстановительных работ по устранению нарушенного технологического процесса регенерации газа в печи, путем проведения ремонта трубчатого теплообменника и исследования технологии аргонодуговой сварки стали NIMONIC 75 и 12X18H10T.

Для достижения этой цели в магистерской работе были решены следующие задачи:

1. Рассмотрение возможных дефектов сварных соединений нержавеющей и жаропрочных сплавов узлов теплообменника печи дожига хвостовых сероводородсодержащих и нефtezависимых газов.

2. Расчет себестоимости восстановительных работ.

3. Изготовление сварных соединений аргоно-дуговой сваркой (TIG) нержавеющей и жаропрочных сплавов на «натурных имитаторах» узлов теплообменника печи дожига хвостовых сероводородсодержащих и нефtezависимых газов.

4. Исследования в области материаловедения полученных сварных швов.

5. Рассмотреть существующие методы дефектоскопии полученных сварных соединений и оценка их применимости при ремонтно-восстановительных работах.

6. Проведение анализа параметров сварочных режимов и выбор наилучшего параметра для получения высококачественного сварного соединения.

Объект исследования: сварные швы натуральных узлов теплообменника печи дожига хвостовых сероводородсодержащих и нефtezависимых газов.

Предмет исследования: лабораторные материаловедческие исследования структуры, состава и свойств материала полученных сварных швов; возможные дефекты сварного соединения; режим сварки.

Научная новизна:

1. Исследованы закономерности образования дефектов сварных швов при аргонно-дуговой сварке нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов малой толщины от 3 до 10 мм.

2. Впервые установлены особенности формирования неразъемных соединений разнородных сталей полученных аргонно-дуговой сваркой: «склонность к межкристаллитной коррозии сварных швов вследствие выделения из аустенита богатого хромом феррита, а не карбидов Cr».

Достоверность полученных результатов изучения данной темы подтверждается тем, что при контроле полученных сварных соединений применялись рекомендованные методы: рентгенографическая дефектоскопия на импульсном рентгеновском аппарате ПИОН-2М; а также капиллярная дефектоскопия, с использованием проникающего раствора: пенетрант SHERWIN (DUBL-CHEK) DP-51, смывки: очиститель SHERWIN (DUBL-CHEK) DR-60, проявляющего раствора: проявитель SHERWIN (DUBL-CHEK) D-100. Результаты исследования подтверждены успешным использованием печи дожига хвостовых сероводородсодержащих и нефтезависимых газов на производстве.

Практическая значимость:

1. На основании исследований выявлены причины образования дефектов сварных швов, полученных аргонодуговой сваркой, и найдены оптимальные способы, позволяющие получить качественные сварные соединения сплавов 12X18H10T и NIMONIC 75.

2. Выявлены особенности формирования и исполнимость бездефектного сварного шва толщиной 3 мм методом TIG при сварке тонкостенных труб из нержавеющей стали 12X18H10T и толстостенных оболочек теплообменника из жаропрочной стали NIMONIC 75.

3. Представленные результаты по аргонно-дуговой сварке нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов внедрены на нефтегазоперерабатывающем предприятии.

Личный вклад в исследовательскую работу состоит в постановке целей и задач при изучении данной темы, в проведении лабораторных исследований сварных соединений, изучении влияния параметры сварки на механические характеристики, структуру и химический состав сварного шва, выборе оптимальных параметры сварки, разработке мероприятий по повышению качества сварных соединений жаропрочной и нержавеющей стали при аргонно-дуговой сварке деталей теплообменника печи дожигав хвостовых сероводородсодержащих и нефtezависимых газов методом Клауса.

В приложении Д представлен акт выполненных работ по сварному соединению деталей теплообменника печи дожигав хвостовых сероводородсодержащих и нефtezависимых газов с использованием полученных результатов.

Глава 1 Особенности сварки нержавеющей и жаростойких сталей

1.1 Описание теплообменника печи дожига хвостовых сероводородсодержащих и нефtezависимых газов.

В диссертационном исследовании мы рассмотрим часть теплообменника – трубное пространство, которое служит для передачи тепла между двумя автономными потоками – горячим и холодным.

Процесс теплообмена заключается в движении жидкостей в разных полостях, причем преимущественно выбирается противоточная схема движения жидкости. Во время движения жидкости горячая среда передает тепло холодной через стенки теплообменных труб.



Рисунок 1. Теплообменник печи дожига хвостовых сероводородсодержащих и нефtezависимых газов

Таблица 1. Технические характеристики:

№	Параметр	Значение
1	Рабочее давление, МПа	0,02
2	Расчетное давление, Мпа	0,6
3	Пробное давление гидравлического испытания, Мпа	0,92
4	Рабочая температура среды, °С	
4.1.	На входе	1057
4.2.	На выходе	300
7	Рабочая среда	Технологический газ
8	Класс опасности	2 по ГОСТ12.1.007
9	Взрывоопасность	Да
10	Пожароопасность	Нет
11	Вместимость, м ³	2,7
12	Срок служб, лет	20

Сведения об основных частях:

Трубная решетка – материал Nimonic 75, толщина 25 мм



Рисунок 2. Трубная решетка

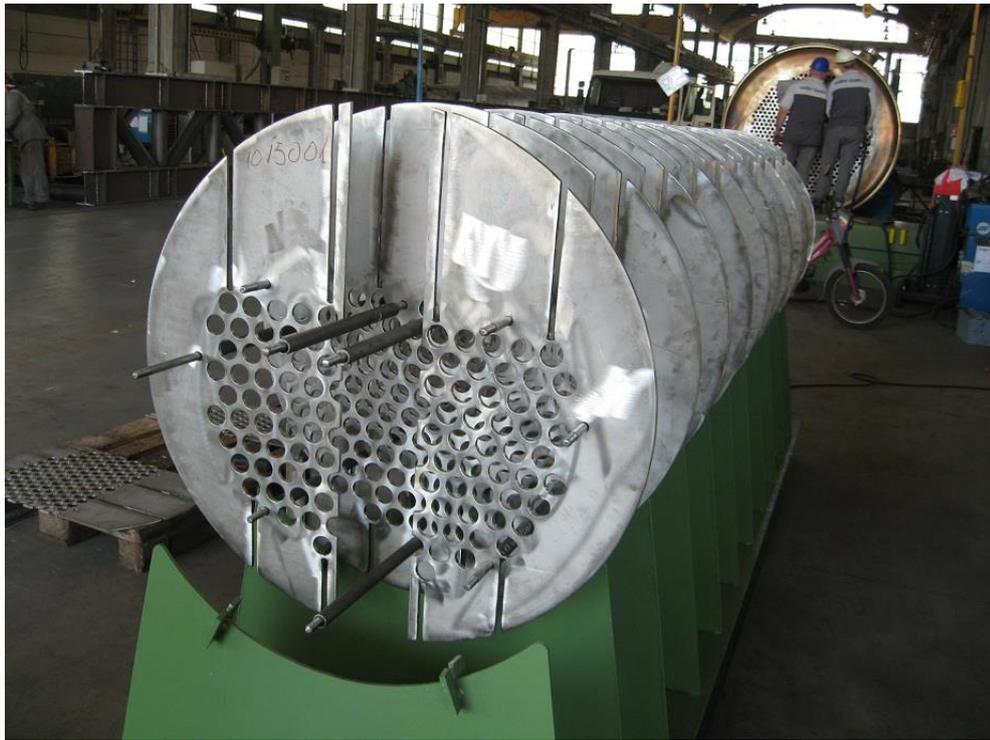


Рисунок 3. Комплект собранных трубных решеток

Теплообменные трубки в количестве 128 штук, материал 12Х18Н10Т, толщина стенки 1,65 мм, диаметр труб 31,75 мм.



Рисунок 4. Этап соединения труб с решетками

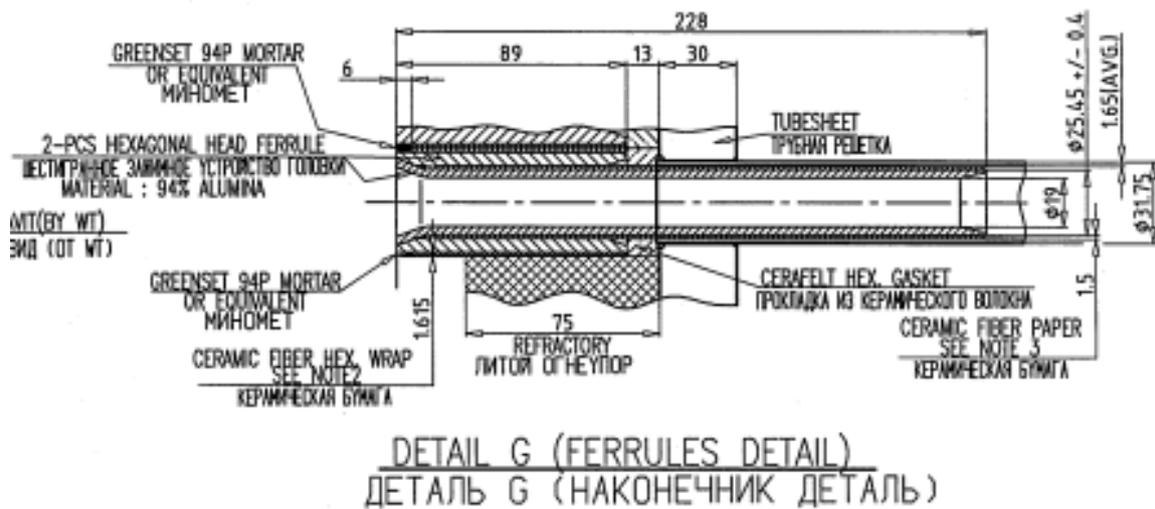


Рисунок 7. Соединение трубной решетки и охлаждающих труб

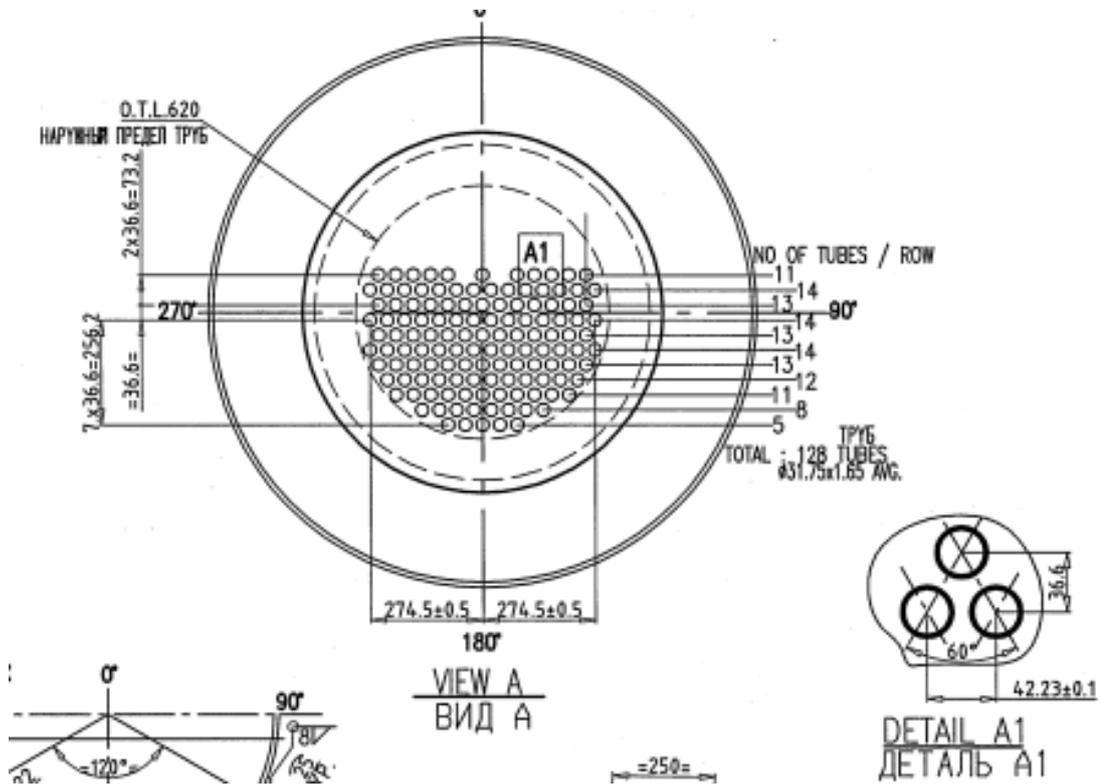


Рисунок 8. Основные геометрические параметры соединения

Нержавеющие стали не портятся под воздействием воздуха, воды, щелочей, различных кислот и солей. Это свойство достигается всеми сплавами железа с введением не менее 12% Cr.

Когда в сталь, содержащую 18% Cr, добавляется определенное количество Ni, она становится аустенитной; аустенитное состояние стали сохраняется в широком диапазоне температур. Аустенитная хромоникелевая сталь имеет лучшие механические свойства, чем хромистая сталь, более высокую коррозионную стойкость, сопротивление ползучести и меньшую склонность к росту зерна. В то время как роль Cr в аустенитных хромоникелевых сталях заключается в создании плотного оксидного слоя, который защищает сталь от коррозии, высокое содержание Ni способствует формированию и поддержанию аустенитной структуры.

Среди аустенитных хромоникелевых сталей наиболее распространены стали, содержащие 18% Cr и 8% Ni, так называемые нержавеющие стали 08X18H10, 12X18H10T, 17X18H10T и др.

Помимо высокой коррозионной стойкости стали 12X18H10T обладают высокой вязкостью и пластичностью в широком диапазоне температур, высокой прочностью и сопротивлением ползучести (жаростойкостью). Они обладают хорошими технологическими свойствами, в частности легко свариваются. Эти свойства материала 12X18H10T привели к их широкому использованию в промышленности. Несмотря на появление новых сплавов, более устойчивых в условиях интенсивно агрессивной среды при высоких температурах, стали 12X18H10T по-прежнему находят широкое применение. Твердость при закалке хромоникелевых аустенитных сталей, в отличие от закаленных углеродистых сталей, не увеличивается, а снижается. «При медленном охлаждении с температур выше 900° твердость этих сталей растетиз-за выделения карбидов» [5].

Наряду со сказанными выше преимуществами аустенитных сталей 12X18H10T некоторые из них имеют существенный недостаток - склонность к межкристаллитной коррозии. Это происходит из-за отложенного

охлаждения или нагрева в диапазоне температур 450-850 °. Причиной межкристаллитной коррозии, согласно устоявшимся представлениям, является снижение растворимости углерода в твердом растворе f при понижении температуры, что приводит к выделению карбидов хрома Cr_4C , расположенных по границам зерен. Осажденные карбиды Cr содержат около 90% Cr. Осаждение карбидов и их последующая коагуляция приводят к обеднению окружающего основного металла хромом. Поскольку хром, находящийся в твердом растворе, способствует образованию стабильной оксидной пленки на поверхности металла, обедненные хромом межзеренные области становятся центрами коррозии; поэтому этот тип коррозии называется межкристаллитной коррозией. Процесс коррозии быстро распространяется по границам зерен в глубине металла даже в относительно неактивных средах. «Нержавеющая сталь, подверженная межкристаллитной коррозии, не издает металлического звука при постукивании и трескается при изгибе» [14].

Предотвратить межкристаллитную коррозию сталей 12X18H10T можно, снизив в них содержание углерода до 0,04%, но это вызывает производственные трудности и удорожает сталь. Поэтому склонность сталей 12X18H10T к межкристаллитной коррозии предотвращается легированием с сильно-карбидообразующими элементами: титан и ниобий. В присутствии титана и ниобия образование карбидов происходит в основном за счет этих элементов, а хром практически не расходуется, выполняя свое основное предназначение: он увеличивает антикоррозионную стойкость сплава. Чтобы полностью избежать осаждения карбидов хрома, отношение титана к углероду должно быть не менее 6-7, а отношение ниобия к углероду должно быть не менее 10.

По сравнению с мягкими сталями аустенитные хромоникелевые стали имеют:

- а) коэффициент теплового расширения более 50%;
- б) в 2 раза ниже теплопроводность;

в) в 6-9 раз большее электрическое сопротивление;

г) более низкая температура плавления.

Хромоникелевые аустенитные стали отличаются высокой пластичностью, средней твердостью и одновременно достаточной прочностью. После закалки сталь 12X18H10T приобретает наивысшую пластичность. Обладая более высокой жаропрочностью и жаропрочностью по сравнению с обычными сталями, стали 12X18H10T уступают по этому показателю ряду специальных жаропрочных и жаропрочных сплавов.

