На правах рукописи

МИХЕЕВ Дмитрий Алексеевич

МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКОЙ ЗАМКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ

Специальность 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение)

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель д.ф–м.н., профессор Амосов А.П.

Самара 2018

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ
ГЛАВА 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР12
1.1 Конструкция и материалы, применяемые для изготовления замковых соединений бурильных труб, микроструктура и свойства
1.2 Условия работы, эксплуатационные особенности и виды износа бурильных труб
1.3 Основные способы восстановительного ремонта наплавкой 18
1.4 Процесс восстановительного ремонта замковых соединений бурильных труб методом электродуговой наплавки и существующие проблемы 27
1.5 Теоретические и технические аспекты построения математической тепловой модели процесса наплавки
 1.6 Оценка температурных и остаточных напряжений в процессе электродуговой наплавки
1.7 Задачи диссертационного исследования
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ41
2.1. Используемые для проведения исследования материалы и оборудование
2.2 Методика определения химического состава на оптико-эмиссионном спектрометре СПАС-02
2.3 Методика проведения испытаний на ударную вязкость на маятниковом копре МК–30
2.4 Методика проведения испытаний на одноосное растяжение на разрывной машине P–10M
2.5 Методика проведения замеров твёрдости на твердомерах ТШ–2М и ТК–2М
2.6 Методика проведения металлографического анализа 46
2.7 Методика анализа остаточных напряжений 46
2.8 Методика проведения натурных испытаний на статическую осевую нагрузку

2.9 Методика проведения натурных испытаний на выносливость
ГЛАВА 3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
НАГРЕВА СТЕНКИ ЗАМКА ПРИ НАПЛАВКЕ
3.1 Расчет нагрева стенки на стадии кристаллизации наплавляемого слоя 51
3.2 Расчет нагрева стенки на стадии остывания закристаллизовавшегося
наплавленного слоя
3.3 Расчёт для наплавленных слоёв различной толщины 55
3.4 Выводы
ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА
НАНЕСЕНИЯ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА НАПЛАВКИ
4.1 Влияние защитной среды при восстановлении замковых соединений
бурильных труб
4.2 Влияние температуры предварительного подогрева при восстановлении
замковых соединений бурильных труб75
4.3 Оценка влияния предварительного подогрева на величину остаточных
напряжений в металле замков после наплавки
4.4 Влияние толщины наплавленного слоя при восстановлении замковых
соединений бурильных труб84
4.5 Оценка сходимости тепловой модели и экспериментальных данных 90
4.6 Выводы
ГЛАВА 5 – СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ВОССТАНОВЛЕННЫХ
НАПЛАВКОЙ ЗАМКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ93
5.1 Стендовые испытания замковых соединений бурильных труб на осевую
растягивающую нагрузку
5.2 Стендовые испытания замковых соединений бурильных труб на
усталостную прочность
5.3 Выводы
6. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ 105
7. СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

введение

Бурильная труба – это инструмент, используемый при бурении скважин, обеспечивающий передачу крутящего момента от привода к долоту, а также циркуляцию бурового раствора на забое. Работа бурильных труб протекает в условиях комбинированных нагрузок, при одновременном воздействии циклических изгибающих и ударных нагрузок, наружного и внутреннего гидростатического давления, однако статистические данные показывают, что более 60% бурильных труб отбраковываются по причине абразивно– фрикционного износа замкового соединения по наружному диаметру [1]. В соответствии с принятыми стандартами на списание изношенного бурильного инструмента, допускается эксплуатация бурильных труб с износом замковых частей по наружному диаметру не более 38%, после чего труба утилизируется. С учетом весьма короткого жизненного цикла бурильной трубы, а также её высокой стоимости перспективным оказалось восстановление геометрических параметров замковых соединений наплавкой силами центров по ремонту бурильных труб (ЦРБТ).

Существуют различные подходы и способы ремонта, однако наибольшее распространение как один из самых эффективных для замковых соединений, нашел метод восстановления электродуговой наплавкой в защитной среде. Данный метод возник в начале XX века, однако широкое применение нашёл в 80–90-х годах, когда особенно острой стала проблема нехватки бурильного инструмента [2]. Внешне восстановленные замки сложно отличить от новых, а поставляемая после капитального ремонта бурильная труба хорошо зарекомендовала себя при строительстве относительно неглубоких скважин. Однако последние десятилетия, в разрезе добычи полезных ископаемых, характеризуется заметным истощением существующих ресурсных фондов, что ставит добывающие компании перед необходимостью бурения более глубоких и дорогих скважин, а также освоения наклонно направленного бурения характеризующегося повышенным износом бурильного инструмента. При этом испытываемые бурильной колонной нагрузки постоянно

растут, а существующий технологический процесс восстановительного ремонта не претерпевает изменений. Исследования структуры и свойств восстановленных замковых соединений показали, что существующий способ восстановления не обеспечивает стабильного получения в металле замка требуемого уровня механических свойств.

В условиях ЦРБТ разрушающий контроль механических свойств восстановленных замковых соединений, как правило, отсутствует, а неразрушающий ограничен проведением дефектоскопии и замером твердости по поверхности наплавленного слоя, величина которой должна укладываться в интервал значений твёрдости металла замка новой трубы. Считается, что остальные механические свойства восстановленного замкового соединения находятся на необходимом уровне по всей глубине металла под наплавленным слоем. При таком подходе игнорируется влияние температурного фактора в процессе ремонта на микроструктуру металла тела замка под наплавленным слоем. Нанесение наплавки сопровождается перегревом выше температуры аустенизации с образованием на поверхности закалочной микроструктуры, в то время как основной металл замкового соединения может претерпевать в зоне термического влияния (ЗТВ) процесс отпуска, сопровождающийся значительным снижением твердости по сравнению с поверхностью. Твердость поверхности, как правило, укладывается в регламентируемые нормы, а изделие беспрепятственно проходит контроль качества и допускается к эксплуатации с низкими механическими свойствами основного металла в зоне термического влияния. Полный спектр необходимых механических характеристик не может быть достигнут без получения определённого микроструктурного состояния в металле, обеспечивающего требуемые механические характеристики. Для этого необходимо, прежде всего, проведение исследования зависимости микроструктуры и механических свойств металла наплавленного слоя и основного металла в прилегающей зоне термического влияния от условий реализации процесса наплавки. Во-первых, это определение состава защитной среды (флюсов или газовой среды) наплавки, обеспечивающей не-

обходимую степень легирования ванны расплава, а также надёжную защиту от поступления воздуха в область восстановления. Важным фактором, влияющим на выбор защитной среды, также является степень её адгезии к металлу наплавленного слоя. Во–вторых, требуемая микроструктура не может быть получена без корректировки температурно–временного режима наплавки, заключающегося в ограничении максимальной температуры нагрева тела замкового соединения, а также введении предварительного подогрева изделия перед восстановлением. В–третьих, необходимо проведение оценки влияния толщины единовременно наплавляемого слоя на микроструктурное состояние основного металла, а также определение количества таких слоёв при последовательной наплавке. В–четвёртых, важной проблемой является отсутствие информации об эксплуатационной надёжности восстановленных бурильных труб, которая может быть получена только после проведения лабораторных стендовых испытаний на циклическую усталость и осевую нагрузку.

Таким образом, тематика настоящей диссертационной работы является актуальной и направлена на решение проблемы повышения качества замковых соединений бурильных труб после капитального ремонта.

Цель работы: обеспечение требуемого уровня свойств замковых соединений бурильных труб после восстановления электродуговой наплавкой, на основе материаловедческих исследований влияния условий наплавки на химический состав, микроструктуру и механические свойства наплавленного слоя, прилегающей зоны термического влияния и основного металла.

Задачи исследования.

 Построение простейшей тепловой модели, связывающей температурное поле и градиент температуры в теле замка с характеристиками наплавленного слоя.

Определение типа и состава защитной среды (флюсов или газовой среды), обеспечивающей технологичность процесса наплавки, необхо-

димую степень легирования, при сохранении хорошей обрабатываемости наплавленного металла.

Исследование влияния температуры предварительного подогрева
 замка на уровень остаточных напряжений в зоне термического влияния.

 Исследование влияния толщины наплавляемого слоя на структуру и свойства металла замков после восстановительного ремонта, а также на формирование зоны термического влияния.

5) Оценка степени разупрочнения сварного шва бурильного замка и трубы в результате термического влияния наплавленного слоя.

Методы исследования

При проведении исследований использованы основные положения материаловедения и теории теплопроводности, а также современные качественные и количественные методы металлографического, спектрального и фрактографического анализа, разрушающие и неразрушающие методы контроля механических свойств.

Научная новизна результатов

1) На основе классической теории теплопроводности построена тепловая модель, позволяющая оценивать температурные поля, а также их влияние на градиент температуры и ширину ЗТВ после проведения наплавки.

2) Исследовано влияние различных защитных сред, предварительного подогрева, а также толщины единовременно наплавляемого слоя на структуру и свойства замковых соединений ремонтных бурильных труб.

 Исследовано влияние параметров процесса восстановления наплавкой на статическую прочность и усталостную долговечность сварного соединения бурильной трубы и бурильного замка.

Практическая ценность результатов работы

 Разработаны рекомендации для повышения качества процесса наплавки:

– применение в качестве защитной среды смеси флюсов 48–ОФ–10 и
 ЭЛЗ–ФКН–1/55(Б) в соотношении 1:1;

 – предварительный подогрев до 250±50°С и прокалка флюса при температуре 350°С перед наплавкой;

– ограничение толщины единовременно наплавляемого слоя до 3 мм.

 Проведение стендовых испытаний показало, что при соблюдении рекомендуемых параметров процесса ремонта разрушение в области сварного соединения не происходит.

3) На основе результатов диссертационного исследования были разработаны рекомендации в технологический процесс восстановительного ремонта, а также руководство по эксплуатации бурильных труб после капитального ремонта. Предложенные решения нашли практическое применение в ООО «БУР СЕРВИС», а также в ООО «ТМС–Буровой сервис».

Положения, выносимые на защиту

1. Тепловая модель процесса наплавки, позволяющая оценивать влияние параметров наплавки на температурные профили и величину градиента температуры в металле замкового соединения после восстановления.

2. Результаты анализа влияния основных параметров наплавки (к таковым относятся защитная среда, температура предварительного подогрева и толщина наплавляемого слоя) на микроструктуру и свойства, металла наплавки и ЗТВ после восстановления.

 Результаты лабораторных исследований химического состава, механических свойств и металлографического анализа металла замкового соединения после восстановления.

4. Результаты испытаний на осевую растягивающую нагрузку и циклическую усталость по оценке работоспособности бурильных труб после капитального ремонта и определению максимально допустимых нагрузок области сварного шва и прилегающей ЗТВ замка и тела трубы.

Достоверность научных результатов работы

В ходе выполнения исследований было использовано отечественное и зарубежное лабораторное оборудование, состоящее на учёте в едином реестре средств измерений, современные экспериментальные и теоретические методы и подходы теории теплопроводности, механики, теории разрушения и пластичности, теории термической обработки. Результаты работы сопоставлялись с результатами научных исследований иных источников, были апробированы, внедрены и нашли практическое применение на производстве.

Апробация результатов. Основные результаты исследований, предработе, докладывались на: международной ставленных В научнопрактической конференции 17-18 октября 2014 года «Перспективное развитие науки, техники, технологий», в г. Курск; IV международной научнопрактической конференции 22 сентября 2014 года «Современные научные исследования: методология, теория, практика», в г. Москва (приложение Д); V всероссийской с международным участием научно-практической конференции 29 июня 2015 года «Актуальные исследования гуманитарных, естественных, общественных наук», в г. Новосибирск; всероссийской научно – технической интернет – конференции с международным участием "Высокие технологии в машиностроении", г. Самара 2016; XXII международной научно-практическая конференции «ТРУБЫ-2016».

Статьи в материалах международных, всероссийских конференциях, в сборниках:

- Михеев, Д. А. Подбор защитной атмосферы при восстановлении замковых соединений бурильных труб / Д. А. Михеев // Сборник научных статей IV-ой Международной научно-практической конференции 17–18 октября 2014 года «Перспективное развитие науки, техники, технологий». – 2014. – С.226–230.

- Михеев, Д. А. Оптимизация технологии восстановления бурильных труб методом наплавки / Д. А. Михеев // Материалы IV Международной научно–практической конференции (Москва, 22 сентября 2014 г.). «Современные научные исследования: методология, теория, практика. – 2014. – C.129 – 136.

- Михеев, Д. А. Отработка режима предварительного подогрева в ходе восстановительного ремонта бурильных труб / Д. А. Михеев // Материа-

лы V всероссийской с международным участием научно-практической конференции 29 июня 2015г. «Актуальные исследования гуманитарных, естественных, общественных наук». – 2015. – С.128 – 142

- Михеев, Д. А. Математическое моделирование процесса наплавки при восстановительном ремонте замковых соединений бурильных труб / Д. А. Михеев, А. П. Амосов // Труды международной научно–практической конференции ОАО "РосНИТИ", НО "ФРТП" 20 сентября 2016 г. «Трубы 2016» Открытое акционерное общество "Российский научно– исследовательский институт трубной промышленности" (Челябинск).

- Михеев, Д. А. Исследование аварийных муфт замков бурильных труб, восстановленных наплавкой / Д. А.Михеев, А. П. Амосов // Материалы Всероссийской научно – технической интернет – конференции 25 – 28 октября 2016 г. « ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ». – 2016. – 262 с.

Статьи в рецензируемых изданиях из перечня ВАК РФ:

1. Амосов, А. П. Оптимизация технологии восстановления замковых соединений бурильных труб методом наплавки / А. П. Амосов, Д. А. Михеев // Ежемесячный научно-технический и производственный журнал «Наукоём-кие технологии в машиностроении». – 2015. – С.41 – 47.

2. Амосов, А. П. Оптимизация режима предварительного подогрева при восстановлении замковых соединений бурильных труб методом наплавки / А. П. Амосов, Д. А. Михеев // Экспозиция нефть, газ. – 2015. – №4 (43). – С.23 – 24.

3. Амосов, А. П. Подбор оптимальной толщины наплавочного слоя при восстановлении замковых соединений бурильных труб / А. П. Амосов, Д. А. Михеев // Ежемесячный научно–технический и производственный журнал «Наукоёмкие технологии в машиностроении». – 2015. – №12. – С.22 – 25.

4. Михеев, Д. А., Восстановление замковых соединений бурильных труб методом наплавки / Д. А. Михеев // Вестник Самарского государствен-

ного технического университета. Серия Технические науки. – 2016. – №1 (49). – С. 143-145.

5. Михеев, Д. А., Стендовые испытания замковых соединений бурильных труб после восстановления наплавкой / Д. А. Михеев // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия Технические науки. – 2016. – №4 (49). – С. 139-142.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав основной части и заключения, списка литературы, включающего 101 наименование. Объем работы – 155 страницы машинописного текста, включая 52 рисунка и 16 таблиц.

ГЛАВА 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Конструкция и материалы, применяемые для изготовления замковых соединений бурильных труб, микроструктура и свойства

Бурильная труба – это инструмент, используемый при бурении скважин, обеспечивающий передачу крутящего момента между приводом и долотом, а также циркуляцию бурового раствора на забое. Соединение бурильных труб между собой происходит посредством замков, которые могут быть как в виде обособленных изделий, так и в виде неразъёмных элементов бурильной трубы. Одной из наиболее распространённых конструкций бурильной трубы является сварное соединение, выполненное сваркой трением на специальных станах в заводских условиях. Внешний вид такой бурильной трубы (после восстановительного ремонта наплавкой) представлен на рисунке 1.1.



сварной шов с ниппельной стороны тело трубы сварной шов с муфтовой стороны Рисунок 1.1 – Внешний вид бурильной трубы после восстановления наплавкой

Из рисунка 1.1 видно, что основными конструкционными элементами бурильной трубы являются тело и замок, представляющий собой ниппельную и муфтовую части, приваренные сваркой трением в зоне высадки (утолщения) бурильной трубы с противоположных сторон. Далее по тексту настоящей работы понятие "бурильная труба" будет использовано исключительно в значении сварной конструкции тела бурильной трубы с замковыми частями (ниппелем и муфтой), а понятие "замок" в значении конструкционного элемента бурильной трубы (замкового соединения двух бурильных труб состоящего из ниппельной части одной трубы и муфтовой части другой).

Для изготовления бурильных труб и замков (в случае если данное замковое соединение является приварным) могут применяться различные марки конструкционных легированных сталей. В соответствии с требованиями отечественных и зарубежных стандартов (ГОСТ, API) в подавляющем большинстве случаев марка стали не регламентируется нормативным документом и устанавливается изготовителем из условия обеспечения требований соответствующего стандарта для механических свойств данной группы прочности, а также ограничения вредных примесей серы (S) и фосфора (P) [3–6].

Требуемый комплекс свойств наиболее эффективно реализуется посредством термической обработки стали, позволяющей создавать в детали необходимую для нормальной работы бурильных труб вязкую и прочную микроструктуру. Качество термической обработки в немалой степени зависит от химического состава стали. Одним из важнейших элементов, во многом определяющих свойства будущего изделия, является углерод. Это неметаллический полиморфный элемент, который в обычных условиях находится в модификации графита, однако в замковых сталях в таком виде не встречается. Роль углерода заключается в формировании цементита и карбидов в стали. Эффективность влияния углерода на свойства легированных сталей зависит от природы присутствующих в стали легирующих элементов и их массового соотношения. Растворяясь в феррите, они препятствуют распространению дислокаций и упрочняют металл. Значительное влияние на твердость нормализованного феррита оказывают элементы, имеющие отличную от α-железа кристаллическую решетку (марганец, никель, кремний и т. д.). Большинство легирующих элементов при их содержании более 1% упрочняют феррит. Пластические характеристики при этом практически не изменяются, однако ударная вязкость в значительной степени падает. Единственным элементом, не оказывающим отрицательного влияния на ударную вязкость, является никель, роль которого заключается не в увеличении абсолютных значений вязкости при комнатной температуре испытания, а в резком повышении температурного запаса вязкости. Таким образом, влияние никеля на свойства улучшенной стали сводится к сохранению ударной вязкости при отрицательных температурах испытаний.

Особенностью работы бурильных труб является циклический знакопеременный характер нагружения. В связи с этим материал должен иметь большой запас прочности и высокий предел выносливости. Для изготовления исследуемых в настоящей работе замковых соединений бурильных труб применяется сталь марки 40ХМФА. Замковые соединения из данной стали подвергаются термической обработке, включающей закалку и высокий отпуск, поскольку в отожженном состоянии сталь по механическим свойствам практически не отличается от углеродистой.

По данным ГОСТ 4543–71 [6] температура закалки для стали 40ХМФА составляет 860°С. В качестве охлаждающей среды, как правило, применяется масло. При обычных скоростях нагрева под закалку перлит сохраняет свое пластинчатое или зернистое строение до температуры Ас₁ (рисунок 1.2 [7].



Рисунок 1.2 – Превращения в стали 40ХМФА при нагреве (а– фрагмент диаграммы состояния железо–цементит для области стали 40ХМФА; б) диаграмма изотермического распада аустенита в стали 40ХМФА и кривые охлаждения:1 – начало превращения аустенита в перлит; 2– конец превращения аустенита в перлит; 3 – начало выделения феррита)

При температуре выше Ac₁ цементит растворяется, происходит превращение перлита в аустенит. Зарождение зерен аустенита начинается на границах фаз феррита и цементита. Так как образование зёрен аустенита происходит с достаточно высокой скоростью, для обеспечения полного растворения цементита в аустените и получения гомогенного аустенита необходимо некоторое время поддерживать температуру стали, равной температуре закалки. Фазовая перекристаллизация приводит к измельчению зерна в стали. При этом, чем выше дисперсность структуры перлита и скорость нагрева стали, тем больше возникает центров зарождения аустенита, а, следовательно, возрастает дисперсность продуктов его распада, что приводит к увеличению пластичности, вязкости, уменьшению чувствительности к концентрации напряжений.

Если скорость охлаждения будет больше критической, то в рамках границ зерна аустенита будет образовываться мартенсит и остаточный аустенит в количестве 1–3%. Затрудненность распада остаточного аустенита связана с появлением значительных сжимающих напряжений, возникающих вследствие увеличения объема при переходе ГЦК решетки в ОЦК. Микроструктура стали 40ХМФА после закалки представлена на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – Микроструктура стали 40ХМФА после закалки

Для придания стали замков требуемых эксплуатационных свойств, после закалки проводится высокий отпуск. Сталь 40ХМФА относится к классу перлитных улучшаемых легированных конструкционных сталей с ограниченной свариваемостью. Из–за присутствия хрома в составе для неё характерна отпускная хрупкость, устранение которой требует быстрого охлаждения от температуры высокого отпуска. Отпуск проводится при температуре 600°С, выше интервала температур необратимой отпускной хрупкости 450– 500°С в котором может произойти охрупчивание. В интервале температур 500...600°С происходит переход мартенсита в сорбит отпуска, а также процесс карбидообразования. Микроструктура стали 40ХМФА после отпуска представлена на рисунке 1.4.



Рисунок 1.4 – Микроструктура стали 40ХМФА после отпуска

В результате существенно снижаются остаточные напряжения, активизируется процесс коалесценции карбидов, что приводит к уменьшению дисперсности феррито–цементитной смеси и формирования микроструктуры сорбита отпуска, обеспечивающей требуемый уровень механических и эксплуатационных свойств.

1.2 Условия работы, эксплуатационные особенности и виды износа бурильных труб

Соединённые между собой бурильные трубы вместе с остальными технологическими элементами образуют бурильную колонну. Работа бурильной колонны протекает в крайне тяжёлых условиях и ее состояние во многом определяет эффективность использования рабочего времени на протяжении каждого спуска. Продолжительность жизненного цикла бурильной колонны зависит от весьма разнообразных факторов, наиболее существенные из которых следующие: - величина и характер действующих нагрузок;

 наличие мест концентрации напряжений, таких как резьбовое соединение, сочленение элементов бурильной колонны различной жесткости;

 коррозионное воздействие среды, в которой находится бурильная колона;

 абразивное воздействие на бурильную колонну стенок скважины и твердых частиц, находящихся в циркулирующем буровом растворе;

 возникновение колебательных процессов, резонансных явлений и реактивных моментов в бурильной колонне.

Величины и характер нагрузок, действующих на колонну, зависят от способа бурения, траектории и состояния скважины, применяемых режимов бурения, технического состояния наземного оборудования, оснащенности его средствами механизации, автоматизации и контроля, а также от квалификации бурового персонала [8].