Под жаростойкостью (стойкостью к образованию окалины) стали следует понимать ее стойкость к окислению при высоких температурах. Устойчивость к окалине увеличивается за счет добавления в сплав Cr, алюминия или кремния.

Термостойкость - это устойчивость к механическим воздействиям при повышенных температурах. По сравнению с ферритными сталями аустенитные стали отличаются более высокой жаропрочностью.

Чтобы получить стабильную аустенитную структуру, в сталь необходимо ввести достаточное количество Ni. Таким образом, Cr и Ni являются основными компонентами для получения надлежащих жаропрочных и термостойких свойств.

Благодаря высоким механическим, антикоррозионным и технологическим свойствам нержавеющие и жаропрочные сплавы широко используются в различных отраслях промышленности.

1.3 Особенности сварки нержавеющей и жаростойких сталей

Сварка - самый простой и надежный метод соединения исследуемых материалов. Аустенитные хромоникелевые сплавы особенно хорошо свариваются. Основными положительными качествами сварки этих сплавов являются:

- а) высокие механические свойства наплавленного металла;
- б) плохой рост зерна при сварке;
- в) небольшая зона термического воздействия.

К недостаткам сварных соединений этих сплавов можно отнести склонность некоторых из них к межкристаллитной коррозии даже при наличии в основном металле стабилизирующих добавок.

По данным Б. И. Медовара, склонность к межкристаллитной коррозии сварных швов на стали 12Х18Н10Т содержащих до 0,10- 0,12% углерода, в отличие от сталей 12Х18Н10Т возникает вследствие выделения из аустенита богатого хромом феррита, а не карбидов Cr.

Большое значение при сварке нержавеющей и жаростойких сплавов имеет защита расплавленного металла от воздействия влаги и кислорода. С ростом процентного соотношения Cr и Ni в сплаве из-за их взаимодействия при сварке с влагой склонность к образованию пористости возрастает. Также происходит интенсивное горение легирующих элементов: Cr, титана, марганца, кремния и др. Поскольку поверхность, взаимодействующая с загрязнениями, увеличивается с увеличением размеров ванны расплавленного металла, для уменьшения пористости швов необходимо стремиться к минимальному сечению швов при сварке их сплавов и сварке на максимальной скорости. Следует избегать приготовления в лужах, так как это приводит к пористости, росту зерна и «растрескиванию» [4].

1.4 Анализ способов ремонтной сварки и наплавки сталей

«Спрос на применение жаростойких сталей постоянно увеличивается в машиностроении, а тем более в нефтегазоперерабатывающих отраслях промышленности» [1].

Экономическая эффективность использования жаропрочных сталей по сравнению с другими сталями заключается в повышении долговечности оборудования и замене на длительное время остановок и плановых ремонтов

оборудования, работающего круглосуточно, за счет повышенной прочности и долговечности.

«Даже несмотря на хорошие эксплуатационные свойства жаростойких сталей, по истечению времени и воздействию высоких температур. возникает необходимость восстанавливать оборудование, в частности детали, изготовленные из данных сталей. Самым известным и универсальным способом восстановления является наплавка» [11].

Существуют различные способы наплавки жаростойких сталей [21]:

Газовая наплавка – один из способов сварки плавлением, протекающей в условиях частичного оплавления основного металла при использовании в качестве источника нагрева высокотемпературного пламени, получаемого при сжигании смеси горючего газа с кислородом [2].

«Горючий газ, используемый при газовой наплавке, должен отвечать следующим требованиям:

- высокая температура пламени при горении;
- высокая скорость горения;
- высокая теплота сгорания» [6].

«Кислородно-ацетиленовое пламя, обеспечивающее нагрев до высоких температур, больше всего подходит для газовой наплавки, поэтому само понятие газовой сварки обычно ассоциируется со сваркой этим пламенем. При наплавке, в отличие от сварки, желательна небольшая глубина проплавления основного металла, поэтому наплавку проводят методом быстрой сварки (метод Линды). При наплавке таким способом используется горелка с соплом большого диаметра, нагревающая основной металл пламенем науглероживания» [7].

Газовая наплавка обеспечивает следующие преимущества:

- незначительное проплавление основного металла;
- возможность наплавки мелких деталей сложной формы;

- уменьшение вероятности возникновения трещин, поскольку процесс наплавки включает предварительный подогрев и последующее замедленное охлаждение изделия;
- низкая стоимость сварочного оборудования.

«Вместе с тем для газовой наплавки характерны и недостатки:

- низкая производительность при наплавке массивных деталей, требующих продолжительного предварительного подогрева;
- высокая квалификация сварщика» [6].

Дуговая наплавка покрытым электродом - наплавку этим способом, основанным на использовании электродов в виде стержней с покрытием, осуществляют обычно вручную, поэтому такой способ называют также ручной дуговой наплавкой. «Электродное покрытие служит для защиты ванны жидкого металла от кислорода и азота воздуха, стабилизации дуги, повышения технологичности процесса наплавки и введения легирующих элементов в состав наплавленного металла» [2].

Карбонатно-рутиловые, основные и высокорутиловые покрытия широко используются в практике дуговой сварки. В состав электродного покрытия также вводятся шлакообразующие и газообразующие компоненты, раскислители, стабилизирующие и легирующие добавки.

«Дуговая наплавка покрытым электродом отличается невысокой стоимостью оборудования, возможностью ручной наплавки, что обеспечивает широчайшее использование этого метода для наплавки не только черных, но и цветных металлов» [21].

«Ручная наплавка уступает автоматическим и полуавтоматическим способам по скорости выполнения процесса» [18].

«Дуговая наплавка под флюсом - дуга при наплавке электродными материалами (проволокой, лентой) скрыта под слоем гранулированного флюса, предварительно насыпаемого на поверхность основного металла» [7].

Возможность наплавки при большом токе и высокой погонной энергии дает этому методу высокую производительность при хорошем качестве наплавленного металла, и по этой причине этот метод занимает доминирующее положение в области автоматических поверхностей приведено в работе [8].

Дуговая наплавка под флюсом имеет следующие преимущества:

- высокая производительность процесса при наплавке изделий простой формы с большой площадью наплавленной поверхности;
- простота осуществления процесса, не требующего высокой квалификации сварщика;
- возможность получения хорошего внешнего вида валика;
- хорошие условия труда, связанные с отсутствием разбрызгивания электродного металла (поскольку дуга скрыта под слоем флюса).

Вместе с тем этому способу наплавки присущи следующие недостатки:

- более высокая стоимость оборудования, чем для ручной дуговой наплавки покрытыми электродами;
- непригодность для наплавки мелких изделий сложной формы как отмечено в работе [12].

«Наплавка электродной проволокой под флюсом может быть осуществлена во многих вариантах с использованием наплавочной проволоки разнообразного состава и различных флюсов. При наплавке этим способом в полную меру используют технологические приемы повышения производительности, включая применение многоэлектродных сварочных головок, нагрев наплавочной проволоки электросопротивлением и применение присадочных материалов» [10].

«Многоэлектродную наплавку осуществляют обычно способом, при котором дуга возникает между двумя электродами. Преимущество этого

способа связано с косвенным дуговым нагревом основного металла, обеспечивающим небольшое его проплавление в сочетании с высокой скоростью плавления электродной проволоки» [15].

«Использование нагрева проволоки электросопротивлением при дуговой наплавке под флюсом характеризуется тем, что увеличение вылета электродной проволоки сопровождается повышением скорости наплавки и снижением степени влияния основного металла на состав наплавленного слоя» [15].

«При обычной одноэлектродной наплавке под флюсом во избежание чрезмерного проплавления основного металла необходимо применение следующих мер:

- тщательный выбор наплавочного материала с учетом влияния основного металла на состав наплавленного слоя;
- ограничение глубины проплавления путем более плотной укладки наплавляемых валиков;
- обеспечение должной толщины наплавленного слоя за счет многослойной наплавки» [14].

Наплавка электродной лентой под флюсом. Наплавку данным способом осуществляют с помощью электрода в виде широкой стальной ленты, расположенной в процессе наплавки практически под прямым углом к основному металлу.

Наплавка ленточным электродом обладает следующими преимуществами:

- получение плоского валика наплавленного металла, достаточно большой ширины (примерно равной ширине ленточного электрода);
- возможность наплавки слоя требуемой толщины за один-два прохода, что обусловлено малой глубиной проплавления основного металла и в связи с этим незначительным влиянием

его на состав наплавленного слоя (доля разбавления составляет 10-20 %);

— высокая производительность в связи с возможностью наплавки с высокой скоростью при большой силе тока приведено в работе [12].

«Рассматриваемый способ получил быстрое развитие и нашел широкое применение для наплавки коррозионно-стойкой стали, сплава «никонель» и других коррозионно-стойких наплавочных материалов» [6].

Электродуговая наплавка порошковой проволокой - наплавка без защитной среды, осуществляется порошковой проволокой при отсутствии подачи флюса или защитного газа в зону дуги. «Наплавка открытой дугой порошковой проволокой обладает следующими преимуществами:

- простота используемого оборудования и технологий за счет отсутствия обращения к защитным газам и потокам;
- возможность наплавки в полевых условиях, поскольку ветер практически не оказывает влияния на процесс наплавки;
- сравнительная простота введения легирующих элементов в наплавленный металл, состав которого можно регулировать в широких пределах» [15].

Проблема наплавки этим способом, связанная с обильным дымовыделением, была решена разработкой специальной дымовой насадки.

«Наплавка диоксидом углерода - в газовой защите экран расходуемого электрода происходит в условиях потока газа со стороны подачи электродной проволоки (материала поверхности), что защищает зону дуги от окружающего воздуха» [11].

«В качестве защитного газа используют CO_2 , хотя в последнее время распространена практика наплавки в смеси углекислого газа с аргоном и другими инертными газами. Все эти варианты носят общее название наплавки плавящимся электродом в среде защитного газа» [12].

«При проведении износостойкой наплавки в CO₂ используется сплошная проволока или порошковая проволока. Основным преимуществом оболочки CO₂ является возможность увеличения производительности процесса за счет его выполнения в автоматическом или полуавтоматическом режиме. Недостаток этого метода, присущий другим методам с использованием защитных газов, связан с невозможностью работы на открытом воздухе из-за воздействия ветра на процесс наплавки» [12].

Наплавка в среде инертного газа - способ состоит в дуговой наплавке при защите зоны дуги аргоном, гелием или иным инертным газом. «Наплавку в среде инертного газа осуществляют в двух вариантах: плавящимся и вольфрамовым электродами» [9].

«Наплавка плавящимся электродом в среде защитного газа характеризуется тем, что дуга возникает между основным металлом и электродным наплавочным материалом. Наплавка протекает в условиях автоматической подачи электродной проволоки. В качестве защитного газа чаще всего используют аргон, хотя при работе в среде чистого аргона дуга теряет стабильность при наплавке любого металла, кроме алюминиевых сплавов. С целью стабилизации дуги при наплавке стали к аргону добавляют до 20 % кислорода или углекислого газа, что существенно влияет на процесс наплавки. Поэтому задача получения наплавленного металла с заданными свойствами требует тщательного выбора состава защитного газа» [15].

«Поверхность с неплавящимся вольфрамовым электродом в среде инертного газа характеризуется тем, что дуга из-за тепла, в котором плавится присадочный металл, возникает между основным металлом и вольфрамовым электродом. Поверхностный процесс аргоновой дуги, как и поверхность газа, происходит в условиях подачи поверхностного стержня и его плавления дугой. Использование механизированных средств подачи материала покрытия с постоянной скоростью позволяет наносить покрытие в автоматическом или полуавтоматическом режиме» [15].

«Использование инертного газа устраняет необходимость в потоке; поэтому этот метод особенно эффективен при наплавке цветных металлов, высоколегированных сталей и других материалов, чувствительных к окислению и азотированию. Высокое качество наплавленного металла гарантируется широким ассортиментом присадочных материалов» [13].

Все перечисленные способы обладают как преимуществами, так и недостатками, что не позволяет использовать их массово.

Выводы по 1 главе

В результате рассмотрения проблемных частей сварочного производства теплообменника установлено, что при получении сварных соединений жаропрочной и нержавеющей стали при аргонно-дуговой сварке деталей теплообменника печи дожига хвостовых сероводородсодержащих и нефtezависимых газов методом Клауса, велика вероятность получения дефектов, таких как появление холодных трещин, пористость и рост зерна.

При производстве теплообменника печи дожига хвостовых сероводородсодержащих и нефtezависимых газов возникают дефекты, перечисленные выше, которые необходимо исправлять, что повышает стоимость и подвергает производство простоя оборудования.

Необходимо провести лабораторный материаловедческий анализ качества сварных швов жаропрочной и нержавеющей стали, полученных методом аргонно-дуговой сварки (TIG), выявить причины образования перечисленных дефектов, выбрать оптимальные режимы TIG для получения бездефектных сварных швов.

Таким образом, целью данной работы является проведение материаловедческого исследования, определение и устранение причин образования дефектов, таких как холодные трещины в сварных соединениях нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов узлов теплообменника печи дожига хвостовых сероводородсодержащих и нефtezависимых газов, установить оптимальные режимы аргонно-дуговой сварки для получения бездефектных соединений.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

1. Анализ дефектов в сварных соединениях нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов узлов теплообменника печи дожигавостовых сероводородсодержащих и нефтезависимых газов.
2. Получение сварных соединений аргонно-дуговой сваркой (TIG) нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов на «образцах-имитаторах натуральных» узлов теплообменника печи дожигавостовых сероводородсодержащих и нефтезависимых газов.
3. Материаловедческие исследования полученных сварных швов.
4. Анализ существующих методов контроля сварных соединений и оценка их применимости.
5. Проведение исследования параметры сварки и выбор оптимального режима для получения высококачественного сварного соединения.

Глава 2 Технологическая подготовка деталей к восстановлению и методы устранения дефектов

2.1 Подготовка деталей к восстановлению

«В большинстве случаев детали, поступающие на восстановление, сильно загрязнены, покрыты ржавчиной, краской и имеют прочие загрязнения» [7]. Поэтому они должны быть предварительно очищены и дефектованы.

Очистка может быть нескольких уровней:

1. Макроочистка - процесс удаления с поверхности наиболее крупных частиц, мешающих разборке, дефектации и механической обработке.
2. Микроочистка - удаление загрязнений от масла, остатков эмульсии, солей моющих растворов, пыли и т.п.;
3. Активирующая очистка - травление металла и очистка поверхностей от остатков ПАВ, защитных пленок и посторонних веществ.

Загрязнение поверхностей деталей удаляют различными способами. Например, для удаления жидких и твердых загрязнений с поверхности широко используются специальные моющие средства, используются синтетические моющие средства, растворы которых по моющей способности в несколько раз превосходят растворы каустической соды и различных щелочных смесей. Растворы синтетических моющих средств можно использовать для очистки деталей из черных, цветных и легких металлов и сплавов.

Загрязнения также удаляются растворителями - керосином, бензином, уайт-спиритом, дизельным топливом. «В основном они используются для очистки деталей и узлов от масляных загрязнений, обезжиривания поверхностей от асфальто-смолистых загрязнений» [7].

Очистка от нагара, накипи, коррозионных отложений может осуществляться химическими, механическими, химико-термическими и другими методами. Детали из стали и чугуна можно очистить от нагара химическим методом, основанным на использовании щелочных растворов повышенной концентрации, которые описывались в работе [24].

«Для очистки деталей от окалины, ржавчины, подготовки поверхности к покраске, гальванике и другим покрытиям, а также для различных операций отделки поверхности деталей бомбардируют твердыми частицами, содержащимися в большом количестве циркулирующей в камере воды (обычно частицы абразивов или стекла)» [21].

Количественные данные, позволяющие судить о свойствах и качестве обнаружения неисправностей и заказа деталей, заносятся в списки дефектов. Эта информация в дальнейшем, после статистической обработки, позволяет прогнозировать возможный износ деталей.

Во время обнаружения неисправности выполняются следующие операции. «Сначала при внешнем осмотре невооруженным глазом или с помощью лупы, контролем на ощупь, постукиванием выявляются следующие повреждения деталей: трещины, зазубрины, риски, изломы, дыры, вмятины, задиры, коррозия, охрупчивание юстировки. Кроме того, с помощью универсального и специального измерительного инструмента определяются геометрические параметры деталей. Для выявления скрытых дефектов, проверки герметичности, эластичности, проверки взаимного положения частей деталей используются специальные приспособления и приспособления» [7].

«Технологическая подготовка деталей к ремонту и обновлению поверхности, помимо очистки, обезжиривания и травления, включает также операции, связанные с механическим удалением дефектного металлического слоя» [7].

Наплавка на плохо подготовленной поверхности приводит к непроварам, образованию пор и углублений, загрязнению шва неметаллическими включениями.

Отверстия, канавки или бороздки на поверхности свариваемой детали, которые необходимо сохранить, заделываются медными, графитовыми или угольными вставками. Способ крепления вставки перед наплавкой подбирается для каждой детали отдельно.

Не подвергающиеся наплавке поверхности детали при необходимости защищают от брызг оксида сухим или влажным асбестовым картоном или стекловолокном.

Восстанавливаемые детали в зависимости от материала и его состояния (вида термической или химико-термической обработки) перед наплавкой могут подвергаться общему предварительному нагреву, степень которого зависит от склонности металла к трещинообразованию (технологической прочности). В некоторых случаях перед наплавкой изделие подвергают высокому отпуску для снятия остаточных напряжений или отжигу для устранения упрочняющей структуры.

«Для правильной организации подготовки деталей к наплавке и выполнения наплавочных работ необходимо после осмотра и замеров износа деталей составить карту технологического процесса ремонта» [21].

«В ней должны быть отображены причины и характер износа, условия работы деталей, объем работ, вид и способ наплавки, марка и диаметр электродов или проволоки, режим и технология наплавки, время на выполнение работ, последовательность операций, припуск на механическую обработку, необходимость предварительной и последующей термической обработки» [21].

При выборе метода восстановления изделия, помимо повышения его износостойкости, необходимо учитывать особенности способов нанесения покрытия и их использования при восстановлении определенных деталей. При выборе облицовочного материала особое внимание следует уделить

свойствам наплавленного металла, более характерным для работы детали, чтобы его прочность и износостойкость не уступали таковым нерасплавленной детали. Возможность нанесения какого-либо метода покрытия также зависит от рентабельности каждого конкретного метода для каждой детали.

Выбор метода нанесения покрытия (ручной или автоматический) во многом определяется однородностью и массой реставрируемых деталей.

В экономическом расчете выбора метода наплавки необходимо учитывать следующие факторы: стоимость замены детали наплавкой по сравнению со стоимостью изготовления нового изделия традиционными методами (ковка, литье, штамповка и т.д.); стоимость механической и термической обработки (до и после наплавки) по сравнению со стоимостью обработки новой детали из детали; качество продукции (в тех случаях, когда это зависит от свариваемой детали); стоимость эксплуатации и ремонта машины или устройства в течение длительного времени до и после сборки сварных деталей; изменить свою производительность; влияние обработки поверхности на расход дефицитных материалов; организация работы и механизация обработки поверхностей.

В нашем случае экономический расчет проводился в сравнении с закупкой нового теплообменника, расчеты представлены в приложении Б.

Особого внимания требует электросварочное оборудование при выборе рационального способа наплавки. Некоторые металлы и сплавы можно использовать только определенным образом. В то же время многие методы наплавки требуют специализированного оборудования.

Выбор метода восстановления зависит от размера и конфигурации детали, текучести и доли основного металла в наплавленном слое.

2.2 Дефекты появляющиеся при сварке нержавеющей и жаропрочных сталей

Сплавы, рассмотренные в исследовании диссертации, довольно сложно сваривать, так как они имеют ярко выраженную склонность к образованию горячих трещин и микротрещин в области вблизи сварного шва и непосредственно в шве. «Эти дефекты возникают из-за появления в сплаве крупнозернистой макроструктуры (имеют межзеренный характер)» [19].

Металл сварных соединений, если говорить об аустенитном составе, характеризуется особой формой кристаллизации (называемой ячеисто-дендритной), которая вызывает появление фаз с низкой температурой плавления и очень крупных столбчатых кристаллов. Увеличить прочность швов можно с помощью специальных технологий, позволяющих устранить указанную металлическую конструкцию. «Суть таких приемов обычно заключается в измельчении кристаллов, а также в уменьшении количества содержания вредных примесей S и P в металле» [17].

Очень часто с ГТ борются за счет уменьшения степени проплавления металла и использования сварочных материалов, изготовленных из стали, для электрошлакового или вакуумного плавления. «В некоторых случаях риск разрушения можно значительно снизить за счет увеличения ликвидационных добавок (например, бора) до таких показателей, которые позволяют получить обильную эвтектику на кристаллитах» [18].

Если эти методы не подходят, используется универсальный метод предотвращения трещин, который подразумевает изменение картины кристаллизации сварных соединений, приводящее к увеличению степени растворимости ликвидационных добавок в первичном феррите, присутствующем в них. При изменении схемы отмечается путаница и уточнение структуры кристаллов феррита и аустенита, что значительно снижает активность разрушения. «Процесс модификации сварного шва

осуществляется путем добавления легирующих элементов, таких как молибден, хром, алюминий или кремний» [29].

«Сварные соединения таких сталей не должны изменять своих механических (очень, примечательно, высоких) возможностей в течение длительного времени эксплуатации при высоких температурах. Выполнить это условие непросто из-за того, что в металле шва при его быстром охлаждении после сварки наблюдается закрепление неравновесных структур» [19]. Они снижают пластические характеристики сварного соединения уже при температуре около $+350\text{ }^{\circ}\text{C}$ (поскольку происходят бурные диффузионные процессы).

«Кроме того, при температурах от $+500$ до $+650\text{ }^{\circ}\text{C}$ отмечается формирование α -фазы и в то же самое время выпадение карбидов, от $+350$ до $+500\text{ }^{\circ}\text{C}$ (при выполнении операции термического старения) – образование хрупкости» [9]. Металл также становится очень хрупким при хранении при температуре около $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ (это также приводит к снижению прочности соединения). Чтобы свести к минимуму эти негативные явления в жаропрочных сплавах, делаются попытки снизить содержание углерода (в металле сварного шва и в основном металле).



Рисунок 11. Распространенный дефект - трещина сварного шва

В жаропрочных сталях в зоне термического влияния часто образуются трещины, вызванные снижением прочностных и пластических параметров основного металла в процессе его термообработки, как утверждали авторы в работах [28, 29]. Такие дефекты связаны с тем, что кислород и углерод в больших количествах, являясь тензоактивными элементами, способны вызывать образование эвтектик с низкой температурой плавления. А при длительной эксплуатации конструкций из жаропрочных сталей интерметаллиды и карбиды (мелкодисперсные) часто обнаруживаются в зоне сварного шва, что делает соединение хрупким как отмечено в работе [22].

Все эти проблемы решаются покрытием специального металлического слоя с двухфазной структурой, не имеющего ничего общего с основным металлом [29]. Но в процессе эксплуатации сварных конструкций происходит усиление дополнительного слоя, что через некоторое время снова приводит к образованию деформированного участка и все те же трещины. Устранить их можно путем высокотемпературной аустенитизации (около 1100 градусов) и последующего самоотверждения или стабилизирующего отжига. Последнее проводится при температуре не менее 750 градусов.

2.3 Исследование причин и механизма возникновения холодных трещин

«Жаростойкие стали относятся к группе трудносвариваемым металлам, свариваемость которых обеспечивается при специальных технологиях сварки и использованию специальных присадок» [2].

Для жаростойких сталей характерной особенностью является появление микро и макротрещин. Конечно, говорить о каком-либо едином решении - глупо. «Для каждого отдельного металла должно быть произведено исследование по поводу того, какую температуру для сварки будет рационально использовать и насколько каждый отдельный материал будет склонен к коррозионным воздействиям» [3].

Наиболее правильным решением будут полномасштабные испытания, которые следует провести, чтобы определить, насколько склонен металл к разрушению [25]. Также нужно понимать, что для качественной сварки жаропрочных металлов необходимо будет получить механические свойства соединений и швов, которые будут максимально приближены к основному металлу.

Эти свойства стали отрицательно сказываются на ремонтных работах путем наплавки, особенно в случае полевых работ. Поэтому актуальным становится вопрос разработки эффективного метода восстановления деталей из жаропрочных сталей.

2.4 Характеристика существующих способов устранения процесса появления холодных трещин

«В настоящее время наиболее распространенным методом восстановления является газовая оболочка. Основным недостатком этого процесса по сравнению с жаропрочными сталями является необходимость предварительного нагрева детали, а затем ее нагрева» [6]. «Недостатком этого метода также является то, что в процессе восстановления происходит сильное разбрызгивание жидкого металла» [7].

Появление CO₂, имеющего недостатки, имеет множество положительных аспектов, поэтому мы рассмотрим существующие возможности для предотвращения негативных явлений.

Авторы В.В. Чигарев, В.П. Иванов, И.С. Псарева в своей работе «Повышение работоспособности деталей и инструмента наплавкой гетерогенного слоя» предлагают усовершенствовать технологии наплавки для снижения вероятности образования трещин» [6].

«Наплавку рабочего слоя производить в виде слоистой композиции, в которой смежные слои выполняются материалами с различными модулями упругости, обеспечивается необходимое соотношение пластических и прочностных свойств, что препятствует дальнейшему развитию трещин» [6].

«Участки наплавленного металла, ориентированные таким образом, чтобы направление вероятного роста трещины соответствовало направлению максимального сопротивления растрескиванию, также могут выступать в качестве препятствий для растрескивания. Для этого рабочую поверхность необходимо сварить непрямыми швами. При этом по мере развития трещины периодически появляются участки с высоким сопротивлением ее развитию (поперечные сечения шва)» [6].

«Одним из способов ограничения процессов зарождения и развития трещин является получение поверхности шва кольцевыми швами с предварительным формированием дискретных участков шва в виде точек или коротких поперечных валиков на пути будущей поверхностной траектории кольцевого шва. продолжение следует» [9].

«Авторы Мозок В. М., Лебедев В. А. в работе «Новые возможности ремонтов деталей тяжелой техники импульсно-дуговой сваркой и наплавкой вне ремзаводов» предлагают для качественного ремонта крупногабаритных деталей и узлов пользоваться гетерогенным присадочным металлом и специальной техникой наложения швов» [7].

«В качестве специальной техники наплавки ремонтного шва обычно применяется обратноступенчатый способ при длине ступени до 120–150 мм, или, например, «горкой» [7].

«Существует ряд других методов, включая использование модулированных режимов работы механизированного оборудования, использование импульсной подачи электродной проволоки и другие типы импульсных методов зажигания дуги» [6].

Хочу заметить, что в последнее время все с большим успехом при наплавке используются способы аргонно-дуговой сварки с применением специальных присадок, в частности, при восстановительных работах в полевых условиях, с созданием особых типов наплавленных поверхностей, также об этом отмечено в работе [8].

Выводы по 2 главе

Изучив все работы можно сделать вывод, что наиболее рациональным способом восстановления деталей, изготовленных из жаростойких сталей является наплавка в среде газовой защиты с применением присадок, и контролем температуры нагрева основного металла при воздействии сварочной дуги.

При проведении восстановительной сварки необходимо помнить, что химический состав наплавленного металла существенно отличается от химического состава основного металла. «Поэтому при наплавке должен выполняться ряд технологических требований» [6].

«В первую очередь таким требованием является минимальное разбавление наплавленного слоя основным металлом, расплавляемым при наложении слоев. Поэтому в процессе наплавки необходимо получение наплавленного слоя с минимальным проплавлением основного металла, так как в противном случае возрастает доля основного металла в формировании наплавленного слоя. Это приводит к ненужному разбавлению наплавленного металла расплавляемым основным» [13].

«Во-вторых, при наплавке необходимо обеспечение минимальной зоны термического влияния и минимальных напряжений и деформаций. Это требование обеспечивается за счет уменьшения глубины проплавления, а также регулированием параметров режима, погонной энергии и другими технологическими приемами» [13].

Перегрев деталей более 200 градусов, в нашем случае, приводит к образованию холодных трещин. Поэтому, наплавку по окружности будем выполнять отдельными участками до полного замыкания окружности со смещением их на определенный шаг вдоль образующей.

Глава 3 Исследование сварных соединений сталей NIMONIC 75 и 12X18H10T

3.1 Формирование математической модели образования холодных трещин

«С целью прогнозирования и формирования математической модели образования холодных трещин (ХТ) в сварных соединениях сталей в научной работе будем использовать концептуальная модель Э.Л. Макарова, которая основывается на учете соотношений действительных и критических значений структурного, водородного и силового факторов» [14].

«Выделим основной фактор, влияющий в большей степени на образование холодных трещин и являющийся наиболее сложным для учета – структурный фактор» [14].

«Автором Макаровым Э.Л. выявлено что при однопроходной сварке структура металла шва формируется на этапе охлаждения в основном в процессе полиморфного $\gamma \rightarrow \alpha$ превращении аустенита, поэтому описание структурного фактора размером аустенитного зерна и фазовым составом структуры оказывается достаточным для прогноза показателя сопротивляемости сталей образованию холодных трещин» [17].

Наша работа направлена на исследование процесса образования холодных трещин при многослойной сварке, поэтому потребуются изучить процессы сегрегации углерода в кристаллах мартенсита, выделение тонкодисперсных промежуточных карбидов и т.д. – это процессы которые протекают при повторном нагреве.

Экспериментальное исследование будет проводиться в лаборатории управления «Татнефтегазпереработки», при участии «ТатНИПИнефть» по методу, представленному в работах А.В. Коновалова [14—16].

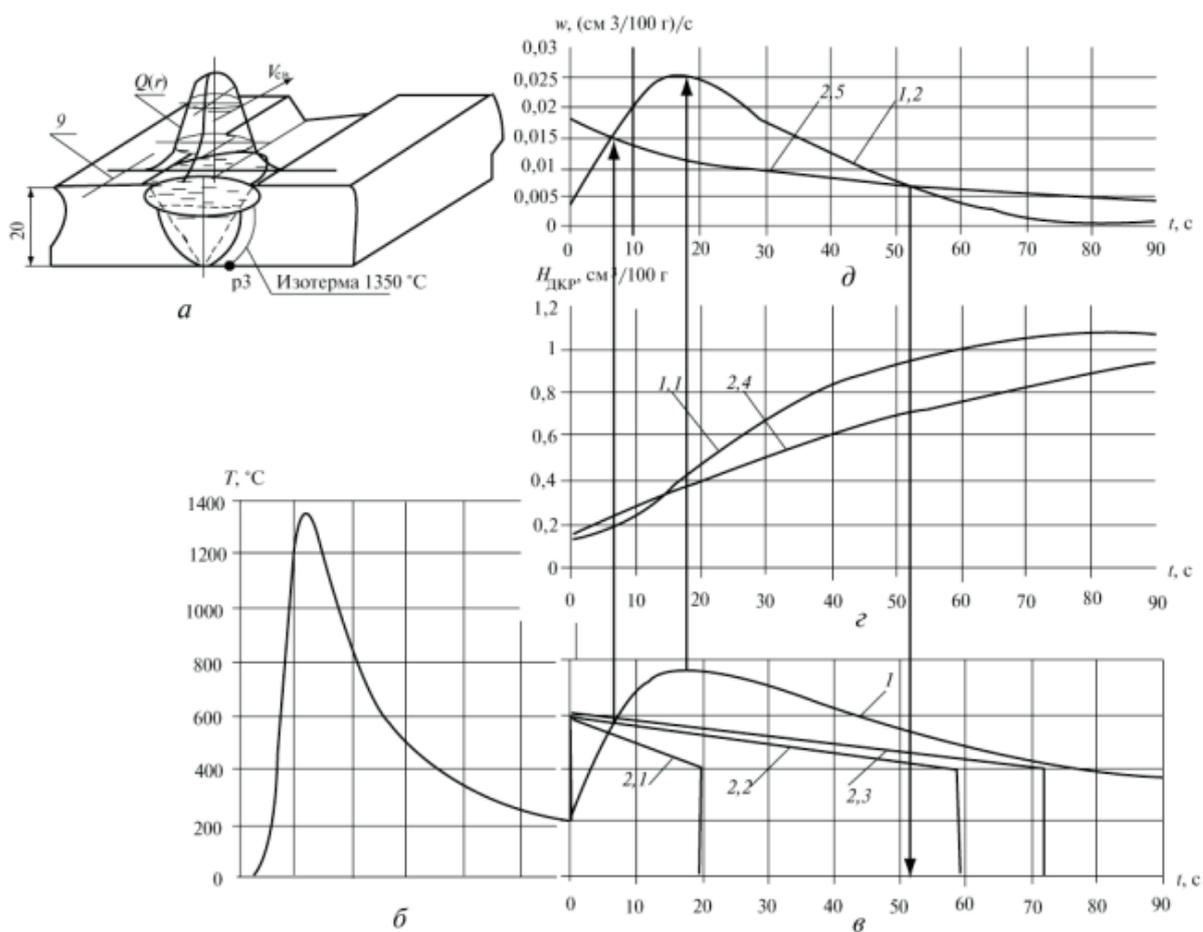


Рисунок 12. Результаты модельной оценки сопротивляемости стали при двухпроходной сварки и результаты сравнительного анализа:

а — схема сварного соединения; б — расчетный сварочный термический цикл первого прохода в точке $p3$; в — 1 — расчетный сварочный термический цикл второго прохода; 2.1, 2.2, 2.3 — лабораторный термический цикл повторного нагрева; г — 1.1 — модельная кривая (прогноз) изменения показателя сопротивляемости стали холодным трещинам в точке $p3$ под воздействием сварочного термического цикла второго прохода, 2.4 — кривая изменения показателя сопротивляемости стали холодным трещинам, построенная по экспериментальным значениям критической концентрации водорода в образце под воздействием лабораторного термического цикла повторного нагрева; д — 1.2, 2.5 — скорости изменения сопротивляемости стали холодным трещинам под

воздействием сварочного термического цикла второго прохода и повторного нагрева лабораторного термического цикла

3.2 Определения свариваемости

Перед началом проведения исследования, а именно сварки разных сплавов, «производим расчет углеродного эквивалента Сэкви» [16].