Существует два основных способа бурения – роторное и бурение с забойными двигателями. При роторном бурении, буровая колонна, передающая вращение от ротора к долоту, испытывает действие ряда сил. Верхняя часть колонны под действием сил собственного веса и перепада давления в промывочных отверстиях долота находится в растянутом, а нижняя, воспринимающая реакцию забоя – в сжатом состоянии [8]. Следовательно, в буровой колонне имеется сечение, в котором отсутствуют осевые растягивающие и сжимающие силы. Выше этого сечения действуют напряжения растяжения, возрастающие к вертлюгу, а ниже него – напряжения сжатия, увеличивающиеся к долоту. Передаваемый бурильной колонной вращающий момент приводит к возникновению в ней напряжений кручения, а вращение колонны с определенной частотой порождает центробежные силы и, следовательно, изгибающие напряжения. Первые уменьшаются от вертлюга к долоту, а вторые имеют максимальное значение в нижней части бурильной колонны. Одновременное действие перечисленных выше сил осложняет условия ее работы при роторном способе бурения. Аварии при роторном бурении происхо-

дят, в основном, из-за поломок по причине усталостного износа резьбы, сварочного шва, материала трубной части и присоединительных элементов.

При бурении с забойными двигателями буровая колонна не вращается. При этом она испытывает напряжения растяжения и сжатия в растянутой и сжатой частях колонны. Изгибающие нагрузки, возникающие при потере сжатой частью прямолинейной формы невелики. Незначителен и реактивный момент забойного двигателя, и поэтому касательные напряжения, действующие по направлению к вертлюгу, не достигают опасных значений. Аварии при бурении с забойными двигателями происходят, в основном, из–за прихватов, неподвижно лежащей на стенке скважины колонны, и размыва резьбовых соединений и стенок труб.

При эксплуатации бурильных труб, наблюдается равномерный и неравномерный износ, а также образование рисок и задиров на рабочих поверхностях деталей. Поскольку при работе труба подвергается переменным по величине и знаку нагрузкам, то наибольшее распространение имеет неравномерный износ. Особо быстрому изнашиванию подвергаются бурильные замки, прежде всего по причине истирания о стенку скважины, а также усталости от циклических нагрузок и изнашивания резьбы струей промывочной жидкости в случае недокрепления [9]. Тело трубы, при этом, имеет достаточно низкую наработку и могло бы быть в дальнейшем вовлечено в строительство скважин. Анализ статистических данных с трубных баз, а также многолетний опыт эксплуатации скважин позволяют утверждать, что наиболее частой причиной выхода из строя бурильных труб на сегодняшний день является именно абразивно-эрозионный износ тела замкового соединения, в связи с чем восстановительный ремонт бурильных труб в части наплавки образующих замковых соединений с перенарезанием резьбы является весьма актуальной и востребованной практикой.

1.3 Основные способы восстановительного ремонта наплавкой

Существуют различные направления восстановительного ремонта замковых соединений бурильных труб, однако наибольшее распространение, как наиболее эффективное, получило направление восстановления наплавкой. Процесс наплавки включает в себя нанесение расплавленного металла на оплавленную металлическую поверхность с последующей его кристаллизацией, в результате чего создаётся слой с заданными свойствами. В большинстве способов наплавки, так же как и при сварке, образуется подвижная ванна расплава. В головной части ванны основной металл расплавляется и перемешивается с электродным металлом, а в хвостовой части происходит кристаллизация расплава [10]. Наплавляемый металл выбирают с учетом эксплуатационных требований и свариваемости. Наплавка может производиться в один или несколько слоев, толщина которых также может варьироваться.

Подбор условий наплавки производят, исходя из особенностей материала наплавляемой детали. Наплавку деталей из низкоуглеродистых и низколегированных сталей обычно производят в условиях отсутствия предварительного подогрева изделий. Наплавка средне— и высокоуглеродистых, легированных и высоколегированных сталей, обладающих ограниченной свариваемостью, часто выполняется с предварительным подогревом, а также с проведением последующей термообработки с целью снятия внутренних напряжений [11,12]. В зависимости от размеров изделия и специфики работы существует несколько основных направлений ремонта наплавкой. При выборе наиболее рационального способа следует учитывать условия эксплуатации изделия, а также технологичность и экономическую эффективность процесса.

Электродуговая наплавка под флюсом является одним из наиболее изученных во всех отношениях видов наплавки. В случае дуговой наплавки под флюсом, нагрев металла осуществляются теплом дуги, горящей между плавящимся электродом и основным металлом под слоем флюса. Наплавку углеродистых и низколегированных сталей выполняют под плавлеными флюсами, а также электродными лентами, а высоколегированных хромоникелевых сталей и сталей других типов с легкоокисляющимися элементами – под фторидными флюсами [13,14]. Для предупреждения образования шлаковых включений и непроваров в наплавленном слое при многослойной наплавке

необходимо тщательно удалять шлаковую корку с предыдущих слоев. Основными преимуществами данного метода являются высокая производительность процесса, незначительные потери электродного металла, отсутствие открытого излучения дуги [14].

Автоматическая электродуговая наплавка под флюсом, наряду с высокой производительностью обеспечивает требуемое качество и однородность наплавленного слоя. Однако при этом возрастает глубина проплавления основного металла и доля его участия в наплавленном до 30...50 % [15,16]. Снижение указанных отрицательных показателей реализуется различными методами воздействия на процессы переноса электродного металла через дугу или формирования сварочной ванны.

Электродуговая наплавка в защитных газах применяется в том случае, когда невозможна подача флюса и удаление шлаковой корки [17, 18]. Преимуществами данного вида наплавки являются визуальное наблюдение за процессом и возможность его широкой механизации и автоматизации с использованием серийного сварочного оборудования. Ее применяют при наплавке деталей в различных пространственных положениях, внутренних поверхностей, глубоких отверстий, мелких деталей и сложных форм и т.п. Процесс наплавки в защитных газах во многом схож с наплавкой под флюсом, отличие лишь в том, что вместо флюсовой применяют газовую защиту зоны сварки. Помимо перечисленных преимуществ это освобождает сварщика от необходимости засыпки флюса и удаления шлака. С целью уменьшения разбрызгивания металла наплавка в защитном газе производится самой короткой дугой [19]. Цилиндрические детали наплавляют по винтовой линии как непрерывным валиком, так и с поперечными колебаниями электрода. Наплавка может производиться в углекислом газе, аргоне, гелии и азоте, как плавящимся, так и неплавящимся электродами [20]. Неплавящийся вольфрамовый электрод обычно применяют при наплавке в аргоне и гелии. Для наплавки деталей из углеродистых и низколегированных сталей с целью восстановления их размеров применяют сварочные проволоки сплошного сече-

ния Св–08ГС, Св–08Г2С, Св–12ГС, а также наплавочные проволоки Нп–40, Нп–50, Нп–30ХГСА [21,22]. При необходимости получения наплавленного слоя с особыми свойствами применяют порошковые проволоки. Недостатком способа является то, что в процессе наплавки в углекислом газе наблюдается сильное разбрызгивание жидкого металла, приводящее к налипанию брызг на мундштук и засорению сопла горелки. Кроме того, возможность сдувания газовой струи ветром затрудняет наплавку на воздухе.

В настоящее время большой научный и практический интерес представляет собой процесс плазменной наплавки, при которой обеспечивается минимальный переход основного металла в наплавленный. Плазменная наплавка может выполняться с подачей присадочного металла в виде проволоки, ленты или порошка в сжатую дугу [23–26]. Сущность этого метода заключается в том, что нагрев присадочного и основного металла осуществляется сжатой дугой или газовой плазмой, выделенной или совпадающей со столбом дуги [27, 28]. Для промышленного применения разработаны несколько способов плазменной наплавки с боковой подачей присадочной проволоки [29].

При наплавке с электрически нейтральным изделием плазменная дуга горит между присадочной проволокой и неплавящимся электродом плазмотрона. В этом случае производительность наплавки возрастает, однако из–за малого тепловложения в основной металл существует вероятность появления несплавлений.

Плазменная наплавка с использованием токоведущей проволоки нашла применение для создания биметаллических изделий с основой из чугуна, углеродистых, низколегированных сталей. Основными недостатками второго способа плазменной наплавки с электрически нейтральной присадочной проволокой является малая производительность процесса.

Наибольшее распространение получил третий способ, предусматривающий горение двух дуг: одной между неплавящимся электродом плазмотрона и изделием, второй – между неплавящимся электродом плазмотрона и присадочной проволокой. При этом невозможно получить производительность наплавки более 10 кг/ч [30–32], а также уменьшить глубину проплавления основного металла, что приводит к увеличению затрат на наплавку.

В отечественной и зарубежной практике плазменную наплавку широко применяют при упрочнении седел клапанов химического оборудования; внутренних поверхностей ротационных насосов из стального литья; клапанов автотракторных двигателей; изнашивающихся поверхностей, самозатачивающегося инструмента [33–35]. Преимущества этого вида наплавки – малая глубина проплавления основного металла, возможность наплавки тонких слоев, высокое качество и гладкая поверхность наплавленного металла. Недостатком является дороговизна производства.

Одним из новых направлений ремонта является наплавка трением. Данный метод обладает значительным потенциалом для дальнейшего промышленного применения и разрабатывается в качестве практической альтернативы всем остальным методам, однако пока не получил распространения [36, 37]. Процесс наплавки трением напоминает обычную сварку трением, проводимую при вращении одного прутка или заготовки относительно другой при непрерывном их поджатии друг к другу. При этом наплавленный слой в зависимости от режима процесса может иметь весьма малую толщину (0,2 ... 0,5 мм). Для сварки не требуется источник питания, сварочных электродов, флюса, газов. Не выделяются вредные аэрозоли, которые сопутствуют производственным процессам. Этим видом наплавки можно наплавлять разнородные металлы, такие как алюминиевые сплавы, алюминий с медью, магний с медью, медь и ее сплавы, медь с никелем, медь со сталью и другие, а также такие металлы, которые электро– или газосваркой сваривать невозможно. В настоящее время, работы по совершенствованию технологии сварки и наплавки трением ведутся в Пермском национальном исследовательском политехническом, Донском техническом и Уфимском государственном нефтяном университетах [38–40], а также в ряде зарубежных научных школ. Данный метод не подходит для восстановления замковых соединений бу-

рильных труб, так как не обеспечивает необходимой производительности вследствие малой толщины единовременно наплавляемого слоя.

Электроннолучевая наплавка широко применяется во многих областях из-за высокой глубины и ширины одновременно наплавляемых поверхностей. Электроннолучевая наплавка позволяет получить покрытия, сочетающие в себе износостойкость и коррозионную стойкость. Метод электроннолучевой наплавки и результаты исследований подобных покрытий описаны в работах отечественных и зарубежных авторов [41-43]. Достоинством технологии является возможность отдельно распределять мощность луча, идущего на подогрев наплавляемой поверхности и наплавляемого металла. Отсюда – возможность добиваться практически минимального перемешивания основного и наплавочного материалов и только в слоях наплавки, прилегающих к основному материалу [42]. Так как наплавка проводится в вакуумных камерах, то выгорание из присадочного материала легирующих элементов исключается; в результате появляется возможность легировать наплавляемый металл в любых количествах и сочетаниях. Присадкой служит проволока сплошного сечения или порошковая. Производительность такой технологии наплавки достаточно велика: до 2 кг/ч, толщина наплавки может быть в пределах 0,2 ... 3 мм. Данный метод не подходит для восстановления замковых соединений бурильных труб по причине их массивности (для наплавки необходима вакуумная камера), дороговизны оборудования и необходимости квалифицированного персонала, малого КПД.