Такое значение, как углеродный эквивалент стали (C_{eq}), используется для оценки свариваемости стали. При определении углеродного эквивалента учитывается химический состав стали, потому что он очень большой. «Углерод (С) особенно сильно влияет на свариваемость» [15]. Чтобы определить склонность металла к образованию трещин, используются следующие формулы для расчета углеродного эквивалента:

$C_{экви} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$, % - данная формула принята для расчёта в Европейском стандарте

$C_{экви} = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4$, % - эта формула для определения углеродного эквивалента стали в стандартах Японии

$C_{экви} = C + Mn/20 + Ni/15 + (Cr + Mo + V)/10$, % - такая формула углеродного эквивалента предлагается Британским институтом сварки

Однако, как выяснилось на практике, для микролегированных сталей с низким содержанием углерода эти уравнения не могут охарактеризовать снижение прочности из-за роста зерна. Герман Дюрэн вывел формулу углеродного эквивалента микролегированных сталей, достаточно точно характеризующую их склонность к холодному растрескиванию:

$$C_{экви} = C + Si/25 + (Mn + Cu)/16 + Cr/20 + Ni/20 + Mo/40 + V/15, \%$$

Значение углеродного эквивалента позволяет определить, к какому классу он относится, а также необходимо определить температуру предварительного нагрева. Определяется по формуле:

$$C = C_{экви} + C_s,$$

где C - общий эквивалент углерода, который можно вычислить следующим образом:

Сэкв - химический эквивалент углерода, вычисляется по формулам, приведённым выше;

Cs - эквивалент углерода, в зависимости от толщины листа, в мм. Вычисляется по формуле:

$$C_s = 0,005 * S * C_{\text{экв.}}$$

$$\text{В итоге, получаем: } C = C_{\text{экв.}} * (1 + 0,005 * S)$$

Помимо углеродного эквивалента, существует несколько параметрических формул для определения и оценки свариваемости сталей, наиболее популярной из которых является формула Ито-Бессю:

$$P_{\text{см}} = C + \text{Si}/30 + \text{Mn}/20 + \text{Cu}/20 + \text{Ni}/60 + \text{Cr}/20 + \text{Mo}/15 + \text{V}/15 + 5B, \%$$

$$P_w = P_{\text{см}} + \text{H}/60 + K/(40 * 104), \%$$

Где K - коэффициент интенсивности жёсткости, который Ито и Бессю применяли при расчётах на основании данных, которые они получили при оценке свариваемости сталей с Y-образной разделкой кромок.

$K = K_0 * S$, где K_0 - константа, равная 69; S - толщина листа, мм. «Исследования, проведённые позже, показали, что константу $K_0 = 69$ можно применять для приблизительных определений величины K в случае, когда свариваются листы большой толщины, до 150 мм включительно» [15].

$P_{\text{см}}$ - коэффициент, характеризующий снижение прочности вследствие структурного преобразования сплава;

H - количество растворённого водорода в металле, образующего сварной шов, измеряется в мл/100г. В Японских стандартах величина H=0,64, в Европейских H=0,93.

«Многочисленные измерения показали, что при $P_w > 0,286$, то возникает риск возникновения холодных трещин в сварном соединении» [14].

Если речь идет об опасности образования горячих трещин в металле шва, то свариваемость стали по этому критерию можно оценить с помощью показателя HCS, рассчитываемого по формуле:

$$HCS = (C * 1000) / (3Mn + Cr + Mo + V)$$

Если получившаяся величина $HCS > 4$, то возникает риск образования

горячих трещин. Однако, если выполняется большой толщины, то риск возникновения данного возникает уже при показателе $HCS > 1,6 \dots 2$.

На практике одним из основных и часто трудно обнаруживаемых дефектов сварного шва являются холодные трещины. «Поэтому наиболее популярной оценкой свариваемости стали является определение C_{eq} углеродного эквивалента по формулам, приведенным выше» [19].

При дуговой сварке углеродистых и низколегированных сталей упрочнение ЗТВ основного металла обычно происходит из-за превращения аустенита в мартенсит в результате быстрого охлаждения металла шва. Степень упрочнения зависит от состава сплава и скорости охлаждения. В случае углеродистых и низколегированных сталей композиционный эффект определяется эмпирически определенным углеродным эквивалентом (C_{eq}). Обычно для определения C_{eq} используется следующая формула, принятая Международным институтом сварки.

В Японии приведенная ниже таблица обычно используется для оценки прокаливаемости углеродистых и низколегированных сталей.

В этих формулах С и другие легирующие элементы указаны в процентах по массе.

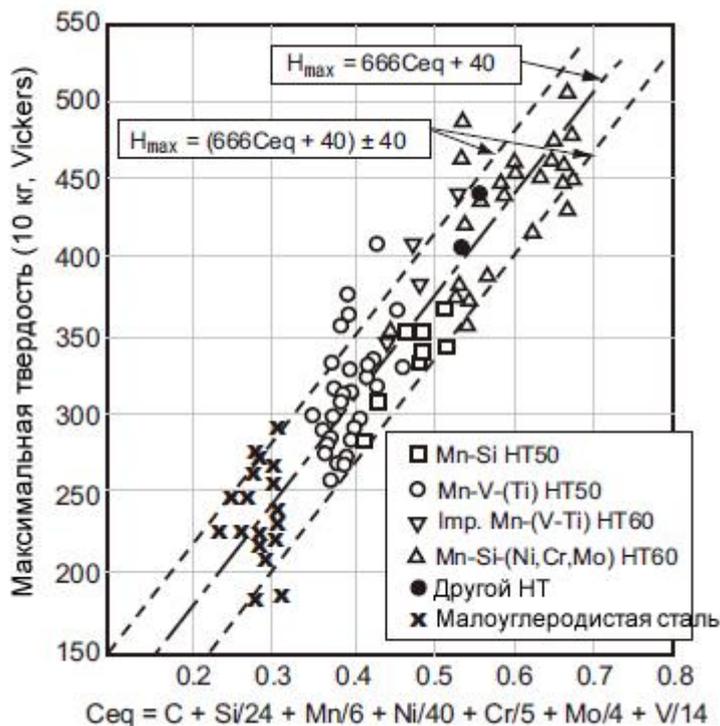


Рисунок 13. Максимальная твердость HAZ

Как показано на рисунке 13, максимальная твердость HAZ увеличивается с увеличением C_{eq} , подтверждая сильное и прямое влияние углерода на твердость. Другие легирующие элементы также влияют на твердость, но в меньшей степени. В целом они влияют на закаливаемость сварных швов.

Как показано на рисунке, максимальную твердость HAZ углеродистой или низколегированной стали можно определить по формуле $H_{\max} = (666C_{eq} + 40) \pm 40$. Однако основное применение этой концепции - определение не твердости, а минимального температура предварительного нагрева, необходимая для предотвращения образования твердого мартенсита или микроструктуры с низкой пластичностью.

Эта микроструктура вместе с усадкой сварного шва и содержанием

углерода в металле сварного шва может вызвать холодное растрескивание сварного шва. Как показано на рис. 14, образование подшовных трещин - холодных трещин, образовавшихся в ЗТВ, - увеличивается с увеличением C_{eq} .

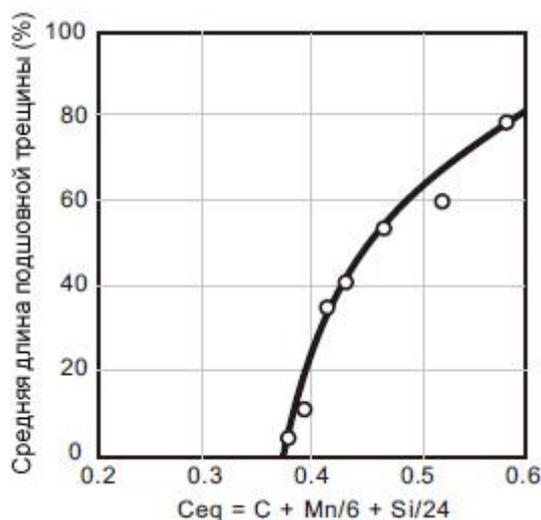


Рисунок 14. Показатель C_{eq}

По указанным выше причинам C_{eq} является индикатором, который может помочь определить степень прокаливаемости или свариваемости основного металла. Чем выше значение C_{eq} , тем жестче твердость и выше температура предварительного нагрева. Вот почему C_{eq} может быть включен в характеристики материалов и строительные нормы для сварных конструкций в качестве рекомендуемого или обязательного стандарта при выборе стали и проведении сварочных процедур.

При проведении исследования проводились расчеты по методическому пособию: Практическая работа №2. «Оценка склонности сталей к образованию холодных трещин при сварке».

«Склонность к образованию холодных трещин при сварке можно выявить с помощью образцов технологии сварки, специализированных методов механических испытаний сварных образцов («машинные» методы) и методов расчета» [17]. «Применение первых двух экспериментальных

методов регламентируется ГОСТ 26388, определяющим типы, размеры образцов и испытательных устройств, а также способы сварки» [16].

«Использование вычислительных методов для оценки склонности к холодному растрескиванию основано на их взаимосвязи с закаливаемой способностью стали во время сварки, которая увеличивается с увеличением степени легирования материала и насыщения металла шва и ЗТВ» [16]. Поэтому в настоящее время широко используются следующие параметрические уравнения:

1. Расчет значения эквивалента углерода $C_{\text{ЭКВ}}$, %, по формуле:

$$C_{\text{ЭКВ}} = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V}}{5} + \frac{\text{Ni} + \text{Cu}}{15}. \quad (1)$$

«Считается, что при $C_{\text{ЭКВ}} < 0,4\%$ сталь не склонна к образованию холодных трещин. При $C_{\text{ЭКВ}} > 0,45\%$ при сварке становится возможным формирование закалочных структур в металле сварного соединения, что при условии насыщения металла водородом и высоких сварочных напряжениях может привести к образованию таких трещин» [16].

2. Расчет значения твердости металла в околошовном участке ЗТВ:

$$HV_{\text{max}} = 90 + 1050C + 47Si + 75Mn + 30Ni + 31Cr. \quad (2)$$

Чтобы предотвратить образование холодных трещин, при сварке эффективно использовать нагрев. Это снижает скорость охлаждения металла шва и ЗТВ, предотвращает образование мартенсита и создает благоприятные условия для удаления диффундирующего водорода как отмечено в работе [12].

3. Расчет температуры предварительного подогрева $T_{\text{п}}$ °С, исключающей появление ХТ.

$$T_{\text{п}} = 1440P_w - 392. \quad (3)$$

Расчет производят с учетом параметра трещинообразования P_w .

4. Расчет параметра трещинообразования P_w , %:

$$P_w = P_w = P_{\text{см}} + \frac{H_{\text{гд}}}{60} + \frac{K}{40 \cdot 10^4}, \quad (4)$$

$$P_{cm} = C + Si/30 + Mn/20 + Cr/20 + Cu/20 + Ni/60 + Mo/15 + V/15 + 5B, \quad (5)$$

где $H_{гд}$ – количество диффузионного водорода в металле шва, установленное глицериновым методом, мл/100 г (соотношение с ртутным методом МИС $H_{гд} = 0,64 H_{мис} - 0,93$); K – коэффициент интенсивности жесткости, Н/(мм·мм)

$$K = K_0 \delta, \quad (6)$$

где K_0 - постоянная, имеющая значения в пределах 200-1000 Н/мм² в зависимости от жесткости конструкции для пробы «Тэккен» 685; δ - толщина стали, мм.

При $P_w > 0,286$ возможно образование холодных трещин в зоне термического влияния в корне шва сварного соединения типа пробы «Тэккен». Уравнение применимо к низколегированным сталям с содержанием углерода 0,07-0,22% с пределом прочности 500-700 МПа при сварке с погонной мощностью 17 кДж/см.

Кроме оценки склонности сталей к образованию холодных трещин при сварке, также потребуется определение фазового и структурного состава сталей.

Конструкционный класс стали во многом зависит от ее химического состава.

Влияние состава на тип структуры высоколегированных сталей показано на диаграмме Шеффлера (рис. 15). На диаграмме показана зависимость структуры сталей от эквивалентов никеля Ni_{eq} и хрома Cr_{eq} , которые рассчитываются по следующим формулам:

$$Ni_{экв} = \% Ni + 30 \cdot \% C + 0,5 \cdot \% Mn + 12 \cdot \% N, \quad (7)$$

$$Cr_{экв} = \% Cr + \% Mo + 1,5 \cdot \% Si + 0,5 \cdot \% Nb + 3,5 \cdot \% Ti, \quad (8)$$

При отсутствии азота в составе стали в расчете $Ni_{экв}$ коэффициент перед марганцем будет равным не 0,5, а 1,5.

Никелевый эквивалент характеризует суммарное действие аустенитно-стабилизирующих элементов, хромовый эквивалент - содержащихся в стали

феррит-стабилизирующих элементов. Рассчитанные значения $Ni_{экв}$ и $Cr_{экв}$ нанесены на оси ординат и абсцисс соответственно. Точки пересечения попадают в ту или иную фазовую область, что позволяет определить структурный класс стали. Диаграмма Шеффлера также может использоваться для определения структурного и фазового состояния металла в зоне плавления при сварке сталей с различными присадочными материалами.

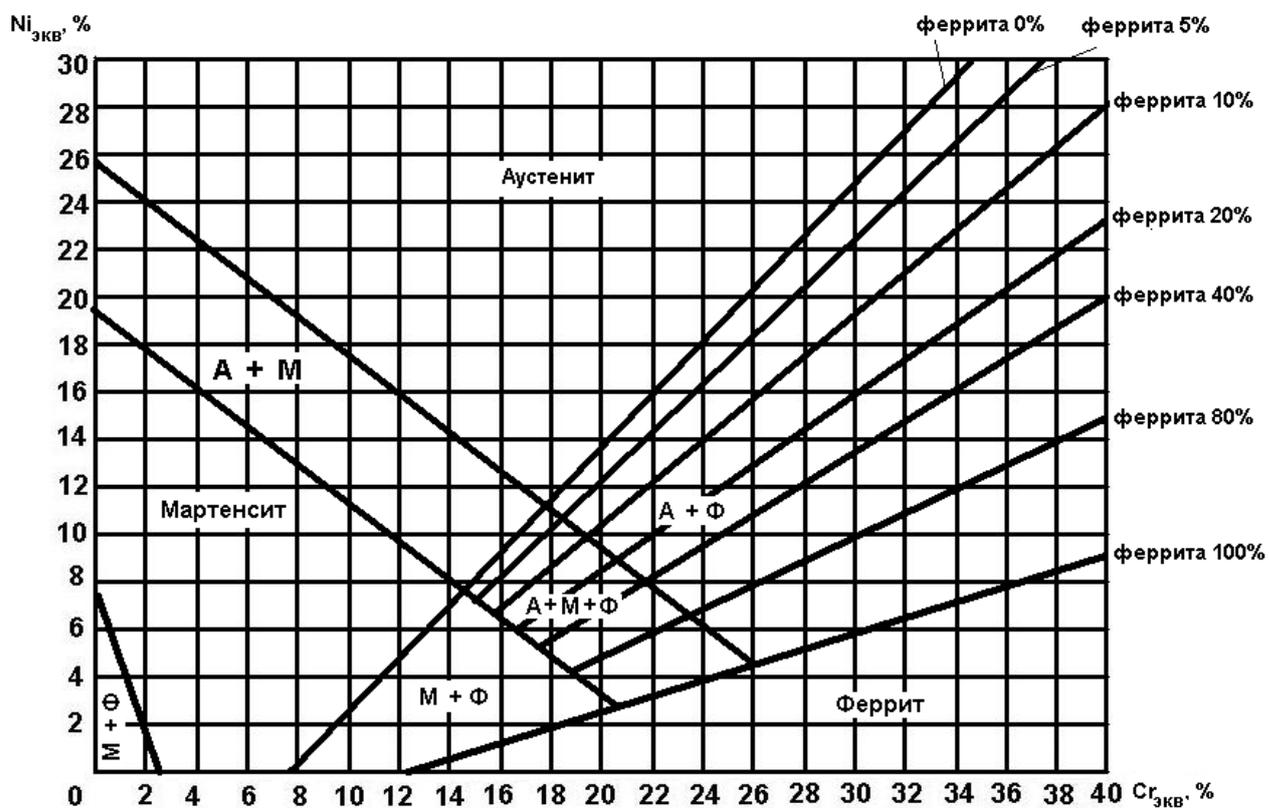


Рисунок 15. Структурная диаграмма Шеффлера

3.3 Физико-механические свойства и химический состав исследуемых материалов

«Физико-механические свойства стали Nimonic 75» [5] (Сплав на никелевой основе)

Химический состав, % [5]										
углерод	кремний	марганец	хром	никель	титан	алюминий	железо	сера	фосфор	медь
								не более		
не более 0,12	не более 0,8	не более 0,7	19,0-22,0	основа	0,15-0,35	не более 0,15	не более 1,0	0,01	0,015	0,07

Состояние поставки, Режимы термической обработки [5]	сечение, мм	температура испытания, °С	предел текучести $\sigma_{0,2}$	временное сопротивление σ_B	относительное удлинение δ_5	относительное сужение поперечного сечения ψ	твёрдость, НВ, не более
			МПа		%		
			не менее				
поковки. Закалка 980-1020°С, вода или воздух	1000	20	196	588	25	35	поверхности 200
лист. Закалка 980-1020°С, вода, водяной душ или воздух	до 3,9	20	-	860	35	-	-
		800	-	175	45	-	-

Температура испытания, °С	предел текучести $\sigma_{0,2}$	временное сопротивление σ_B	относительное удлинение δ_5	относительное сужение поперечного сечения ψ
	МПа		%	
лист. Закалка 980-1020°С, воздух				
20	270	760	40	-
400	245	670	40	-
500	245	610	40	-
600	205	590	40	-
700	185	390	35	-
800	93	180	70	-
900	-	110	90	-
1000	-	64	100	-
1100	-	44	112	-
1200	-	24	130	-

образец диаметром 10 мм, длиной 50 мм, прокатанный и отпущенный [5]. Скорость деформирования 20 мм/мин. Скорость деформации 0,007 1/с				
800	315	380	72	47
900	195	215	45	84
1000	100	110	64	93
1100	76	88	70	97
1200	42	54	92	100

Тепловая выдержка		Предел текучести $\sigma_{0,2}$	Временное сопротивление σ_B	Относительное удлинение $\delta_{10}\%$
температура, °C	время, ч	МПа		
лист толщиной 1,3-1,5 мм. Закалка 1200°C, воздух				
без выдержки		170	600	38
700	3000	170	550	35
800		150	590	38
900		140	550	33
1000		170	510	34
лист толщиной 1,3-1,5 мм. Закалка 1200°C, воздух (образцы поперечные)				
без выдержки		170	520	40
700	3000	180	600	39
800		160	550	37
900		150	550	31
1000		180	475	38

Предел длительной прочности, МПа	Длительность, ч	Температура, °C
103	100	700
27 – 44		800
15 – 18		900
154	1000	550

Предел выносливости $\sigma_{-1}=216$ МПа, $n=10^7$

Жаростойкость

Среда	Температура, °C	Глубина, мм/год	Группа стойкости или балл
воздух	1000	0,332	6 пониженно-стойкая малостойкая
	1100	0,618	
	1200	1,082	

Физические свойства [5]	Температура испытания, °C									
	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900
модуль нормальной упругости E, ГПа	224	219	213	206	200	193	184	-	-	-
плотность ρ_n , кг/см ³	8400	8380	8340	8310	8260	8220	8180	8130	8090	8040
коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м · C)	14	15	17	19	20	21	23	24	25	-

удельное сопротивление ρ, НОм · м	1090	1099	1108	1117	1127	1153	1135	1126	1123	-
--------------------------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	---

Назначение: детали систем газоснабжения, качественные детали, жаровые трубы.

Примечание: нестабилен в серной среде.

Температура начала интенсивного образования накипи на воздухе - 1150 ° С.

Рекомендуемая максимальная температура нанесения в течение длительного времени (до 10 000 часов) - 1100 ° С; на ограниченный срок эксплуатации - 1000 ° С (при температуре начала интенсивного накипеобразования 1100 ° С).

Сталь в основном используется как жаропрочная, а также как жаропрочная.

Температура поковки, ° С: начало 1220, конец 850. Профили до 300 мм охлаждаются в штабелях на воздухе.

Свариваемость - Трудно сваривать. Способ сварки - электроды РДС ЦТ-22

Обрабатываемость резанием – в термообработанном состоянии при НВ 156, σ_B=710 МПа, K_{ч б. ст}=0,3, K_{ч тв. спл}=0,5

Расчет значения эквивалента углерода, показал:

$$C_{\text{ЭКВ}} = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Cr}+\text{Mo}+\text{V}}{5} + \frac{\text{Ni}+\text{Cu}}{15} = 6,08\%$$

При C_{eq}> 0,45% в процессе сварки становится возможным образование в металле сварного шва упрочненных структур, которые при насыщении металла водородом и высоких сварочных напряжениях могут приводить к образованию таких трещин.

Физико-механические свойства стали 12Х18Н10Т [5].

Химический состав в % стали 12Х18Н10Т [5]	
C	до 0,12
Si	до 0,8
Mn	до 2
Ni	9 - 11
S	до 0,02
P	до 0,035
Cr	17 - 19
Cu	до 0,3
Ti	0,4-1
Fe	~67

Удельный вес: 7920 кг/м³

Термообработка: Закалка 1050 - 1100°C, вода

Температура ковки: начала 1200 °С, конца 850 °С. Сечения до 350 мм охлаждаются на воздухе

Твердость материала: НВ 10⁻¹ = 179 Мпа

Свариваемость материала: без ограничений, способы сварки: РДС (электроды ЦТ-26), ЭШС и КТС. Рекомендуется последующая термообработка

Обрабатываемость резанием: в закаленном состоянии при НВ 169 и $\sigma_B=610$ МПа, $K_{ц\text{ тв. спл}}=0,85$, $K_{ц\text{ б. ст}}=0,35$

Флокеночувствительность: не чувствительна

Жаростойкость: в воздухе при Т=650 °С 2-3 группа стойкости, при Т=750 °С 4-5 группа стойкости

Предел выносливости: $\sigma_{-1}=279$ МПа, $n=10^7$

Механические свойства стали 12Х18Н10Т при повышенных температурах [5]					
Температура испытаний, °С	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_B (МПа)	δ_5 (%)	ψ %	КСУ (кДж / см ²)
Закалка 1050-1100 °С, охлаждение на воздухе					
20	225-315	550-650	46-74	66-80	215-372
500	135-205	390-440	30-42	60-70	196-353
550	135-205	380-450	31-41	61-68	215-353
600	120-205	340-410	28-38	51-74	196-358
650	120-195	270-390	27-37	52-73	245-353
700	120-195	265-360	20-38	40-70	255-353

Механические свойства 12Х18Н10Т при испытаниях на длительную прочность [5]				
Температура испытания, °С	Предел ползучести, МПа	Скорость ползучести %/ч	Предел длительной прочности, МПа, не менее	Длительность испытания, ч
600 650	74 29-39	1/100000	147 78-98	10000

Ударная вязкость стали 12Х18Н10Т [5] КСУ, (Дж/см ²)			
T= +20 °С	T= -40 °С	T= -75 °С	Термообработка
286	303	319	Полоса 8х40 мм в состоянии покоя

Чувствительность стали 12Х18Н10Т (стар. Х18Н10Т) к охрупчиванию при старении		
Время, ч	Температура, °С	КСУ, Дж/см
Исходное состояние		274
5000	600	186-206
5000	650	176-196

Жаростойкость стали 12Х18Н10Т (стар. Х18Н10Т)		
Среда	Температура, °С	Группа стойкости или балл
Воздух	650	2-3
	750	4-5

Физические свойства стали 12Х18Н10Т (старое название Х18Н10Т)						
T (Град)	E 10 ⁻⁵ (МПа)	α 10 ⁶ (1/Град)	l (Вт/(м·град))	γ (кг/м ³)	C (Дж/(кг·град))	R 10 ⁹ (Ом·м)
20	1.98		15	7920		725
100	1.94	16.6	16		462	792
200	1.89	17	18		496	861
300	1.81	17.2	19		517	920
400	1.74	17.5	21		538	976
500	1.66	17.9	23		550	1028
600	1.57	18.2	25		563	1075
700	1.47	18.6	27		575	1115
800		18.9	26		596	
900		19.3				

«Свойства и особенности электрошлаковой сварки стали 12Х18Н10Т: Аустенитная хромоникелево-титановая сталь 12Х18Н10Т является наиболее широко применяемой в промышленности из-за возможности успешного использования в различных условиях эксплуатации. Он имеет высокую коррозионную стойкость в ряде жидких сред, устойчив к межкристаллитной коррозии после сварочного нагрева, относительно низкую хрупкость от длительного воздействия высоких температур и может использоваться как

термостойкий материал при температурах $\sim 600^{\circ}\text{C}$. Будучи высокопластичной в условиях глубокого холода, эта сталь используется в установках для получения жидкого кислорода» [5].

«Сварные швы конструкций, работающих в контакте с агрессивными жидкостями, должны, прежде всего, быть стойкими к межкристаллитной коррозии» [5].

«Пластинчатые электроды, изготовленные из горячекатаных листов, используемых для электрошлаковой сварки, содержат не менее 0,10% С. При таком содержании углерода из-за медленного охлаждения, характерного для электрошлаковой сварки, возможна склонность шва к межкристаллитной коррозии» [5]. Этому также способствует толстая кристаллическая структура металла шва.

«При использовании флюсов окисление содержащегося в электроде титана невелико и не превышает 20%. Однако даже небольшое снижение концентрации титана в шве с содержанием 0,1% С приводит к снижению коррозионной стойкости. Поэтому при электрозащитной сварке рекомендуется использовать электроды из низкоуглеродистых сталей, чтобы его концентрация в шве не превышала 0,08%. Если концентрация основного металла составляет 0,12%, следует использовать пластинчатый электрод, содержащий не более 0,03% С» [6].

«Рост зерен в зоне термического влияния не снижает механических свойств сварного соединения; однако это крайне нежелательно с точки зрения коррозионной стойкости зоны термического влияния, особенно в зоне, непосредственно примыкающей к стыку. Когда свариваемый металл нагревается до температур выше $1200-1250^{\circ}\text{C}$, карбиды титана растворяются в аустените» [6].

«При последующем медленном охлаждении, особенно в критическом диапазоне температур ($875-450^{\circ}\text{C}$), которое может вызвать разложение твердого раствора, карбидная фаза выделяется по границам зерен аустенита, а последний обеднен хромом. В результате свариваемый металл подвергается

межкристаллитной коррозии. Чтобы этого не произошло при сварке под флюсом, необходимо использовать сталь 12X18H10T со строго контролируемым химическим составом: содержание углерода не должно превышать 0,06%, соотношение титана и углерода Ti / C должно быть не менее 7» [5].

«Другой способ устранить склонность сварного шва вблизи линии плавления к коррозии - это нагревание в течение 3-4 часов при температуре 850-900 ° C с воздушным охлаждением» [5].

«Сталь и электрод в состоянии поставки (после закалки в воде от 1100 ° C) обычно имеют почти чистую аустенитную структуру с очень небольшим содержанием, не более 1%, β -феррита. Из-за дендритной сегрегации металл сварного шва содержит до 7,5% β -феррита. Это приводит к резкому падению прочности в условиях сильного холода» [5].

«Сварные швы на стали 12X18H10T заметно уступают основному металлу в пластичности, что объясняется дендритной ликвацией углерода. Причиной пониженной ударной вязкости сварных швов является недостаточная стабильность аустенита при сверхнизких температурах. В условиях глубокого холода возможен распад аустенита по схеме $A - M$ или $A - a + K''$, где A - аустенит, M - мартенсит, a - вторичный феррит, K'' - вторичные карбиды. Наличие небольшого количества первичного феррита в данном случае не имеет решающего значения. Об этом свидетельствуют результаты следующих опытов. Часть образцов подвергли закалке на воздухе после часового нагрева при 1080°, C, благодаря чему была ликвидирована дендритная ликвация углерода, но сохранена ферритная составляющая. Ударная вязкость шва повысилась в 2 раза (данные ниже)» [6].

Наличие закалки шва после сварки (an (МДж/м²) при различной температуре °C):

— Нет - при 20 °C = 1,81; при -196 °C = 0,54

— Есть - при 20 °C = 3,5; при -196 °C = 1,03

«Таким образом, повышение ударной вязкости сварного шва на стали 12X18H10T можно достичь устранением дендритной ликвации углерода путем высокотемпературного нагрева. В данном случае может быть применена и местная термообработка швов» [6].

«Более простым способом повышения ударной вязкости металла шва является увеличение содержания Ni в сварном шве до 12-14%, что обеспечивает стабильную аустенитную структуру. Для получения шва с таким содержанием Ni можно использовать стальные электроды типа X23H18. При этом сварные швы без термической обработки сохраняют достаточно высокую упругость в условиях сильного холода. В случае использования стали 12X18H10T в качестве жаропрочного материала необходимо ограничить содержание первичного феррита в шве до 5%. Это предотвращает опасность превращения δ - σ в сварном шве и обеспечивается использованием пластинчатых электродов из стали 12X18H10T» [5].

«При отсутствии стали с высоким содержанием углерода используются электроды с содержанием 0,07-0,08% C, а металл шва дополнительно науглероживается, например, путем подачи зерен древесного угля или графита на поверхность шлаковой ванны непосредственно для ее получения. Показание. При сварке металла сечением 100 X 100 мм достаточно обеспечить 1,7 г зерен размером 1-3 мм. Содержание углерода в сварном шве также можно увеличить, введя в шлаковую ванну 10% от массы шлака смеси Na₂CO₃ (82-86%) и SiC (14-18%) или используя композитный электрод из 12X18H10T. и углеродистые стали» [6].

«Швы стали 12X18H10T отличаются толстой столбчатой макроструктурой. Литой металл сварного шва содержит ферритный компонент из-за дендритной сегрегации. Под воздействием сильного холода количество ферромагнитной составляющей увеличивается в основном металле и сварном шве. Например, в стали 12X18H10T, которая в состоянии поставки содержит 2,5-3% феррита после 30 минут нахождения в жидком азоте (-196 ° C), количество магнитной составляющей увеличивается до 7-9%

(при комнатной температуре), и в сварных швах 7,5 - 8,5 и 10-12% соответственно» [7].

«Интересно, что после воздействия сильного холода в зоне термического влияния наблюдается более тонкая структура, чем при пайке. Закалка разрушает столбчатую микроструктуру сварных валиков и способствует определенному растворению ферритного компонента. Сохраняется столбчатая макроструктура, характерная для аустенитных сварных швов» [5].

Расчет значения эквивалента углерода, показал:

$$C_{\text{эkv}} = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Cr}+\text{Mo}+\text{V}}{5} + \frac{\text{Ni}+\text{Cu}}{15} = 4,19\%$$

При $C_{\text{эkv}} > 0,45\%$ в процессе сварки становится возможным образование в металле сварного шва упрочненных структур, которые при условии насыщения металла водородом и высоких сварочных напряжений могут приводить к образованию таких трещин.

Расчеты для сталей, представленных в исследовании, показали, что в процессе сварки в металле сварного шва становится возможным образование упрочняющих структур, которые при насыщении металла водородом и высоких сварочных напряжениях могут приводить к образованию холодных трещин.

3.4 Экспериментальные сварочные мероприятия

На базе лаборатории предприятия проводились экспериментальные сварочные работы для подбора режимов восстановительной сварки с использованием следующего оборудования:

Установка сварочная Тетрикс 230 - Сварочный аппарат TIG для сварки TIG и DC MMA. Использование газообразного аргона высшего сорта ГОСТ 10157-2016 (99,993%).