Широкое применение, как один из методов восстановления изношенных поверхностей, нашел процесс лазерной наплавки [44]. Она осуществляется тремя способами: с подачей присадочного порошка в зону лазерного луча с помощью достаточно сложного дозирующего устройства; с оплавлением предварительно нанесенного на поверхность присадочного материала в виде пасты; с оплавлением предварительно напылённых поверхностей [45]. Быстрое охлаждение наплавленного металла способствует получению высокотвердых структур в наплавке и поверхности основного металла. Способ

весьма эффективен, хотя и требует специального дорогого оборудования и обученного персонала. Его используют для наплавки лопастей турбин, клапанов, распределительных валов и других деталей ответственного назначения. Он позволяет получать наплавленные поверхности толщиной до 0,1 мм. Производительность при хорошо организованном серийном производстве может достигать до 1 кг/ч при доле основного металла в наплавленном 5... 7 % за счет возможности перераспределения тепловложения. Общим эффектом для всех разновидностей лазерной наплавки является измельчение зерна из– за быстрого охлаждения и недостаточного времени для роста зерна [46–48]. Рост зерна является направленным, но вместо дендритов наблюдаются ячеистые структуры. Направленные структуры имеют более или менее выраженную анизотропию. Для реализации данного метода требуется специфическое оборудование и материалы, что делает его малопривлекательным для восстановления замков бурильных труб.

При электрошлаковой наплавке для оплавления основного и присадочного металла служит шлаковая ванна, разогреваемая проходящим через нее электрическим током. Этот способ наплавки, как правило, сочетается с принудительным формированием наплавляемого слоя. Сущность процесса электрошлаковой наплавки состоит в том, что в пространстве, образованном поверхностью наплавляемого изделия и формирующим кристаллизатором, охлаждаемым водой, создается ванна расплавленного шлака, в которую подается электродная проволока [49,50]. Ток, проходя между электродом и изделием, нагревает шлаковую ванну до температуры выше 2000°С, в результате чего электродный и основной металлы оплавляются, образуя ванну расплава, при затвердевании которой формируется наплавленный слой. Для осуществления процесса электрошлаковой наплавки различных поверхностей необходима достаточно глубокая шлаковая ванна, получение которой проще всего при вертикальном или наклонном расположении деталей. По сравнению с дуговой наплавкой это менее универсальный способ, но он весьма эффекти-

вен в тех случаях, когда требуется восстановление деталей с большим объемным износом (более 14 – 16 мм) [51–53], а также повышение их износостойкости с помощью армирования их рабочих поверхностей износостойкими сплавами. Благодаря применению большой силы тока и электродов большого сечения можно достичь высокой производительности – до 150 кг наплавленного металла в час.

Вибродуговая наплавка обычно используется для наплавки деталей типа тел вращения диаметром от 8 – 10 мм и более. Сущность этого метода наплавки заключается в том, что основной и электродный металл нагреваются до расплавления теплотой, которая выделяется в результате возникновения периодически повторяющихся электрических разрядов, т. е. прерывисто горящей электрической дуги [54,56]. Наплавленный слой образуется в процессе кристаллизации расплавленного основного и электродного металла. Малая длительность и прерывистость горения электрической дуги обусловлены вибрациями электродной проволоки, которые создаются с помощью электромагнитных или механических вибраторов. В процессе вибраций наблюдаются короткие замыкания вследствие прикасания электродной проволоки к наплавляемому изделию (основному металлу), а во время отрыва проволоки возникает большой силы ток и загорается электрическая дуга. В качестве присадочного металла применяют наплавочные проволоки (одну или несколько), которые могут иметь возвратно-поступательные перемещения поперек сварочной ванны, а также электродные ленты, пластины или стержни большого сечения, иногда и трубы, которые используют для наплавки цилиндрических поверхностей. Для наплавки пригодны сварочные проволоки диаметром 0,8 - 2,0 мм [57, 58]. С целью защиты расплавленного металла от взаимодействия с окружающей средой наплавка ведется в струях жидкостей или защитных газов, а также под слоем флюса. Применяются водные растворы кальцинированной соды; смеси кальцинированной соды, мыла и глицерина; эмульсии глицерина. Прерывистость процесса позволяет получать зону термического влияния малой ширины, поэтому наплавленные детали имеют

весьма малые деформации, что особенно важно при наплавке сложных изделий, изготовленных с высокой точностью. Если наплавка выполняется в струе жидкости, происходит ускоренное охлаждение наплавленного металла, поэтому он имеет повышенную твердость и износостойкость. Вибродуговая наплавка эффективна, если необходимо наплавлять слои металла небольшой толщины. Недостатками вибродуговой наплавки являются сравнительно низкий коэффициент наплавки и невысокая производительность наплавки.

Индукционная наплавка порошковых материалов достаточно широко используется в машиностроении для нанесения износостойких и антифрикционных покрытий на рабочие поверхности изготовленных деталей узлов трения и сопряжения высоконагруженных механизмов [59]. Индукционная наплавка проводится в индукторах. Процесс наплавки включает в себя такие хорошо известные в порошковой металлургии технологические операции, как формование, нагрев и изотермическая выдержка. Нагрев до температур плавления сформованных слоев осуществляется за счет электротермического действия токов Фуко, а также теплообмена и теплопередачи, характерных для порошковых материалов. Источником появления токов Фуко, как показано в работах [60-62], является электромагнитное излучение, поток которого зависит не только от геометрии и материала индуктора, но и от мощности протекающего в этом индукторе тока. Одним из требований при индукционной наплавке является необходимость иметь материал подложки с более высокой температурой плавления, чем наплавляемый. КПД процесса невысок, существует опасность перегрева основного металла. Однако можно подобрать такой режим, при котором почти полностью исключается перемешивание основного и присадочного металлов. Производительность такой наплавки может достигать 15 кг/ч при толщине наплавляемого слоя 3...4 мм. Процесс становится эффективным в условиях серийного производства и чаще всего применяется в сельскохозяйственном машиностроении.

Таким образом, из всех описанных способов восстановления изношенных поверхностей методом наплавки, для замковых соединений бурильных труб наиболее подходящим, благодаря своей дешевизне, простоте реализации и технологической гибкости, является способ восстановления электродуговой наплавкой под флюсом.

1.4 Процесс восстановительного ремонта замковых соединений бурильных труб методом электродуговой наплавки и существующие проблемы

На ремонт в части восстановления замковых деталей методом электродуговой наплавки подаются трубы, прошедшие входной контроль и дефектоскопию не ниже 3-го класса по износу тела трубы по толщине стенки с замками не ниже 3-го класса по абразивному износу наружной поверхности [63]. Класс износа определяют по данным дефектоскопии и инструментального контроля. Ремонту в части восстановления замковых деталей методом наплавки подвергаются трубы всех групп длин в соответствии с ГОСТ Р 50278–92, замки которых изготовлены из материала 40ХМФА по ГОСТ 4543-71. По принятой на производстве технологии [64-68], восстановление изношенной поверхности замка производится методом электродуговой наплавки под слоем флюса с использованием наплавочной проволоки НП-30ХГСА по ГОСТ 2246-70 диаметром 2 мм под слоем флюса. При восстановлении бурильной трубы, на поверхности замкового соединения происходит формирование валиков из продольных участков, располагаемых вдоль образующей трубы. Наплавку осуществляют на прямой полярности с подключением «минуса» на электроды и «плюса» на трубу. По всей ширине наплавляемого валика в зоне влияния всех электродов формируется общая ванна жидкого металла. Наплавку формируют при перемещении электродов в прямом и обратном направлении вдоль оси вращающейся трубы. Перемещение электродов совмещают с подачей флюса [69]. Схема установки для проведения наплавки представлена на рисунках 1.5 и 1.6.



Рисунок 1.5 – Принципиальная схема установки для наплавки

аппаратный ящик; 2– сварочный преобразователь; 3– патрон токарного станка;
 4– бурильная труба; 5– держатель проволоки; 6– бункер для флюса; 7– проволокоподающий механизм; 8– очиститель; 9– кассета с проволокой.



Рисунок 1.6 - Схема образования наплавленного слоя

Наряду с составом защитной среды, важную роль в формировании температурного поля при проведении наплавки играет толщина единовременно наплавляемого слоя и количество таких слоёв. Слои наплавленного металла меньшей толщины размера имеют тенденцию к более быстрому охлаждению, а, следовательно, и к уменьшению ширины зоны термического влияния. Ширина зоны термического влияния в данном случае служит главным критерием оценки степени перегрева. Чем меньше ширина зоны термического влияния, тем выше будут свойства восстановленного замкового соединения. Таким образом, режим нанесения наплавки должен обеспечиваться, исходя из обеспечения минимально возможной ширины зоны термического влияния, что может быть достигнуто уменьшением толщины единовременно наплавляемого слоя.

На практике толщина наплавляемого за один проход слоя не контролируется, и наплавка может быть выполнена за один проход (чтобы уменьшить время, затрачиваемое на наплавку). Однако это неизбежно приводит к росту зоны термического влияния и микроструктурным изменениям в металле замка. Таким образом, задача сводится к определению толщины единовременно наплавляемого слоя, позволяющего максимально производительно и при этом с минимальным влиянием на микроструктуру и свойства основного металла замка производить восстановительный ремонт. Ранее таких исследований, применительно к процессу восстановительного ремонта замковых соединений бурильных труб, не производилось, в связи с чем такое исследование актуально.

Как было упомянуто выше, в результате восстановительного ремонта в наплавленном слое возникают остаточные растягивающие напряжения, повышающие склонность металла наплавки к растрескиванию. Одним из путей, позволяющих в значительной мере снизить уровень остаточных напряжений, является введение предварительного подогрева. Предварительный подогрев представляет собой повышение температуры основного металла перед наплавкой до желаемого значения. При этом может повышаться температура всего изделия, либо его определённой области. Подогрев может продолжаться в течение всего технологического процесса, но, как правило, теплового эффекта от наплавки оказывается достаточно для того, чтобы поддерживать желаемую температуру без необходимости во внешнем источнике тепла. Необходимость введения предварительного подогрева зависит от нескольких

факторов: требований кодексов, толщины сечения, состава основного металла, напряжения, температуры окружающей среды, содержания водорода в окружающем металле и того, возникали ли проблемы с образованием трещин в прошлом. В сварочных кодексах обычно указывается минимальная температура предварительного подогрева для каждого металла, типа сварки и размеров свариваемого сечения. В случае низкоуглеродистой стали предварительный подогрев обычно не требуется, однако при повышении содержания легирующих элементов потребность в подогреве возрастает. В рассматриваемом процессе восстановительного ремонта процедура предварительного подогрева отсутствует. Это во многом связано с тем, что на момент разработки технологии восстановления замковых соединений бурильных наплавкой химический состав замков был совершенно другим и подогрев не требовался. С введением хроммолибденовой стали 40ХМФА, обладающей ограниченной свариваемостью благодаря легированию хромом и марганцем, такой подогрев в процессе восстановительного ремонта стал необходим, однако сама технология изменений не претерпела и не предусматривает предварительного подогрева. Также большой практический интерес представляет использование указаний сварочных кодексов применительно к процессу восстановительного ремонта наплавкой. Таким образом, на данный момент имеется необходимость материаловедческого исследования влияния наличия и параметров предварительного подогрева на уровень остаточных напряжений.