Рисунок 16. Установка сварочная Тетрикс 230

Электрод вольфрамовый ВЛ (диам.3 мм) - используется для сварки TIG в инертных газах. Работа должна производиться на постоянном токе. Электроды предназначены для сварки углеродистых, низколегированных и нержавеющей сталей, меди, титана. Оксид иттрия (Y_2O_3) используется в качестве добавки к сплаву, что делает его устойчивым к высоким температурам, обеспечивает повышенную стабильность дуги. Их используют при сварке ответственных элементов.



Рисунок 17. Электрод вольфрамовый ВЛ

Сварочный аппарат (MIG) Kemppi Kempact 323R Предназначен для сварки в среде углекислого газа с полуавтоматической порошковой и непорошковой подачей. Поддерживает стабильное напряжение и силу тока.



Проволока сварочная ОК Autrod 19.85 (NiCr20Mn3Nb) диам.1,2мм - проволока сварочная омедненная предназначена для полуавтоматических сварочных аппаратов и применяется для сварки изделий из нелегированных и низколегированных конструкционных сталей. Проволока может быть использована в судостроении, сварке металлоконструкций, машиностроении и других отраслях промышленности.



Рисунок 18. Проволока сварочная ОК Autrod 19.85

Проволока сварочная ОК Tigrod 19.85 (NiCr20Mn3Nb) диам.2,6мм - на основе никелевого сплава, предназначен для сварки жаропрочных никелевых сплавов 60BT, ЭИ-868, Inconel 600, N006600, WNr. 2.4816 и др. Работа в контакте с агрессивными средами при температурах от -196 до 550 ° С. Низколегированные хромомолибденовые жаропрочные стали перлитного класса с высоколегированными сталями аустенитного класса, рабочие температуры до 650 ° С., при обеспечении отсутствия миграции углерода из тугоплавкой стали в расплавленный металл, высокопрочные криогенные стали, легированные 5 или 9% Ni, мартенситные стали, трудно свариваемые со сталями аустенитного класса, а также отливки из тугоплавких сталей ограниченной свариваемости. в качестве наплавки переходных слоев и антикоррозионных покрытий на низкоуглеродистые и низколегированные конструкционные стальные изделия и жаропрочные.



Рисунок 19. Проволока сварочная ОК Tigrod 19.85

Сваривались 6 образцов, габаритными размерами 100x100x3 мм, с применением различных методов и параметров сварки, после чего проводились испытания: рентгенографический контроль и капиллярная дефектоскопия.

1 образец. Параметры сварки:

Способ сварки - MIG-puls
Сварочный ток – 70-100А;
Сварочное напряжение 15-18 В
Скорость подачи проволоки – 2 - 4 м/мин;
Расход газа – 6-8 л/мин;

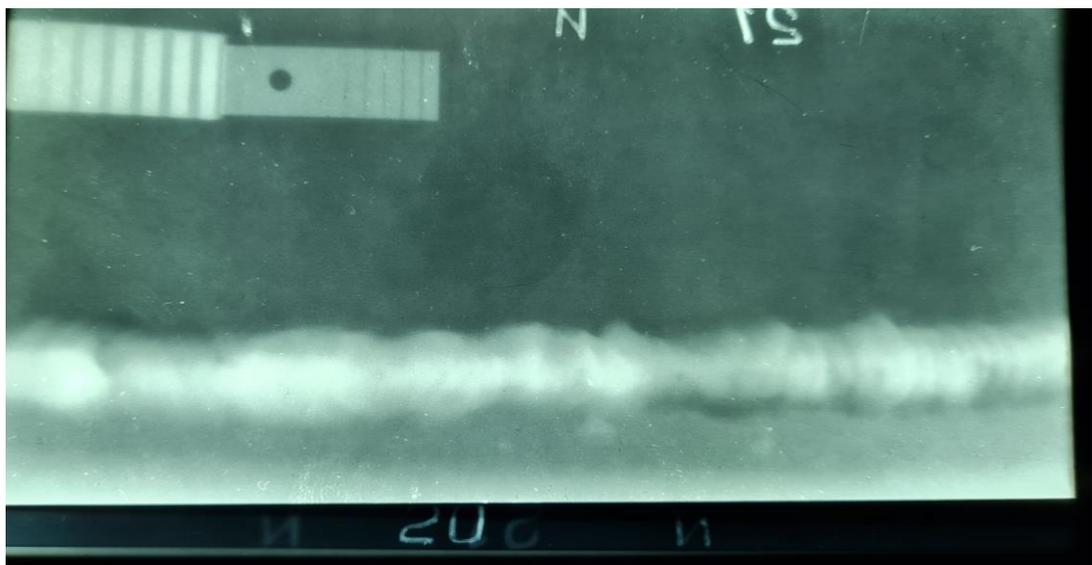


Рисунок 20. Снимок рентгенографического контроля - 1 образец

Результат: не годен, по причине выявления шлакового включения Ш30х2.0 и подреза - канавки вдоль шва (рентгенографический контроль РГГ) и индикаторный след (капиллярная дефектоскопия – КД).

2 образец. Параметры сварки:

Способ сварки – MIG-puls
Сварочный ток – 120А;
Напряжение 16-20 В
Скорость подачи проволоки – 2 - 4 м/мин;
Расход газа – 8-10 л/мин;

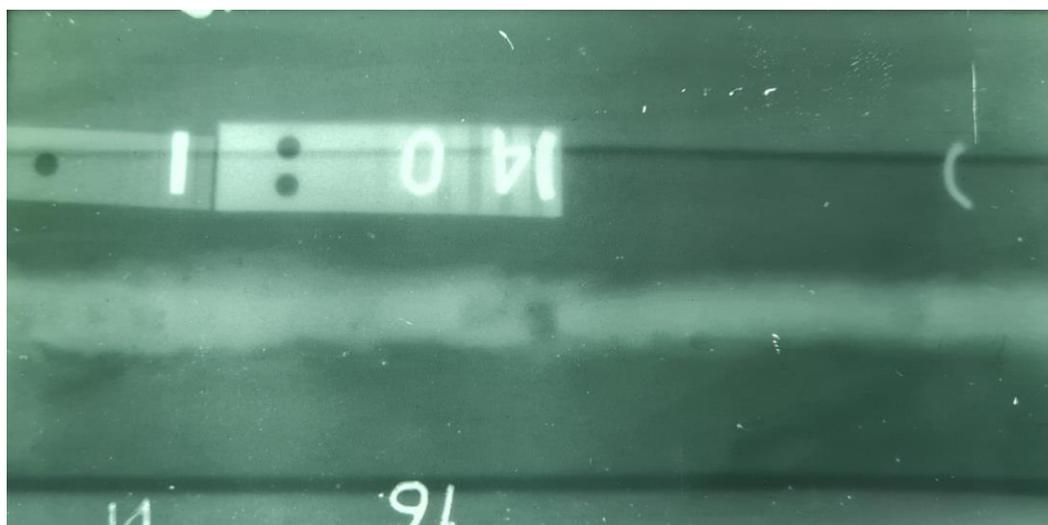
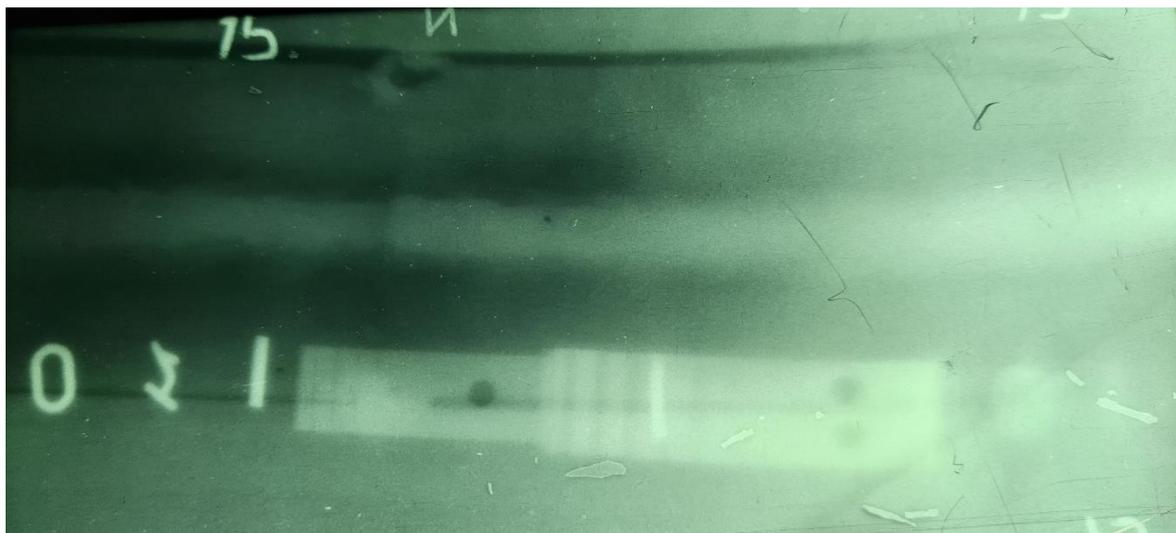


Рисунок 21. Снимок рентгенографического контроля - 2 образец

Результат: не годен, по причине выявления шлакового включения Ш60х3.0 (рентгенографический контроль - РГГ) и индикаторный след (капиллярная дефектоскопия – КД).

3 образец. Параметры сварки:

Способ сварки – TIG
Сварочный ток – 90-120А;
Вылет электрода – 5-10 мм;
Расход газа – 2-4 л/мин;



Результат: не годен, по причине выявления поры П4.0 (рентгенографический контроль РГГ) и индикаторный след (капиллярная дефектоскопия – КД).

4 образец. Параметры сварки:

Способ сварки – TIG
Сварочный ток – 70-100А;
Вылет электрода – 7-12 мм;
Расход газа – 6-8 л/мин;



Рисунок 22. Снимок рентгенографического контроля - 4 образец
Результат: годен, но получали неравномерную форму сварного шва.

5 образец. Параметры сварки:

Способ сварки – TIG
Сварочный ток – 50-80А;
Вылет электрода – 3-5 мм;
Расход газа – 6-8 л/мин;



Рисунок 23. Снимок рентгенографического контроля - 5 образец
Результат: годен, но визуально были заметны наплывы.

6 образец. Параметры сварки:

Способ сварки – TIG
Сварочный ток – 70-100А;
Вылет электрода – 5-10 мм;
Расход газа – 6-8 л/мин;

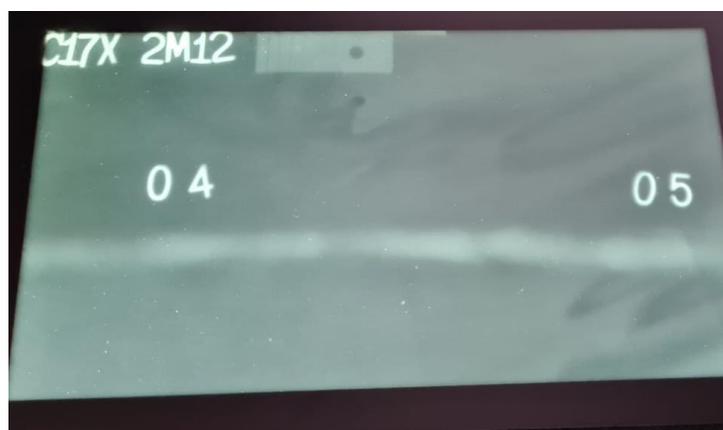


Рисунок 24. Снимок рентгенографического контроля - 6 образец
Результат: годен, удовлетворяет всем техническим требованиям.

3.5 Дефектоскопия полученных образцов сварного соединения исследуемых сталей

Акты проверки шести образцов с применением различных параметров сварки представлены в Приложении В.

На первом этапе проведён визуальный контроль качества сварки образцов, для исключения поверхностных пор, трещин, неравномерности наплавленного слоя, чешуйчатости наплавленного слоя, при помощи линейки и лупы.

На втором этапе проводили рентгенографический контроль, на импульсном рентгеновском аппарате ПИОН-2М; также капиллярная дефектоскопия, с использованием проникающего раствора: пенетрант SHERWIN (DUBL-CHEK) DP-51, смывки: очиститель SHERWIN (DUBL-CHEK) DR-60, проявляющего раствора: проявитель SHERWIN (DUBL-CHEK) D-100, за основу брали технологию рассмотренную в работе [23].

Также проводились исследования влияния параметров сварки на химический состав сварных соединений и металлографическое исследование сварных швов.

Сварной шов имеет столбчатую крупнокристаллическую структуру литого сплава. Отсутствуют проплавы, поры, трещины и другие дефекты сварки. Структура основного материала - твердый хромоникелевый раствор + упрочняющая фаза, размер зерна соответствует № 7-8 шкалы ГОСТ 5639. Структура зоны термического влияния не отличается от основного материала по составу, что также доказывается в работах [26].

Концентрацию (в.%) химических элементов сварного шва определяли на спектрометре ДФС-500: содержание Cr, Ni и железа количественно одинаковое и однородное. Это свидетельствует о равномерном распределении элементов и высоком качестве сварки, что также отмечается в работах [27].

Для разработки технологии изготовления сварных соединений на этом этапе работ необходимо выбрать идеальные режимы сварки и сварить несколько образцов для дальнейшего изучения.

Выводы по 3 главе

Проанализировав все сваренные образцы, пришли к выводу использовать параметры сварки, которые получили при сварке 6 образца: использование аргонодуговой сварки, с выставлением сварочного тока в диапазоне 70-100А, вылет электрода регулируем в диапазоне 5-10 мм, в зависимости от диаметра сопла (в нашем случае керамическое сопло имеет диаметр сопла 8 мм – выставляли вылет 7 мм), расход аргона регулировали в диапазоне 6-8 л/мин, в зависимости от силы сварочного тока.

Изучив физико-механические свойства, химический состав исследуемых сварных швов, сделали вывод что при выборе режимов резания и технологии восстановительной сварки, большее предпочтение даем стали Nimonic75, по причине наличия в нем, таких легирующих элементов как Ni и V. Микроанализ сваренных образцов показал, что дефекты сварки были вызваны бором. «В дендритно затвердевшей микроструктуре сварного шва этот элемент приводит к образованию выделений на границах зерен из-за сегрегации стыков с сопутствующими и легирующими элементами, в частности с кремнием» [20]. И этот осадок остается в микроструктуре в виде трещин, из-за их низкой пластичности, приведено в работе [22]. Полученные результаты будем использовать при восстановительных работах теплообменника.

Исследовав все полученные образцы, пришли к выводу что использованием параметров режимов наплавки, как при сварке шестого образца, результат полностью удовлетворяет технические требования сварного шва полученного с завода изготовителя теплообменника.

Глава 4 Практическая реализация предложенной технологии восстановительных сварочных работ

4.1 Практическая реализация

Во время эксплуатации печи 401N на блоке 400 Миннибаевской установке сероочистки цеха №1 было обнаружено что в печи нарушился техпроцесс регенерации газа. Было принято решение об остановке и осмотру печи 401N изнутри, в процессе осмотра было выявлено что разрушены (Ферулы) и есть возможность того что они были разрушены в следствии пропуска трубок на теплообменнике и попадания через них ТЭГ в печь. Было предложено сделать пневмо испытание (испытание азотом) для определения пропусков по теплообменнику. После проведения пневмоиспытания было выявлено что по трубкам в местах вальцовки (трубок с плитой) имеются пропуски, а в местах сварки имеются и трещины. Данный теплообменник не мог так эксплуатироваться, так как он нарушал технологический процесс регенерации газа в печи 401N. Для восстановления технологического процесса и регенерации газа и для запуска печи 401N на блоке 400, нужно было заменить трубчатый теплообменник.

4.2 Технологический процесс восстановительных работ

Было предложено провести ремонтно-восстановительные работы трубчатого теплообменника, основываясь на проведенные исследования, без демонтажа оборудования.

Для этого было предложено использовать специальный инструмент малой механизации: Гравер марки DREMEL 4000 и комплектующие для зачистки межтрубного пространства, удаления старого сварочного шва с разделкой кромки по плите и последующей заваркой труб с трубчатой решеткой способом аргонодуговой сварки.

После проведения лабораторных исследований образцов сваренных деталей, было принято использовать следующее оборудование и режимы:

Оборудование и материалы:	Режимы:
Установка сварочная Тетрикс 230	Способ сварки – TIG
Электрод вольфрамовый – ВЛ (диам.3 мм)	Сварочный ток – 70-100А;
Проволока сварочная : – ОК Autrod 19.85 (NiCr20Mn3Nb) диам.1,2мм – для корневого слоя; – ОК Tigrod 19.85 (NiCr20Mn3Nb) диам.2,6мм – для облицовочного слоя;	Вылет электрода – 5-10 мм;
Аргон высшего качества ГОСТ10157	Расход газа – 6-8 л/мин;

Был составлен технологический процесс операций, представлен в приложении А.