Еще одной важной проблемой, затрагивающей эксплуатационную надёжность бурильных труб после восстановления, является отсутствие данных по влиянию процесса наплавки на прочность сварного соединения трубы и замковой части. На рисунке 1.1 показаны местоположение сварного шва и наплавки. Видно, что местоположение сварного соединения замковой части и тела бурильной трубы находится в непосредственной близости от области наплавки. Технологический процесс капитального ремонта бурильных замков помимо проведения наплавки, предусматривает перенарезание резьбовых соединений. Для этого замок укорачивается с торца на 30–35 мм и достраи-30

вается наплавкой эквивалентной ширины со стороны высаженной части. Таким образом, вступают в силу одновременно несколько факторов. Вопервых, резьбовая часть в наиболее опасном сечении (2–3 виток резьбы) попадает в область бывшего тела замка, имеющего отличную от резьбовой части микроструктуру за счет более высокой толщины основного металла тела замка. Во-вторых, в результате достраивания тела замка может происходить единовременное наплавление большого слоя наплавки (до 12 мм), что приводит к повышению ширины зоны термического влияния, а также к образованию областей рекристаллизации с заниженной твёрдостью. В-третьих, область достраивания наплавки с каждым новым ремонтом смещается всё ближе к сварному шву, что может привести к его разупрочнению. В этой связи встаёт вопрос оценки степени такого влияния на зону сварного соединения. Также большое значение имеет определение области разрушения (по трубе или по восстановленному замковому соединению) при воздействии нагрузки, превышающей пределы прочности и выносливости. Одним из путей, позволяющих сделать соответствующие выводы, является проведение стендовых испытаний на осевую нагрузку и усталость натурных образцов замковых соединений после восстановления.

1.5 Теоретические и технические аспекты построения математической тепловой модели процесса наплавки

Процесс наплавки является разновидностью сварки. Это сложный процесс, характеризующийся термическим взаимодействием нагревательного элемента и изделия в условиях постоянного тангенциального перемещения последнего. Эффективность данного процесса во многом определяется как материалом наплавки и температурным режимом её нанесения, так и целым комплексом физико–химических и тепловых явлений. Количество переменных величин, учитываемых в модели, напрямую определяет её точность, в тоже время создание полной модели бессмысленно, так как она будет столь же сложна, как и оригинал. В процессе наплавки сначала происходит резкое местное повышение температуры, а затем охлаждение с переменной скоростью. При этом воздействие комбинируется с учётом скорости и толщины наплавки, начальной температуры и других параметров. Наплавка сколь угодно малого по толщине слоя всегда характеризуется нагревом выше температуры плавления и образованием зоны термического влияния при охлаждении. Под зоной термического влияния принято понимать примыкающую к наплавленному слою зону основного металла с изменённой в процессе наплавки микроструктурой. Строение зоны термического влияния представлено на рисунке 1.7.



 T_{orn} – температура отпуска стали A_{c1} – начало α – γ превращения A_{c3} – конец α – γ превращения T_{nn} – температура плавления стали

наплавленный 1 2 3 основной X, м слой металл Рисунок 1.7 – Схематическое строение зоны термического влияния

Главной особенностью строения зоны термического влияния в данном случае является наличие зоны частичной, либо полной перекристаллизации (области 1–2 на рисунке 1.7), что обусловлено наличием полиморфного превращения в исходной стали. На участке полной перекристаллизации 1 максимальные температуры нагрева основного металла изменяются от температуры плавления до температуры А_{c3}, которая для стали является температурой окончания α–γ превращения.

На участке частичной перекристаллизации 2 основной металл нагревается выше температуры A_{c1} начала превращения перлита в аустенит. Структурные изменения на этом участке по сравнению с участком полной перекристаллизации оказывают не такое сильное отрицательное влияние на свойства наплавленного металла. Однако при определенном сочетании исходной структуры и условий нагрева и охлаждения при наплавке в этом участке может иметь место разупрочнение основного металла, обусловленное либо характером новых фаз, образующихся при последующем охлаждении, либо процессами в старых фазах при нагреве.

Наличие третьего участка (3 на рисунке 1.7) и тип структурных изменений в нем зависят от исходного состояния основного металла перед наплавкой. При наплавке отожженного металла третий участок в зоне термического влияния практически отсутствует. При наплавке сталей после упрочняющей термической обработки (в нашем случае «закалка и отпуск»), как правило, происходит разупрочнение. Оно обусловлено процессами распада пересыщенного твердого раствора и последующей коагуляцией упрочняющих фаз. Третий участок принято называть участком разупрочнения или рекристаллизации. Наиболее резкое разупрочнение металла обычно имеет место у границы этого участка с участком неполной перекристаллизации, где максимальные температуры нагрева близки к нижней критической точке фазового превращения A_{c1}. Поэтому основными параметрами термического цикла участка разупрочнения являются максимальная температура нагрева и длительность пребывания металла при наплавке выше температуры отпуска. Особый интерес к изучению процессов в зоне термического влияния обусловлен тем, что именно в ней, как правило, происходят наиболее резкие изменения структуры и свойств основного металла [70, 71].

Математическое моделирование тепловых процессов с использованием возможностей персональных компьютеров и специализированных пакетов программ даёт возможность в определённом приближении рассмотреть процесс без проведения дорогостоящего эксперимента, выявить принципиальные недостатки системы и своевременно ликвидировать их. В условиях развивающейся научно-технической базы такой подход имеет большой потенциал и одновременно остаётся при этом недоступным для среднестатистического инженерно-технического персонала в силу высокой сложности самих моделей и программно-аппаратных комплексов. Серьёзные профильные расчетные программы, к тому же, могут иметь весьма высокую рыночную стои-

мость лицензии. В связи с этим, в настоящее время набирает популярность направление математического моделирования, основанное на использовании унифицированных стандартных решений, интерпретированных в доступных программных средах.

В работах В.С. Рыбина [72-74] показано сочетание классической теории теплопроводности, заложенной Н.Н. Рыкалиным, и современных технологий. В работе [72] средствами MathCAD была дана численная оценка параметров сварочного процесса, влияющих на образование холодных трещин в зоне термического влияния. Использование вычислительных возможностей MathCAD позволило в оперативном порядке оптимизировать режим сварки с тем, чтобы предотвратить образование холодных трещин и исключить перегрев металла в зоне термического влияния. В других его работах [73, 74] была построена модель сварки под флюсом, позволяющая выполнять расчет режимов для графоаналитического расчета. Было изучено влияние геометрии шва на режимы сварки, определены зависимости площади наплавки от типа сварного соединения и толщины изделия для стыковых сварных соединений по ГОСТ 8713. В работах Бледновой Ж.М. [75] также как и в предыдущем случае для расчетов использовался программный комплекс MathCAD. По результатам расчетов были построены графики изменения температуры на разной глубине наплавленного слоя и стальной основы. Полученные результаты позволили выработать рекомендации по оптимизации технологических параметров лазерной наплавки. В работах Паршина С.Г. и Ивановой И.В. [76], в отличие от трудов вышеупомянутых исследователей, применялся более сложный специализированный пакет ANSYS Fluent. На основе численного решения двумерной задачи с учетом конфигурации сопла была построена математическая модель истечения струи защитного газа из сопла сварочной горелки при электродуговой сварке. При этом было зафиксировано удовлетворительное совпадение расчетных данных с экспериментальными. Недостатком данного пакета является прежде всего его сложность, а также наличия

специального образования и лицензии у оператора, что затрудняет его использование рядовыми материаловедами.

Упомянутые выше модели обладают широкой сферой практического применения, однако ключевым недостатком указанных работ является сложность их применения из-за учета слишком большого количества факторов и наличия высокой квалификации оператора в области прикладной математики и программирования. К примеру, во многих случаях оказывается достаточным приближенное определение скорости охлаждения без учета теплоотдачи в окружающую воздушную среду, что позволяет в целом упростить задачу при несущественном снижении точности результата. Применение такого более простого подхода в сочетании с легким использованием вычислительных возможностей MathCAD, позволяет достаточно быстро построить простую для понимания и практического использования тепловую модель на основе решений классической теории теплопроводности, учитывающую при этом только основные факторы. Данная задача является ключевой при построении тепловой модели в рамках настоящей работы.

1.6 Оценка температурных и остаточных напряжений в процессе электродуговой наплавки

Предварительный подогрев производится для уменьшения остаточных напряжений, которые возникают из температурных напряжений при наплавке. Рассмотрим влияние предварительного подогрева на температурные напряжения. В общем виде (механические свойства материала остаются постоянными в рассматриваемом интервале температуры), температурные напряжения связаны с деформацией материала соотношением [77]:

$$\sigma = E \cdot \epsilon \tag{1.1}$$

где: σ-температурные напряжения; Е – модуль Юнга; ε– температурная деформация.

При этом, температурная деформация є будет определяться как:

$$\varepsilon = \alpha \cdot \Delta T \tag{1.2}$$

где: а – средний коэффициент линейного расширения

ΔT – разность начальной и конечной температуры

Учитывая выражения 1.1 и 1.2, запишем формулу для определения температурных напряжений:

$$\mathbf{J} = \mathbf{E} \cdot \mathbf{\alpha} \cdot \Delta \mathbf{T} \tag{1.3}$$

Из формулы 1.3 видно, что даже небольшая разность температур может оказывать весьма значительное влияние на температурные напряжения. Температурные напряжения σ переходят в остаточные σ_{oct} в случае, если их величина будет больше величины предела текучести материала.

Нагрев замка при восстановлении наплавкой происходит неравномерно. Неравномерность нагрева характеризуется градиентом температуры, то есть производной $\frac{\partial T}{\partial x}$. Из определения усреднённого градиента температуры как отношения разницы температур на заданном удалении, т.е.

$$\operatorname{grad}(\mathrm{T}) = \frac{\Delta \mathrm{T}}{\Delta \mathrm{X}},$$
 (1.4)

где: ΔT – изменение температуры на удалении ΔX от стенки замка,

можно, путём подстановки 1.4 в 1.3, вывести отношение, связывающее градиент температуры и остаточные напряжения в стенке замка:

$$\sigma_{\text{oct}} = E \cdot \alpha \cdot \Delta X \cdot \text{grad}(T)$$
 (1.5)

Остаточные напряжения тем больше, чем больше градиент температуры в стенке замка. Поэтому, по расчетному значению градиента температуры можно судить о величине остаточных напряжений.

Экспериментальная оценка и снижение уровня остаточных напряжений играет особую роль, так как в случае восстановительного ремонта наплавкой сталей с ограниченной свариваемостью данные напряжения оказывают значительное влияние на весь спектр механических свойств. Существуют различные подходы к измерению остаточных напряжений. Анализ литературных источников [78–81] позволяет утверждать, что существующие методы измерения остаточных напряжений опираются в основной своей части на оценку степени механической деформации после разрушения образца. Из таких методов наибольшее распространение получили методы Г. Закса [82] и Н.Н. Давиденкова [83].
Метод Г. Закса заключается в изменении диаметра цилиндра посредством снятия слоёв расточкой и осевой деформации на внешнем или внутреннем радиусе соответственно. Данный метод позволяет определить одновременно окружные, радиальные и осевые остаточные напряжения. Недостатком метода Закса является высокая трудоёмкость, длительность, требовательность к точности оборудования и измерительному инструменту, а учитываемый уровень напряжений и деформации очень мал.

Метод Н.Н. Давиденкова отличается тем, что разрушение опытного образца ограничено лишь резкой цилиндра и измерением возникающего изменения его срединного диаметра, без последующего послойного удаления металла с внутренней поверхности, что позволяет значительно снизить трудоёмкость и длительность процесса. Недостатком метода является то, что оцениваются только окружные остаточные напряжения, а расчет производится из предположения, что напряжения распределены в стенке цилиндра по гиперболическому закону, как при изгибе кривого бруса. При этом справедливо ожидать, что распределение напряжений могло быть иным, и полученные результаты будут иметь погрешность, однако данных о величине этой погрешности недостаточно.

Интересный метод контроля напряжённого состояния (метод тензометрической релаксации) был предложен в Словении [84]. Экспериментальная установка для измерения остаточных напряжений включает пневматическое сверлильное устройство и тензометрический блок. Замер остаточных напряжений производится через сквозные просверленные отверстия.

Каждый из предложенных методов имеет свои достоинства и недостатки, однако наиболее подходящим, в нашем случае, является метод Давиденкова, так как метод Закса слишком сложен в части реализации, а метод тензометрической релаксации требует специального оборудования. При этом точность вычислений, получаемая посредством применения метода Давиденкова, достаточна для качественной оценки остаточных напряжений.

1.7 Задачи диссертационного исследования

Литературная проработка вопроса восстановления изношенных замковых соединений бурильных труб наплавкой показала наличие в российской практике большого количества различных подходов к реализации данного процесса. По результатам изучения существующих методов восстановления, наиболее подходящим был признан классический метод восстановления электродуговой наплавкой под флюсом. К достоинствам данного метода можно отнести его низкую себестоимость и простоту технической реализации. В связи с весьма суровыми условиями эксплуатации, высокой стоимостью изделий, возможными отклонениями от технологического регламента восстановления, отсутствием полноценного разрушающего контроля замка после восстановления, вопрос качественного ремонта замковых соединений бурильных труб в части восстановления геометрических размеров методом наплавки остаётся актуальным и требующим проведения соответствующих исследований.

Таким образом, целью настоящего диссертационного исследования было обеспечение требуемого уровня свойств замковых соединений бурильных труб после восстановления электродуговой наплавкой, на основе материаловедческих исследований влияния условий наплавки на химический состав, микроструктуру и механические свойства наплавленного слоя, прилегающей зоны термического влияния и основного металла.

В основу работы заложены результаты материаловедческих исследований восстановленных замковых соединений и влияния условий проведения наплавки на химический состав, микроструктуру и механические свойства наплавленного слоя и основного металла прилегающей зоны термического влияния. Для достижения поставленной цели был сформулирован ряд задач.

Во-первых, построение простейшей тепловой модели, связывающей температурное поле и градиент температуры в теле замка с характеристиками наплавленного слоя. Решение позволит не только сделать предварительные выводы о возможности корректировки режима нанесения наплавки в

части изменения температурно–временного режима и толщины наплавленного слоя, но и оценить влияние предварительного подогрева на уровень остаточных напряжений в зоне сплавления.

Во-вторых, определение типа и состава защитной среды (флюсов или газовой среды), обеспечивающей технологичность процесса наплавки. Состав защитной среды должен обеспечивать лёгкое удаление шлаковой корки в сочетании с надёжной защитой от поступления воздуха в область восстановления. При этом должна быть обеспечена комфортная дальнейшая механическая обработка.

В-третьих, исследование влияния температуры предварительного подогрева замка на уровень остаточных напряжений в зоне термического влияния. Снижение уровня остаточных напряжений играет особую роль, так как в случае восстановительного ремонта наплавкой сталей с ограниченной свариваемостью данные напряжения оказывают значительное влияние на весь спектр механических свойств. Также большой практический интерес представляет использование указаний сварочных кодексов в части температуры предварительного подогрева применительно к процессу восстановительного ремонта наплавкой.

В–четвёртых, исследование влияния толщины наплавляемого слоя на структуру и свойства металла замков после восстановительного ремонта, а также на формирование зоны термического влияния. Режим нанесения наплавки должен обеспечиваться, исходя из обеспечения минимально возможной ширины зоны термического влияния, а задача сводится к определению толщины единовременно наплавляемого слоя, позволяющего максимально производительно и при этом с минимальным влиянием на микроструктуру и свойства основного металла замка производить восстановительный ремонт.

В–пятых, оценка степени разупрочнения сварного шва бурильного замка и трубы в результате термического влияния наплавленного слоя. Необходимо проведение таких испытаний, которые позволили бы сделать выводы о работоспособности всего изделия – бурильной трубы в сборе с замковыми

частями. В этой связи остро встаёт вопрос оценки термического влияния наплавленного металла на степень разупрочнения области сварного шва. Также большое значение имеет определение области разрушения (по трубе или по восстановленному замковому соединению) при воздействии нагрузок, превышающих предел прочности и выносливости. Одним из путей, позволяющих сделать соответствующие выводы, является проведение стендовых испытаний натурных образцов замковых соединений после восстановления на осевую нагрузку и усталость.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Используемые для проведения исследования материалы и оборудование

Объектами исследования являлись восстановленные методом наплавки замковые соединения бурильных труб группы прочности "Д", изготовленные в соответствии с ГОСТ 27834–95 из стали 40ХМФА. Ремонт производился наплавочной проволокой НП–30ХГСА. Для проведения исследования отбирались образцы, соответствующие по химическому составу требованиям ГОСТ 4543–71. Требования к химическому составу к стали 40ХМФА и 30ХГСА изложены в ГОСТ 4543–71 и представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Требования к химическому составу наплавочной проволоки и металла замковых соединений бурильных труб

Manka atau	Содержание элементов, %										
Марка стали	С	Mn	Si	Cr	Mo	V	Ni	Cu	S	Р	
40ХМФА	0,37– 0,44	0,40– 0,70	0,17– 0,37	0,80– 1,10	0,20– 0,30	0,10– 0,18	<0,30		<0,025		
30ХГСА	0,28 – 0,34	0,8 – 1,10	0,90 – 1,20	0,80 – 1,10		_	<0,30		<0,	025	

Для наплавки были использованы керамический флюс ЭЛЗ–ФКН– 1/55(Б) [85] и плавленый флюс 48 ОФ–10 [86] по отдельности, а также в виде механической смеси в различных соотношениях. Наплавка производилась в условиях центра по ремонту бурильных труб, в соответствии с техническими условиями на ремонт. Для проведения металловедческого исследования было использовано оборудование Самарского государственного технического университета и Научно–исследовательского института разработки и эксплуатации нефтепромысловых труб. Химический состав стали определялся с использованием оптико–эмиссионного спектрометра СПАС 02. Испытания на одноосное растяжение проводились на разрывной машине Р–10М. Испытания на ударную вязкость проводились на маятниковом копре МК–30. Замер твёрдости проводился на твердомерах ТК–2М и ТШ–2М. Оценка микроструктурного состояния и её фотосъёмка проводилась на инвертированных микроскопах Leitz Wetzlar MM6 и Carl Zeiss Vert A1, а также с использованием электронного микроскопа Jeol Superprobe 733. Тепловая модель строилась на основе классической теории теплопроводности. Экспериментальная оценка остаточных напряжений проводилась по методике Давиденкова на кольцевых образцах. Численные расчеты производились с помощью математического пакета MathCad и Ansys. Натурные испытания восстановленных замковых соединений бурильных труб проводились на универсальных испытательных стендах УС–600 и СТ–20.

2.2 Методика определения химического состава на оптико– эмиссионном спектрометре СПАС–02

Принцип работы анализатора заключается в выбивании электронов с анализируемой поверхности электрическим разрядом, после чего они подсвечиваются в среде аргона. Каждый элемент имеет свой спектр излучения, которое улавливается прибором. Анализатор позволяет определить содержание легирующих элементов с точностью до 0,0001%. Замер проводился на каждом образце в трёх произвольных точках после предварительной зачистки поверхности абразивным кругом. Замеры производились в соответствии с требованиями ГОСТ 18895–97 [87]. При этом учитывались химические элементы, нормируемые ГОСТ 4543–71 для марки стали 40ХМФА. Испытаниям подлежали все используемые в исследовании образцы металла замковых соединений бурильных труб. Результаты испытаний являлись критерием отбраковки при принятии замкового соединения в ремонт.

2.3 Методика проведения испытаний на ударную вязкость на маятниковом копре МК-30

Испытания на ударную вязкость осуществлялись на образцах длиной 55 мм, толщиной и шириной по 10 мм с видом концентратора V с радиусом R 0,25 мм согласно ГОСТ 9454 – 78 [88]. При этом использовалась машина для испытаний на ударную вязкость маятникового типа МК–30. Полученная по результатам испытаний характеристика позволяла оценить пластические свойства материала, долю вязкой и хрупкой составляющей в изломе. Нали-

чие V–образного концентратора напряжения позволяло сделать вывод о величине напряжения, необходимого для развития трещины в изделии. Чертёж испытательного образца на ударную вязкость представлен на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – стандартный образец для испытаний на ударную вязкость Схема вырезки образцов из замковых соединений бурильных труб представлена на рисунке 2.2.



Ниппельная часть

Муфтовая часть

Рисунок 2.2 – Расположение и ориентация образцов для испытаний на ударную вязкость

Перед началом испытаний маятник взводится и закрепляется на подъемной раме. В процессе испытаний образец опирается на закаленные опоры, укрепленные на станине копра. Разрушение образца наступает посредством воздействия ножа маятника на образец с обратной стороны от надреза. Шкала прибора градуирована в кг[.]м, по ней можно определить запас энергии взведенного маятника и остаточный запас энергии после удара. Работа, затраченная на излом образца, определяется непосредственным вычитанием. Для получения статистической достоверности, испытаниям подвергались не менее трёх образцов от одного объекта исследования. Погрешность испытаний составляла ±1 % от измеряемого значения. За результат бралось среднее значение после проведения всех испытаний для данного объекта.

2.4 Методика проведения испытаний на одноосное растяжение на разрывной машине Р–10М

Разрывная машина P–10M оснащена блоком автоматического компьютерного управления ASTM Digital Testing Pro, что обеспечивало автоматизацию и высокий уровень точности и технологичности испытаний. Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 1497–84 [89] на продольных цилиндрических образцах в форме галтели (тип III), длиной 55 мм, диаметром 5 мм. Чертёж испытательного образца на одноосное растяжение представлен на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – стандартный образец для испытаний на одноосное растяжение Испытания заключаются в приложении осевой нормальной нарастающей нагрузки к испытательным образцам вплоть до их разрушения. Измерению подлежали параметры; предел прочности на разрыв σ_в, предел текучести σ_{0,2}, относительное удлинение δ и относительное сужение Ψ. Схема вырезки образцов из замков бурильных труб представлена на рисунке 2.4.



Ниппельная часть

Муфтовая часть

Рисунок 2.4 – Расположение и ориентация образцов для испытаний на одноосное растяжение

Для получения статистической достоверности, испытаниям подвергались не менее трёх образцов от одного объекта исследования. Погрешность испытаний составляла ±1 % от измеряемого значения. За результат испытаний принималось среднее значение после проведения всех испытаний для данного объекта.

2.5 Методика проведения замеров твёрдости на твердомерах ТШ–2М и ТК–2М

Для определения твёрдости, в поверхность материала с определённой силой вдавливался индентор, выполненный в виде, стального шарика или алмазного конуса. В зависимости от способа измерения твёрдости материала, количественно её характеризуют числом твёрдости по Бринелю (HB) или Роквеллу (HRC).

Испытания на твердость на твердомере ТШ–2М проводились по методу Бринеля, в соответствии с ГОСТ 9012–59 [90], по шкале НВ. Нагрузка составляла 3000 кг, индентор представлял собой стальной закалённый шарик, диаметром 10 мм. Время выдержки составляло 15 секунд. Схема замера твёрдости и расположение отпечатка представлено на рисунке 2.5.





После снятия нагрузки производился замер диаметра отпечатка и дальнейший пересчёт в число твёрдости по формуле. Отклонение значения на данном твердомере составляло ± 1%.

Испытания на твердость на твердомере ТК–2М проводились по методу Роквелла, в соответствии с ГОСТ 9013–59 [91], по шкале НRС. Маленький размер отпечатка позволял произвести значительно больше замеров, охватив помимо основного металла зону наплавки и зону термического влияния. Нагрузка составляла 150 кг, индентор представлял собой алмазный конус. После ручной подачи предварительной нагрузки прибор сам нагружал образец. Схема замера твёрдости представлена на рисунке 2.6.