Основные этапы работ, проводимых на Миннибаевской установке сероочистки цеха №1:

1. Предварительная очистка усиления наружных частей трубок произвести до чистого металла: предварительно шлифовальной машинкой УШС-3, после окончательную (тонкую) зачистку осуществлять многофункциональным гравером DREMEL 4000 с гибким валом.



Рисунок 25. Очистка свариваемых поверхностей от нагара

2. Свариваемые кромки трубок и поверхность трубной решетки обезжирить ацетоном Хладон.

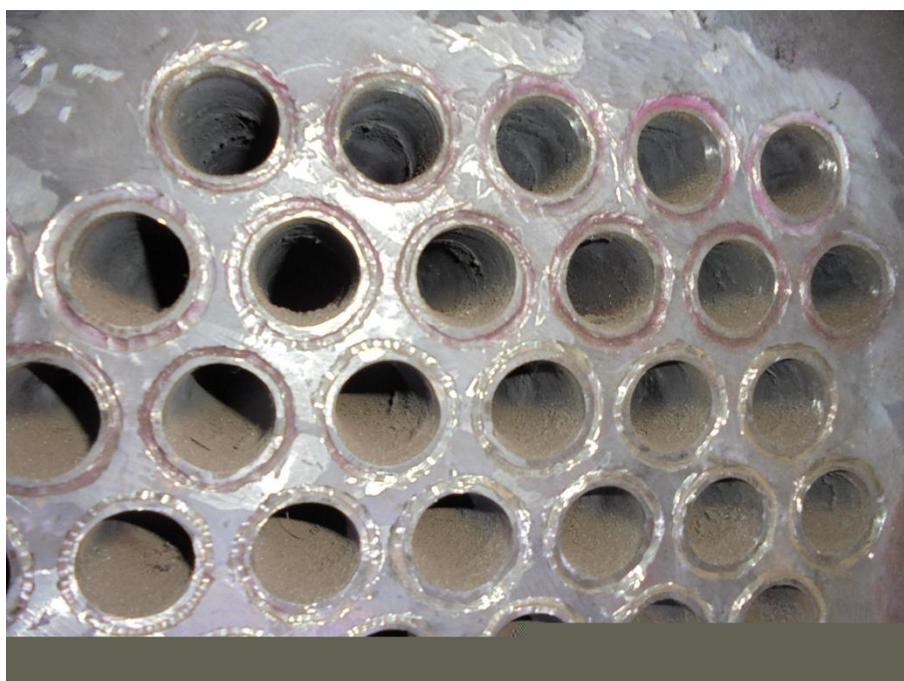


Рисунок 26. Подготовленные кромки

3. Вольфрамовый электрод заточить на конус с углом $15-30^{\circ}$, диаметр притупления $0,2 - 0,5$ мм.

4. Произвести сварку шва валиками, по возможности короткой дугой. Перед наложением каждого последующего слоя стык должен полностью остыть до температуры не выше 100⁰С. В целях надежной защиты сварочной ванны следует установить с противоположной стороны трубок заглушки и подавать инертный газ внутрь полости, используя опыт авторов работы [30].



Рисунок 27. Сварной шов

5. Время продувки газа до сварки должно быть достаточным для вытеснения воздуха из горелки и газовых шлангов. Время продувки газа после сварки должно быть не менее 5 сек., подача аргона не должна заканчиваться до прекращения красного свечения сварного шва и электрода.

6. В случае касания электродом металла шва или присадочной проволоки сварку прервать, место касания зачистить шлифовальной машинкой, электрод заточить или поменять.



Рисунок 28. Результат проведенной работы

Выводы по главе 4

Восстановительные работы теплообменника выполнялись в полевых условиях, с соблюдением всех пунктов технологической карты (Приложение А). Качество и соответствие требованиям выполненных восстановительных работ подтверждаются актом приемки-передачи услуг (Приложение Д).

После завершения ремонтно-восстановительных работ установка была обследована на акустическую эмиссию - эффективный метод неразрушающего контроля и оценки материалов, основанный на обнаружении упругих волн, возникающих при внезапной деформации напряженного материала. Волны проходят от источника непосредственно к датчикам, где они преобразуются в электрические сигналы. Устройства контроля акустической эмиссии измеряют эти сигналы, на основании которых оценивается состояние и поведение конструкции исследуемого объекта.

Тип и условия аудио-эмиссионного контроля:

- пневматическое;
- рабочее тело: азот;
- температура объекта: 26⁰С;

- температура окружающей среды: 26⁰С;
- испытательное давление: 0,6 МПа (6,0 кгс/см²).

Параметры графика нагружения:

- скорость нагружения: 0,02 МПа/мин;
- время выдержки: 10 мин;

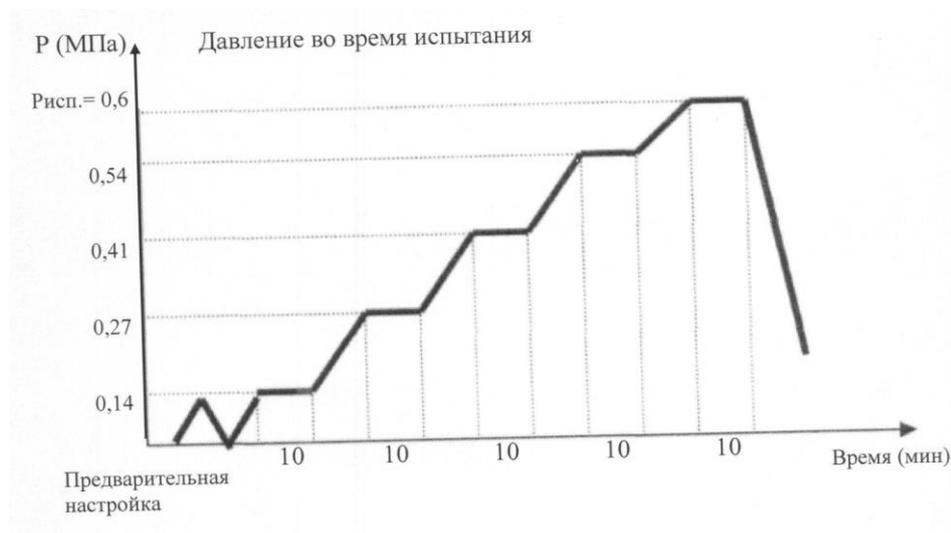


Рисунок 29. График нагружения во время испытания установки.

Число и типы преобразователей:

- 4 преобразователя GT200.

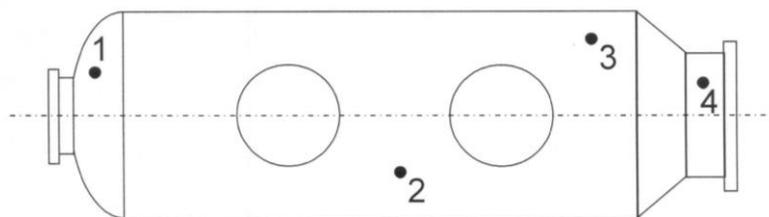


Рисунок 30. Схема установки датчиков во время проведения АЭ.

Основные сведения о результатах контроля: источников АЭ-2, АЭ-3, АЭ-4 классов (активных, критически активных, катастрофически активных источников), при условиях нагружения, осуществлённых во время акустико-эмиссионного контроля, не обнаружено. Выявленные пассивные источники акустической эмиссии АЭ-1 класса классифицируется как не представляющие опасность.

Заключение

Целью научного исследования было снижение себестоимости восстановительных работ по устранению нарушенного технологического процесса регенерации газа в печи, путем проведения ремонтно-восстановительных работ трубчатого теплообменника и исследования технологии аргонодуговой сварки стали NIMONIC 75 и 12X18H10T.

На основе проведения исследований выявлены причины образования дефектов в сварных швах, полученных аргонно-дуговой сваркой, и найдены оптимальные режимы, позволившие получить высококачественные сварные соединения стали NIMONIC 75 и 12X18H10T.

Одной из задач было проведение материаловедческого исследования, определение и устранение причин образования дефектов, таких как холодные трещины в сварных соединениях нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов узлов теплообменника печи дожигания хвостовых сероводородсодержащих и нефtezависимых газов, установить оптимальные режимы аргонно-дуговой сварки для получения бездефектных соединений.

Проводился анализ дефектов в сварных соединениях нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов узлов теплообменника печи дожигания хвостовых сероводородсодержащих и нефtezависимых газов, изучив физико-механические свойства, химический состав исследуемых сварных швов, сделали вывод что, образование дефектов возникает по причине наличия в сплаве Nimonic 75, таких легирующих элементов как Ni и B. Микроанализ сваренных образцов показал, что дефекты сварки были вызваны в большей степени наличием бора. В дендритно затвердевшей микроструктуре сварного шва этот элемент приводит к образованию выделений на краях зерен из-за сегрегации соединения с сопутствующими и легирующими элементами, в частности с кремнием. И этот осадок остается в микроструктуре в виде трещин из-за их низкой пластичности.

Проведены экспериментальные работы по сварке образцов с использованием различных методов и способов получения сварных соединений аргонодуговой сваркой (TIG) нержавеющей стали и жаропрочных сплавов в установках «натурный образец-имитатор» теплообменника. дожигание нефтесодержащих сероводородсодержащих газовых хвостов; с последующим обнаружением лабораторных сбоев.

Материаловедческие исследования полученных сварных рентгенографическим методом показал выявление шлаковых включений. Капиллярная дефектоскопия указывала на образование микротрещин сварного шва.

Проведенные исследования параметры сварки и процесс выбора оптимального режима для получения высококачественного сварного соединения, выявили оптимальный способ сварки – аргонодуговая, со сварочным током в диапазоне 70-100А, вылет электрода 7 мм, и расход аргона 6-8 л/мин. С использованием сварочной установки Тетрикс 230, вольфрамового электрода ВЛ диаметром 3 мм, сварочной проволоки ОК Autrod 19.85 (NiCr20Mn3Nb) диаметром 1,2мм – для корневого слоя и ОК Tigrod 19.85 диаметром 2,6мм – для облицовочного слоя в среде инертного газа - аргон ГОСТ10157.

Представленные результаты по ремонтно-восстановительным работам теплообменника способом аргонодуговой сварки разнородных материалов: Nimonic 75 и 12X18H10T внедрены на нефтегазоперерабатывающем предприятии, что подтверждается актом выполненных работ (Приложение Д). Экономический эффект результатов исследовательской работы и внедрения технологии ремонтно-восстановительных работ составил около 2 млн. рублей. Основная часть полученного эффекта достигнута за счет:

1. Отсутствие затрат на демонтаж теплообменника;
2. Отказа от закупки нового трубчатого теплообменника;
3. Повыситься срок эксплуатации трубчатого теплообменника.

Это подтверждает достижение цели работы.

Список используемой литературы

1. Вышемирский В.Е., Состояние и основные направления развития сварочного производства ОАО «Газпром» // Сварка и диагностика. – 2009. – №1. – С. 16-19.
2. Ельцов, В.В. Восстановление и упрочнение деталей машин: электронное учеб. пособие / В.В. Ельцов. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015.
3. Жоголев В.Е., Романов Ю.Г. Модель влияния термовоздействий на стойкость сталей к трещинообразованию // Инженерно-физический журнал. 1997. Т. 70. № 3. С. 476–480
4. Зубченко А.С., Колосков М.М., Каширский Ю.В. Марочник сталей и сплавов. – Изд-во: Инновационное машиностроение, 2021.
5. Кононенко В.Я. Сварка в среде защитных газов плавящимся и неплавящимся электродом. – Киев, ТОВ «Ника-Принт», 2007. – 266 с.
6. Компьютерное проектирование и подготовка производства сварных конструкций / С.А. Куркин и др.; Под ред. С.А. Куркина, В.М. Ховова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 464 с.
7. Макаров Э.Л. Холодные трещины при сварке легированных сталей. М.: Машиностроение, 1981. 248 с.
8. Макаров Э.Л., Коновалов А.В. Система компьютерного анализа свариваемости и технологии сварки конструкционных легированных сталей // Сварочное производство. 1995. № 3. С. 6—9.
9. Мозок В. М., Лебедев В. А. Новые возможности ремонтов деталей тяжелой техники импульсно-дуговой сваркой и наплавкой вне ремзаводов // Металлообработка. – 2009. – №4. – С. 16–19.
10. Петрова В.А., Баканов А.А., Вальтер А.В., Трещиностойкость сварных соединений, методы упрочнения и контроль качества составного инструмента // V Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии и экономика в машиностроении»: сборник трудов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – С. 380-385.

11. Прохоров Н.Н. Физические процессы в металлах при сварке. Элементы физики металлов и процесс кристаллизации. М.: Металлургия, 1968. В 2 т. Т. 1. 695 с.
12. Сараев Ю.Н., Чинахов Д.А. Проблемы разработки ресурсосберегающей технологии сварки среднелегированных сталей // Современные технологии в машиностроении: сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза. – 2000. – Ч.I. – С. 125-127.
13. Сварка и свариваемые материалы: В 3 т. Т. 1. Свариваемость материалов / Под ред. Э.Л. Макарова. М.: Металлургия, 1991. 528 с.
14. Теория сварочных процессов / А.В. Коновалов и др.; Под ред. В.М. Неровного. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 752 с.
15. Федько В.Т., Киянов С.С., Шматченко В.С., Сапожков С.Б. Применение двухструйных сопловых устройств для сварки в среде защитных газов // Автоматизация и современные технологии. – 2003. – №3. – С.12-18.
16. Чигарев В.В. Повышение работоспособности деталей и инструмента наплавкой гетерогенного слоя / В.В. Чигарев, В.П. Иванов, И.С. Псарева // Захистметалургійних машин від поломок: зб. наук. пр. / ПДТУ. – Маріуполь. – 2003. – Вип. 7. – С. 234-237.
17. Чинахов Д.А., Влияние режимов сварки плавлением на структуру и свойства соединений из легированных сталей: монография / Д.А. Чинахов; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 114 с.
18. Чинахов Д.А., Григорьева Е.Г. Особенности использования порошковой проволоки для наплавки в СО₂ изношенной поверхности деталей // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2015. – №2. – С. 143-147.
19. Чинахов Д.А. Роль газодинамического воздействия струи защитного газа на процессы сварки плавящимся электродом: монография / Д.А.

Чинахов; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, – 2011. – 151 с.

20. Lebedev V.A., Maksimov S.Yu. Reduction in power consumption and weld quality control in welding using a controllable pulsed feed of electrode wire / International Congress on Advances in Welding Science and Technology for Construction, Energy and ansportation Systems (AWST-2011). 24–25 October 2011. – Antalya, Turkey. – 371–373 p.18 ISSN.

21. Chinakhov D.A. Study of thermal cycle and cooling rate of steel 30HGSA singlepass weld joints [Electronic resorces] // Applied Mechanics and Materials. – Vols. 52-54. – 2011. – p. 442-447.

22. Linda Almström, Camilla Söderström. Alternative materials for hightemperature and high-pressure valves. Degree Project of 30 credit points Master of Science in Engineering Mechanical Engineering, specialisation in Materials Engineering. 2010

23. H.L. Du, P.K. Datta, I. Inman, R. Geurts, C. Kübel Microscopy of wear affected surface produced during sliding of Nimonic 80A against Stellite 6 at 20°C. Published in "Materials Science and Engineering A357 (2003) 412-422

24. J. Jiang, F.H. Stott, M.M. Stack, Wear, 203-204 (1997) 615-625.

25. X.Y. Li, K.N. Tandon, Wear, 245 (2000) 148-161.

26. S. Datta, I. Inman, H.L. Du, Q. Luo, Microscopy of glazed layers formed during high temperature wear, Invited Talk at the Institute of Materials, Tribology Meeting, London, November 2001.