Ниппельная часть

Муфтовая часть

Рисунок 2.6 – Схематическое расположение отпечатков при замере твёрдости на темплетах с ниппельной и муфтовой частей замкового соединения по методу Роквелла.

Результатом измерения служило число твёрдости, полученное со шкалы прибора. Отклонение значения на данном твердомере составляет ± 1%.

2.6 Методика проведения металлографического анализа

Оценка степени загрязнённости неметаллическими включениями металла объектов исследования производилась в соответствии с ГОСТ 1778–80 на нетравлёных продольных металлографических шлифах, изготовленных с зоны наплавки. Для анализа был использован металлографический инвертированный микроскоп Leitz Wetzlar MM6 с увеличением от 100 до 500 крат. Оценка микроструктуры металла, структурной полосчатости и ширины зоны термического влияния проводилось на поперечных металлографических микрошлифах методом сравнения со стандартными шкалами в соответствии с ГОСТ 8233–56 [92] и ГОСТ Р 54570–2011[93], после травления в реактиве 4% азотной кислоты (реактив травления состава: 4 мл азотной кислоты в 100 мл спирта). Для анализа был использован металлографический инвертированный микроскоп Carl Zeiss Vert A1 с программно–аппаратным комплексом автоматического анализа «Thixomet Pro» и рабочим увеличением от 50 до 1000 крат. Детальная оценка микроструктуры и её составляющих проводилась на растровом электронном микроскопе Jeol Superprobe 733.

2.7 Методика анализа остаточных напряжений

Экспериментальная оценка остаточных напряжений после восстановления замкового соединения при различных температурных режимах (с применением предварительного подогрева и без него) проводилась по методике Давиденкова. Ниппельные и муфтовые части замкового соединения были последовательно восстановлены наплавкой: сначала без применения, а затем с применением предварительного подогрева до 150 °C и 250°C. Из восстанов-46 ленных элементов были изготовлены кольца, которые затем были разрезаны с одной стороны. Чертёж кольца после реза представлен на рисунке 2.7. Схема распределения напряжений в кольцах представлена на рисунке 2.8.





Рисунок 2.7 – Чертёж опытного кольца после разрезки



Остаточные напряжения внутри колец до разрезки находятся в равновесии: суммы сил и моментов равны нулю. После разрезки равновесие сил и моментов нарушается, и кромки колец деформируются (в данном случае расходятся). Задача по определению остаточных напряжений сводится к определению нагрузки, которая восстанавливает цельность колец. Такими нагрузками в данном случае являются осевая сила Q и изгибающий момент M_0 , при совместном или раздельном воздействии, сжимающие кольцо в области разреза до соприкосновения кромок. Если для восстановления кольца необходимо приложить растягивающую силу, то осевые остаточные напряжения имеют знак "–", если сжимающую силу, то остаточные напряжения имеют знак "+". Качественная оценка влияния предварительного подогрева на уровень остаточных напряжений для разных температурных режимов нанесения наплавки была дана на основе сравнительного анализа полученных после вычисления значений осевых и изгибающих остаточных напряжений.

2.8 Методика проведения натурных испытаний на статическую осевую нагрузку

Натурные испытания на статическую осевую нагрузку проводились на универсальном испытательном стенде УС–600. В конструкцию стенда заложен принцип создания осевой растягивающей нагрузки четырьмя гидравлическими вертикальными домкратами, опирающимися на базовую плиту и имеющими верхнюю подвижную несущую плиту, опирающуюся на штоки домкратов. Испытываемый образец располагается вертикально между указанными плитами и соединяется с ними специальными переходниками – верхним и нижним. У каждого образца перед нарезкой резьбы от гладкого конца отрезается кольцевой образец длиной не менее 300 мм для лабораторных исследований по определению фактических характеристик металла.

При контроле труб перед испытаниями производится визуальный осмотр наружной поверхности, замер толщины стенки трубы с определением максимального и минимального значений. В резьбу образца, нарезанную на высаженном конце, свободном от замковой детали, плотно ввинчивают соединительный патрубок. Затем образец помещают в стенд таким образом, чтобы соединительный патрубок с ниппельной замковой резьбой был плотно ввернут в нижнюю плиту стенда, а с муфтовой – оперся на сменную планшайбу. Вводится в работу силовая гидравлическая система для создания осевой растягивающей нагрузки на образец и осуществляется запись хода нагружения штатным прибором стенда. Для определения фактической прочностной характеристики трубы в сборе с замком при воздействии осевой растягивающей нагрузки одного типоразмера труб должно быть подвергнуто испытанию не менее трех образцов. Результаты испытаний считаются положительными, если выполняется общепринятое для бурильных труб с приварными замками условие: произведение предела текучести сварного шва на номинальную площадь сечения сварного шва должно быть больше произведения минимального допустимого предела текучести на номинальную площадь поперечного сечения тела трубы.

2.9 Методика проведения натурных испытаний на выносливость

Натурные испытания на выносливость (циклическую усталость) проводились на испытательном стенде CT-20. В конструкцию стенда заложен принцип испытательных машин с инерционным возбуждением вращающимся неуравновешенным грузом. Для каждой серии испытаний одного типоразмера труб отбирается не менее 3 образцов прошедших заводской технический контроль. Образец помещают в стенд таким образом, чтобы торец замковой детали выступал в сторону привода на 20~25мм от торцевых клиньев. Фиксируется положение испытываемой трубы относительно замковой детали. Закрепленная в опорах стенда, труба три раза подвергается тарировке. По средним значениям нагрузки и стрелы прогиба строится тарировочный график по которому находится максимальная нагрузка упругой деформации, и по формуле (2.1) рассчитывается напряжение в опасном сечении испытываемой трубы. В зависимости от материала бурильных труб, первый образец испытывается при напряжении в опасном сечении трубы равном 20% от σ. Если при данном напряжении испытываемая труба выдержит менее 2 млн циклов, то для последующего испытания следует снизить величину напряжения на 1 $\kappa\Gamma/MM^2$.

$$\sigma = \frac{P}{6,28*(D/2-N)} \left(\frac{\kappa^2}{MM^2}\right)$$
(2.1)

где: Р – максимальная нагрузка упругой деформации, прилагаемая к образцу, кг;
 D – диаметр испытуемого образца в расчётном сечении, мм;
 N – толщина стенки испытуемого образца в расчётном сечении, мм.

Для подсчёта эквивалентной нагрузки используется обратная формула:

$$P = (\sigma - 1)^* 6,28^* (D/2 - N)(\kappa z)$$
(2.2)

Последующие образцы испытываются при напряжениях, уменьшаемых для каждого образца на 1 кг/мм² до тех пор, пока испытываемый образец не выдержит без разрушения базовое число циклов (7–9 млн) или не сломается при числе циклов, близком к базовому. В случае, если при первоначальном напряжении слом произойдет при числе циклов большем 2–3 млн., то в следующих образцах напряжение увеличивается на 1 кг/мм². Предел выносливо-

сти бурильной трубы в сборе с замковой деталью для данного типоразмера определяется по кривой Веллера. Для этого строится диаграмма в прямоугольных координатах, где по оси ординат откладываются напряжения в опасном сечении образца – $\sigma_{\rm T}$ кг/мм², а по оси абсцисс – число циклов Nx10⁶ в пропорциональном масштабе. Напряжение определяется по формуле:

$$\sigma = \frac{q \cdot r \cdot l \cdot \left(\frac{\pi n}{30}\right)^2}{g \cdot \frac{\pi D^3}{32} \left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right)} \left(\frac{\kappa 2}{MM^2}\right)$$
(2.3)

где: q – груз, подвешенный к консольному концу трубы, кг;

l – плечо-расстояние от точки приложения силы до опасного сечения образца, мм;

r – радиус вращения подвешенного груза, мм;

n- число оборотов подвешенного груза в минуту;

g – ускорение земного притяжения, 9810 мм/сек2

D – нормальный внутренний диаметр резьбы испытываемой трубы, мм;

d – внутренний диаметр испытываемой трубы

По полученным замерам производится пересчет напряжения в сечении

слома.

ГЛАВА 3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕС-СА НАГРЕВА СТЕНКИ ЗАМКА ПРИ НАПЛАВКЕ

3.1 Расчет нагрева стенки на стадии кристаллизации наплавляемого слоя

В случае восстановления замковых соединений бурильных труб имеет место многослойная наплавка короткими участками. Отличительной чертой данного метода является непрерывное суммирование тепловых полей при последовательном наложении слоев. Математическая модель наплавки в этом случае должна отражать динамику изменения таких переменных как толщина наплавки, скорость охлаждения, время выдержки, ширина зоны термического влияния (отпуска). Для применения аналитических методов расчёта математическая модель должна быть наиболее простой, учитывающей только самые существенные особенности процесса. В настоящей работе использован именно такой подход. При построении модели введен ряд допущений, что позволило значительно упростить задачу при сохранении возможности оценки температурного поля. Рассмотрен один цикл наплавки, когда плоский слой расплава металла определённой заданной толщины приводится мгновенно в тепловой контакт с холодным плоским слоем стенки замковой части бурильной трубы. При этом начинается теплопередача из расплава в стенку и перенос тепла в стенке путем теплопроводности. Теплопередача в окружающую среду не учитывалась, так как ее величина значительно меньше теплопередачи из расплава в стенку замковой части бурильной трубы.

При построении модели охлаждения наплавки рассмотрено несколько стадий. На первой стадии изучен нагрев стенки замковой части бурильной трубы в процессе кристаллизации расплава наплавленного слоя с постоянной температурой Т_{пл} по всему объёму расплава. Вследствие интенсивного тепловыделения из расплава в стенку замковой части бурильной трубы принимаем, что поверхность стенки на границе с наплавляемым слоем имеет ту же температуру, что и расплав: Т_{пов}=Т_{пл}, т.е. реализуются граничные условия 1–

го рода на поверхности стенки. На второй стадии происходит остывание закристаллизовавшегося слоя расплава, т.е. уменьшение его температуры $T \leq T_{nn}$, которую считаем постоянной по толщине слоя и также совпадающей с температурой поверхности стенки T_{nob} . Так как толщина зоны термического влияния (отпуска) значительно меньше толщины стенки, используем решение задачи о нагреве полубесконечного тела за счет теплопроводности с граничными условиями 1-го рода при постоянной температуре поверхности $T(0,t)=T_{nn}$. Тогда распределение температуры в стенке замка на первой стадии будет описываться формулой [94]

$$T(x,t) = T_0 + (T_{\pi\pi} - T_0) \cdot \left(1 - erf\left(\frac{x}{2 \cdot \sqrt{a \cdot t}}\right)\right), \quad \text{при } t \le t_1$$
(3.1)

где: $T(x,0)=T_0$ – начальная температура стенки;

 $T_{\mbox{\tiny пл}}$ – температура плавления материала наплавленного слоя;

erf – функция ошибки;

а – коэффициент температуропроводности материала стенки;

 х –координата рассматриваемой точки (расстояние до поверхности стенки);
 t – текущий момент времени (время от начала кристаллизации наплавленного слоя);

t₁- время кристаллизации наплавленного слоя.

Тепловой поток в стенку трубы из расплава на единице поверхности будет описываться следующим выражением [95]:

$$q = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c} \cdot \frac{T_{\text{пов}} - T_0}{\sqrt{\pi \cdot t}} \left(\frac{B_T}{M^2}\right).$$
(3.2)

где: λ – коэффициент теплопроводности материала стенки;

ρ – плотность материала;

с – удельная теплоемкость;

Т_{пов} – температура на поверхности стенки.