27. W. Betteridge, J. Heslop, The Nimonic Alloys, Edward Arnold (Publishers) Limited London, 1974.

28. CO2 and argon laser vascular welding: Acute histologic and thermodynamic comparison. George E. Kopchok BS Rodney A. White MD Geoffrey H. White MD Roy Fujitani MD Jerry Vlasak MD Leon Dykhovsky MD Warren S. Grundfest MD.// Lasers in Surgery and Medicine. Volume8, Issue6. 1988. Pages 584-588. (<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1532-849X.2006.00082.x>)

29. Crosslinking of extracellular matrix proteins: A preliminary report on a possible mechanism of argon laser welding. Dr. Louann W. Murray Ph.D Lyndon Su George E. Kopchok Rodney A. White MD.// Lasers in Surgery and Medicine. Volume9, Issue5. 1989. Pages 490-496. (<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/lsm.1900090512>)

30. Evaluation of gas metal arc welding with alternating shielding gases for use on AA6082T6. Stuart W Campbell, Alexander M Galloway, Norman A McPherson, Andrew Gillies.// Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture. Volume: 226. Issue: 6. 2012. Page(s): 992-1000. (<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0954405412439672>)

Приложение А
Технологическая карта на ремонт теплообменника

ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ТАТНЕФТЬ»

им. В.Д.Шашина

УПРАВЛЕНИЕ «ТАТНЕФТЕГАЗПЕРЕРАБОТКА»

«СОГЛАСОВАНО»

Главный механик управления
_____ А.В.Фаретдинов

«УТВЕРЖДАЮ»

Главный инженер – первый заместитель
_____ Р.Г.Г.арифуллин

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА

на ремонт труб трубного пучка теплообменника Т 401 N, МУСО
цеха №1, управления «Татнефтегазпереработка»

Главный сварщик

Дозоров В.П.

г. Альметьевск 2016 г.

Продолжение Приложения А

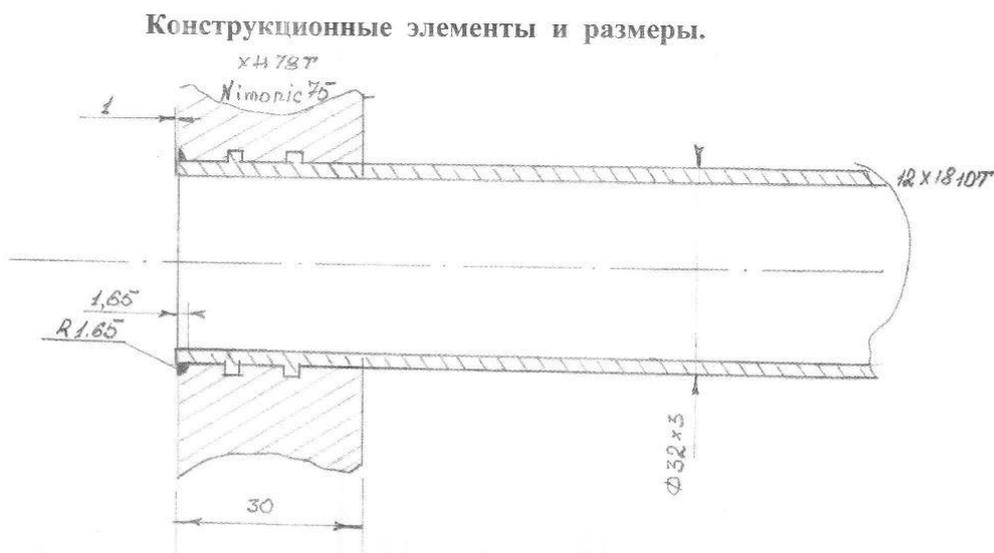
Операционная карта ручной аргонодуговой сварки неповоротного стыка труб из материала Х18Н10Т, теплообменника печи цеха №1, МУСО, управления «Татнефтегазпереработка».

1. Ремонтная организация управление «Татнефтегазпереработка»
2. Установка «МУСО», цех № 1
3. Сосуд теплообменник Т-401 N №зав. 10150.1
4. Сведения о сосуде
- Рабочая среда технологический газ
- Рабочая температура трубного пространства 1057°C на входе
трубной части $P=0,23$ кгс/см²,
межтрубной части $P=10$ кгс/см²,
- Материал трубка 12Х18Н10 Т, доска ХН78Т
5. Сущность работы приварка труб $\varnothing 32 \times 3$ к трубной решетке

6. Технологическая карта сварки.

Ф.И.О. сварщика:

Клеймо:



Продолжение Приложения А

Параметры режима

Сварочный ток - 70-100А;
 Расстояние от края сопла – не более диаметра сопла;
 Вылет электрода - 5 – 10 мм;
 Расход газа - 6 – 8 л/мин;
 Аргон высшего сорта, ГОСТ 10157.

Оборудование и материалы:

Установка сварочная Тетрикс 230
 Электрод вольфрамовый –ВЛ.Ø 3 мм. ГОСТ 23949;
 Проволока сварочная –ОК Autrod 19.85 (NiCr20Mn3Nb) Ø 1,2 мм; ОК Tigrod 19.85 *Ф2,6*

Сварку производить в режиме MIG-puls

10кв. (3плав)

Перечень операций сварки

№	Операция	Содержание операций и требований	Оборудование и инструмент.
1	Подготовка под сварку	1.1. Усиление наружной части трубок на доске убрать шлифовальной машинкой и многофункциональным гравером DREMEL 4000,175В, 35000 об/мин с гибким валом. 1.2.Свариваемые кромки трубок и поверхность (доски) основания очистить до чистого металла и обезжирить. 1.3.Вольфрамовый электрод заточить на конус с углом 15-30°, диаметр притупления 0,2 – 0,5 мм.	Щетка металлическая, шлифовальная машинка, УШС-3, ацетон, салфетки бязевые, заточной станок.
2	Сварка	2.1.Произвести сварку шва валиками, возможно короткой дугой. Перед наложением каждого последующего слоя стык должен полностью остыть до температуры не выше 100°С. В целях надежной защиты сварочной ванны следует установить с противоположной стороны трубок заглушки и по возможности с подачей инертного газа внутрь полости. 2.2.Зачистить металлической щеткой. 2.3.Время продувки газа до сварки должно быть достаточным для вытеснения воздуха из горелки и газовых шлангов. Время продувки газа после сварки должно быть не менее 5 с, подача аргона не должна заканчиваться до прекращения красного свечения сварного шва и электрода. 3.4.В случае касания электродом металла шва сварку прервать, место касания зачистить шлифовальной машинкой, электрод заточить или поменять. В случае касания присадочной проволоки электрода сварку прервать, электрод заточить или поменять.	Установка сварочная, шлифовальная машинка, щетка металлическая нержавеющая, шаблон сварщика УШС-3, приспособление

Продолжение Приложения А

		Охлаждение стыка после сварки проводить на открытом воздухе.	
--	--	--	--

Требования к контролю качества.

1. Визуальный и измерительный, 2. Гидравлическое испытание.

Главный сварщик



Дозоров В.П.

Приложение Б

Расчет экономического эффекта от внедрения ремонта теплообменника

УТВЕРЖДАЮ

Главный инженер-первый заместитель
начальника управления ТНПП

Гарифуллин Р.Г.

« 7 » 05 2018 г.

РАСЧЕТ

экономического эффекта от внедрения

рационализаторского предложения N 503 от 28.11.2016 г.

Ремонт и восстановление теплообменника на Печи 401N на блоке 400, МУСО
Цеха №1

Цех №7

Автор(ы): Набиуллин Раян Рафаэлевич, Мусин Риф Суфиянович, Закиров Ильнур
Ильшатович, Гребенщиков Роман Юрьевич, Шакиров Руслан Рашитович, Фаретдинов
Альберт Вадудович,

АННОТАЦИЯ

Было предложено сделать ремонт трубчатого теплообменника на месте, не разбирая его. Для этого было предложено закупить специальный инструмент малой механизации под названием Гравер марки DREMEL 4000 и комплектующие для зачистки межтрубного пространства, удаления старого сварочного шва с разделкой кромки по плите и последующий заваркой трубок аргонодуговой сваркой.

Исходные данные:

№	Элементы затрат	ед. изм.	до внедрения	после внедрения
1	Электросварщик 6 разряда 6 разр.	час	48,00	192,00
2	Газорезчик 5 разряд 5 разр.	час	48,00	192,00
3	Слесарь по ремонту технологич.установок 6 разр.	час	48,00	0,00
4	Слесарь по ремонту технологич.установок 4 разр.	час	48,00	0,00
5	Слесарь по ремонту т/у 3 разряда 3 разр.	час	0,00	112,00
6	Электросварщик ручной сварки 3 разр	час	0,00	112,00
7	Электроды 61,30 D 3,2 мм	тонна	0,04	0,00
8	Электроды 61,30 D 2,5 мм	тонна	0,05	0,00
9	Пруток ОК Tigrod 19.40 D2.4x1000 мм 5кг	кг	0,00	15,00
10	Гравер Dremel 4000 (1/45) F0134000JC	шт.	0,00	1,00
11	Круг отрезной Dremel Speed Clic 545	шт.	0,00	4,00

Продолжение Приложения Б

12	Круг отрезной Dremel D24x0,64 409	шт.	0,00	10,00
13	Круг отрезной Dremel D24x0,64 420	шт.	0,00	12,00
14	Насадка Dremel D4.8мм 8153	шт.	0,00	4,00
15	Насадка Dremel 15.9x3,2 оксид AL 8193	шт.	0,00	4,00
16	Насадка шлиф. Dremel 9.5x3.2 оксид AL 932	шт.	0,00	4,00
17	Набор Dremel 4485 (4 цапга+муфта)	шт.	0,00	4,00
18	Автокран, 1 мех.	час	48,00	0,00
19	Стоимость теплообменника Т-401N	шт.	1,00	0,00

Расчет:

№	Элементы затрат	ед. изм.	до внедрения	после внедрения
Трудовые затраты				
1	Электросварщик 6 разряда 6 разр. $((130,3+5,2)*1+26,1*1+(130,3+5,2)*1*70%)*(1+0%+30,3%+0%)*48*1$ $((130,3+5,2)*1+26,1*1+(130,3+5,2)*1*70%)*(1+0%+30,3%+0%)*192*1$	руб.	16 039,20 Р	64 156,80 Р
2	Газорезчик 5 разряд 5 разр. $((120,9+4,8)*1+24,2*1+(120,9+4,8)*1*70%)*(1+0%+30,3%+0%)*48*1$ $((120,9+4,8)*1+24,2*1+(120,9+4,8)*1*70%)*(1+0%+30,3%+0%)*192*1$	руб.	14 878,56 Р	59 514,24 Р
3	Слесарь по ремонту технологич.установок 6 разр. $((118,7+4,7)*1+23,7*1+(118,7+4,7)*1*70%)*(1+0%+30,3%+0%)*48*1$	руб.	14 602,56 Р	
4	Слесарь по ремонту технологич.установок 4 разр. $((105,5+4,2)*1+21,1*1+(105,5+4,2)*1*70%)*(1+0%+30,3%+0%)*48*1$	руб.	12 983,52 Р	
5	Слесарь по ремонту т/у 3 разряда 3 разр. $((98,9+4)*1+19,8*1+(98,9+4)*1*70%)*(1+0%+30,3%+0%)*112*1$	руб.		28 417,76 Р
6	Электросварщик ручной сварки 3 разр $((108,6+4,3)*1+21,7*1+(108,6+4,3)*1*70%)*(1+0%+30,3%+0%)*48*1$	руб.		31 176,32 Р

Продолжение Приложения Б

	+08)) *112*1			
	Механизмы			
1	Автокран, 1 мех. (48*1*1129)+(0*1*560)	руб.	54 192,00 Р	
	Материалы и оборудование			
1	Электроды 61,30 D 3,2 мм 0,04*892	руб.	35,68 Р	
2	Электроды 61,30 D 2,5 мм 0,05*939	руб.	46,95 Р	
3	Прутки ОК Tigrod 19.40 D2.4x1000 мм 5кг 15*4194,92	руб.		62 923,80 Р
4	Гравер Dremel 4000 (1/45) F0134000JC 1*9152,54	руб.		9 152,54 Р
5	Круг отрезной Dremel Speed Clic 545 4*1364,41	руб.		5 457,64 Р
6	Круг отрезной Dremel D24x0,64 409 10*525,42	руб.		5 254,20 Р
7	Круг отрезной Dremel D24x0.64 420 12*525,42	руб.		6 305,04 Р
8	Насадка Dremel D4.8мм 8153 4*377,12	руб.		1 508,48 Р
9	Насадка Dremel 15.9x3,2 оксид AL 8193 4*377,12	руб.		1 508,48 Р
10	Насадка шлиф. Dremel 9.5x3.2 оксид AL 932 4*377,12	руб.		1 508,48 Р
11	Набор Dremel 4485 (4 цанга+муфта) 4*673,73	руб.		2 694,92 Р
	Прочее			
1	Стоимость теплообменника Т-401N 1*16426749,37/100*16,67	руб.	2 738 339,12 Р	
	Итого:		2 851 117,59 Р	279 578,70 Р

Продолжение Приложения Б

Экономия = 2 851 117,59 Р*1 - 279 578,70 Р*1 = 2 571 538,89 Р

Налог на прибыль = 514 307,78 Р

Чистая прибыль = 2 057 231,11 Р

Вознаграждение авторам = (2 057 231,11 Р - 500 000 руб.) * 0.01 + 30 000
= 45 572,31 Р

Экономист
"Переработка"
"Татнефть" ЦОВ ОЭСВН
ПАО

Кучерова Е.В.

Начальник
"Переработка"
"Татнефть" ЦОВ ОЭСВН
ПАО

Хасанова Г.Г.

Приложение В

Заключение контроля цветной дефектоскопии

Управление «Татнефтегазпереработка» ПАО «Татнефть»
Производственная лаборатория

ЗАКЛЮЧЕНИЕ №6

контроля методом цветной дефектоскопии

Объект контроля: Сварной шов листов 100x100x3мм материал 12x18н10т

Сварщик: Шакиров Руслан

Контроль качества поверхности проводился в соответствии с РД13.006-2006, класс чувствительности III.

Состав проникающего раствора: пенетрант SHERWIN (DUBL-CHEK) DP-51

Состав смывки: очиститель SHERWIN(DUBL-CHEK) DR-60

Состав проявляющего раствора: проявитель SHERWIN (DUBL-CHEK) D-100

№	Наименование детали	Место контроля	Выявленные дефекты	Оценка качества
Образец №1	<u>Сварной шов листов 100x100x3мм</u>	Сварной шов Околошовная зона	Выявлено индикаторный след	Не годен
Образец №2	<u>Сварной шов листов 100x100x3мм</u>	Сварной шов Околошовная зона	Выявлено индикаторный след	Не годен
Образец №3	<u>Сварной шов листов 100x100x3мм</u>	Сварной шов Околошовная зона	Выявлено индикаторный след	Не годен
Образец №4	<u>Сварной шов листов 100x100x3мм</u>	Сварной шов Околошовная зона	Дефектов не обнаружено	годен
Образец №5	<u>Сварной шов листов 100x100x3мм</u>	Сварной шов Околошовная зона	Дефектов не обнаружено	годен
Образец №6	<u>Сварной шов листов 100x100x3мм</u>	Сварной шов Околошовная зона	Дефектов не обнаружено	годен

Контроль произвел специалист II уровня ЦД

Удостоверение № 0014-2188

Зарипов А.А.

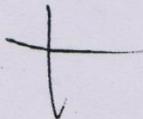
Зам. Начальника производственной
лаборатории цеха №7

Аппаков А.Н.

Приложение Д

Акт приемки-передачи выполненных работ по ремонту теплообменника

017, 9 00



Форма документа № Н-А7

Утверждена приказом по Учетной политике ПАО "Татнефть"

Исполнитель: БМЗ ПАО "Татнефть" им. В.Д.Шашина
(наименование организации, структурного подразделения - организации)

Адрес: г.Бугульма

**Акт приемки-передачи выполненных работ (оказанных услуг)
 № 0195398904/0335 от "24" февраля 2016г.**

по соглашению: № 0335/15/3176-ПР(335-1000094784) от 11.12.2015 года

Заказчик: Управление "ТНГП"
(наименование организации, структурного подразделения - заказчика)

№ п./п	Наименование работы (услуги)	Ед. измерения	Кол-во	Цена, руб. коп	Сумма, руб. коп
1	2	3	4	5	6
1	Ремонт теплообменника Ду800 с заменой трубного пучка Р37632 (дов.№140/7 ч/з Хакимова Р.А.)	ШТ	1	621360,00	621360,00
				Итого:	621360,00

Итого выполнено работ (оказано услуг) на сумму:

Шестьсот двадцать одна тысяча триста шестьдесят рублей 00 коп.

Вышеперечисленные работы (услуги) выполнены полностью и в срок. Заказчик претензий по объему, качеству и срокам выполнения работ (услуг) не имеет.

Подпись от исполнителя

Принят: от заказчика

должность _____
 подпись _____
 П.С.С. _____
 должность _____

расшифровка подписи _____
 Г.Р.Гараева
 расшифровка подписи _____



подпись _____
 расшифровка подписи _____
 Р.Г.Гарширшин
 расшифровка подписи _____

ОГМ *[Handwritten signature]*