Количество тепла, поглощенное стенкой за время t на единице поверхности будет описываться выражением [95]:

$$Q = \int_0^t q(t) dt = \frac{2 \cdot \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c}}{\sqrt{\pi}} \cdot (T_{\Pi \pi} - T_0) \cdot \sqrt{t} \left(\frac{\Delta x}{M^2}\right).$$
(3.3)

Время первой стадии будет определяться из равенства тепла, поглощённого стенкой, количеству теплоты при полной кристаллизации наплавленного слоя ($L \cdot \rho \cdot h_{H}$). В целях упрощения расчётов было принято, что вся теплота кристаллизации перешла в стенку, поэтому количество теплоты, отданное в окружающую среду, не учитывалось:

$$\rho \cdot \mathbf{L} \cdot \mathbf{h}_{\mathrm{H}} = \frac{2 \cdot \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c}}{\sqrt{\pi}} \cdot (\mathbf{T}_{\mathrm{II},\mathrm{I}} - \mathbf{T}_{0}) \cdot \sqrt{\mathbf{t}} \left(\frac{\mathcal{A}_{\mathrm{H}}}{M^{2}}\right), \tag{3.4}$$

где: L – удельная теплота плавления (кристаллизации); h_н – толщина наплавки.

В выражении (3.4) время будет соответствовать времени протекания первой стадии t₁, т.е. времени, в течение которого происходит кристаллизация ванны расплава глубиной h_н на поверхности замкового соединения:

$$t_1 = \frac{\pi \cdot (\rho \cdot L \cdot h_{\rm H})^2}{4 \cdot \lambda \cdot \rho \cdot c \cdot (T_{\rm III} - T_0)^2}$$
 (c). (3.5)

В момент времени t_1 профиль температуры в стенке будет определяться формулой (3.1) при t=t₁. По температуре отпуска T_{orn} можно вычислить соответствующую координату x_{orn} , то есть оценить глубину отпущенного слоя с температурой от T_{nn} до T_{orn} на первой стадии нагрева стенки замка:

$$T(x, t_1) = T_0 + (T_{\Pi \Pi} - T_0) \cdot \left(1 - erf\left(\frac{x_{0 \Pi \Pi}}{2 \cdot \sqrt{a \cdot t_1}}\right)\right).$$
(3.6)

$$\frac{\mathrm{T}_{\mathrm{otn}}-\mathrm{T}_{0}}{\mathrm{T}_{\mathrm{n},\mathrm{n}}-\mathrm{T}_{0}} = 1 - \mathrm{erf}\left(\frac{\mathrm{X}_{\mathrm{otn}}}{2\cdot\sqrt{\mathrm{a}\cdot\mathrm{t}_{1}}}\right). \tag{3.7}$$

3.2 Расчет нагрева стенки на стадии остывания закристаллизовавшегося наплавленного слоя

На второй стадии ($t \ge t_1$) закристаллизовавшийся наплавленный слой отдаёт тепло стенке бурильного замка, остывает, увеличивая толщину прогретого слоя в стенке при непрерывном снижении температуры поверхности стенки.

$T_{\text{пов}}\left(t\right) \leq T_{\text{пл}}$ при $t \geq t_{1}$,

где: $T_{\mbox{\tiny пов}}(t)$ – температура на поверхности в процессе протекания второй стадии

Остывающий наплавленный слой отдаёт тепло стенке бурильного замка, увеличивая толщину прогретого слоя в стенке при непрерывном снижении температуры поверхности стенки $T_{nob}(t)$ при $t \ge t_1$. При этом профиль температуры в стенке будем считать определённым формулой (3.1), где вместо величины температуры плавления T_{nn} будет фигурировать величина температуры на поверхности $T_{nob}(t)$. Тогда тепловой поток в стенку на второй стадии будет определяться формулой:

$$q = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c} \cdot \frac{T_{\Pi OB} - T_0}{\sqrt{\pi \cdot t}} , \text{ при } t \ge t_1 \left(\frac{B_T}{M^2}\right). \tag{3.8}$$

Количество теплоты, отданное застывшим закристаллизовавшимся слоем наплавки при уменьшении температуры от T_{пл} до T_{пов} будет равно величине:

$$Q = \rho \cdot c \cdot (T_{\Pi \Lambda}(t) - T_{\Pi OB}) \cdot h_{H}, \quad \left(\frac{\Delta \varkappa}{\varkappa^{2}}\right)$$
(3.9)

Скорость изменения теплосодержания наплавленного слоя будет определять тепловой поток в стенку трубы:

$$\frac{\mathrm{dQ\,2}}{\mathrm{dt}} = \mathbf{q}.$$

Используя соотношение для дифференциального уравнения, связывающего изменение теплосодержания слоя наплавки (3.9) с тепловым потоком в стенку (3.8) получим исходное дифференциальное уравнение:

$$-c \cdot \rho \cdot h_{\rm H} \cdot \frac{dT_{\rm nob}(t)}{dt} = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c} \cdot \frac{T_{\rm nob}(t) - T_0}{\sqrt{\pi \cdot t}}$$
(3.10)

Разделяем переменные в этом дифференциальном уравнении:

$$\frac{dT_{\pi 0B}(t)}{T_{\pi 0B}(t)-T_{0}} = -\frac{\sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c} dt}{c \cdot \rho \cdot h_{H} \cdot \sqrt{\pi \cdot t}}$$

Интегрируя его, получим решение в общем виде для изменения температуры поверхности стенки во времени.

$$T_{\text{пов}}(t) - T_0 = C \cdot \exp(-\frac{1}{h_{\text{H}}} \cdot \sqrt{\frac{a}{\pi}} \cdot 2\sqrt{t_1} \frac{2\sqrt{a}}{h_{\text{H}}\sqrt{\pi}})$$

где: С – константа интегрирования, которая находится из условия T_{пов}=T_{пл} при t=t₁.

После нахождения С, конечное выражение для температуры поверхности во времени примет вид:

$$T_{\text{пов}}(t) = T_0 + (T_{\text{пл}} - T_0) \cdot \exp(-\frac{2\sqrt{a}}{h_H \sqrt{\pi}} \cdot (\sqrt{t} - \sqrt{t_1})), t \ge t_1$$
(3.11)

Подставляя это значение в выражение (3.1), получим формулу профиля температуры в стенке на второй стадии:

$$T(x,t) = T_0 + (T_{\text{пов}} - T_0) \cdot \left(1 - \text{erf}\left(\frac{x}{2 \cdot \sqrt{a \cdot t}}\right)\right), \quad \text{при } t \ge t_1$$
(3.12)

Ширину зоны отпуска можно оценить по координате х_{отп} с температурой отпуска Т_{отп}. В конце первой стадии толщина отпущенного слоя определяется формулой (3.7). Затем максимальная температура на поверхности стенки будет уменьшаться по формуле (3.11), в то время как толщина отпу-

щенного слоя будет возрастать. Однако, при приближении максимальной температуры на поверхности стенки к температуре отпуска, толщина отпущенного слоя будет уже уменьшаться. Это будет показано ниже при проведении конкретных расчетов.

Численные расчеты по приведенным формулам позволяют находить профили температуры в стенке в различные моменты времени, а также ширину зоны термического влияния (3TB) х_{отп}, за которую принимаем глубину отпущенного слоя с температурой от температуры поверхности стенки T_{пов} до температуры отпуска T_{отп}.

$$\frac{T_{\text{отп}} - T_0}{T_{\text{пл}} - T_0} = \exp\left(-\frac{2\sqrt{a}}{h_H\sqrt{\pi}} \cdot \left(\sqrt{t} - \sqrt{t_1}\right)\right) \cdot \left(1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x_{\text{отп}}}{2 \cdot \sqrt{a \cdot t_1}}\right)\right),$$
 при t ≥ t₁ (3.13)

Выражение (3.13) позволяет показать влияние начальной температуры Т₀ (температуры предварительного подогрева T₀) и толщины наплавки h_H на ширину зоны термического влияния.

Полученная тепловая модель отражает общие закономерности протекания процесса теплопередачи от расплава наплавляемого слоя к стенке, и далее, на второй стадии, от закристаллизовавшегося наплавленного слоя к стенке и позволяет оценить глубину прогрева изделия до заданной температуры, а также влияние на неё начальной температуры изделия перед наплавкой.

3.3 Расчёт для наплавленных слоёв различной толщины

Результаты расчетов по приведённым формулам для различных температур предварительного подогрева и толщин наплавленных слоёв представлены ниже. Для стали марки 40ХМФА использованы следующие значения теплофизических характеристик [96]:

 λ = 52 Вт/(м · °C) – коэффициент теплопроводности материала; ρ =7800 кг/м³ – плотность материала; c= 460 Дж/(кг · °C) – удельная теплоемкость; a=1,44 · 10⁻⁵м²/c – коэффициент температуропроводности; h_H =3, 6 и 9 мм – толщина наплавки; L = 2,70 · 10⁵ Дж/кг – удельная теплота плавления железа; T₀=25 °C – начальная температура; T_{3ак} = 860°C – температура закалки;

Т_{отп} = 450°С – температура отпускного охрупчивания.

Для указанной марки стали температура плавления может быть определена по выражению [97]:

 $T_{nn} = 1531 - \%C \cdot 73 - \%Si \cdot 12 - \%Mn \cdot 3 - \%Ni \cdot 3,5 - \%S \cdot 30 - \%P \cdot 30 - \%Cr \cdot 1 - \%Cu \cdot 3 - \%Mo \cdot 3,5 - \%V \cdot 3, (^{\circ}C);$

После подстановки переменных получим:

 $T_{\pi\pi} = 1531 - 0,40.73 - 0,27.12 - 0,55.3 - 0,3.3,5 - 0,025.30 - 0,025.30 - 0,95.1 - (-0,2.3) - 0,3.3,5 - 0,15.3 = 1491 (°C);$

Время t₁ протекания первой стадии для наплавок толщиной h_н находим из формулы (3.5):

$$\begin{split} & \text{Для } h_{\text{H}} = 3,0 \text{ мм}, \qquad t_1 = \frac{3,14 \cdot (7800 \cdot 2,70 \cdot 10^5 \cdot 3 \cdot 10^{-3})^2}{4 \cdot 52 \cdot 7800 \cdot 460 \cdot (1491 - 25)^2} = 0,1 \text{ (c)}; \\ & \text{Для } h_{\text{H}} = 6,0 \text{ мм}, \qquad t_1 = \frac{3,14 \cdot (7800 \cdot 2,70 \cdot 10^5 \cdot 6 \cdot 10^{-3})^2}{4 \cdot 52 \cdot 7800 \cdot 460 \cdot (1491 - 25)^2} = 0,3 \text{ (c)}; \\ & \text{Для } h_{\text{H}} = 9,0 \text{ мм}, \qquad t_1 = \frac{3,14 \cdot (7800 \cdot 2,70 \cdot 10^5 \cdot 9 \cdot 10^{-3})^2}{4 \cdot 52 \cdot 7800 \cdot 460 \cdot (1491 - 25)^2} = 0,7 \text{ (c)}. \end{split}$$

Затем найдём координаты в стенке х при достижении температуры отпуска, в момент окончания первой стадии для каждой толщины наплавки. Вычисляя функцию ошибок для T_{отп}=450°C, приводим выражение 3.7 к виду:

$$x_{oth} = 1,3 \cdot \sqrt{a \cdot t_1}$$

Из него найдём:

для
$$t_1=0,1$$
 (c), $x_{\text{отп}} = 1,3 \cdot \sqrt{1,44} \cdot 10^{-5} \cdot 1 = 0,0018$ (м) = 1,8 (мм)
для $t_1=0,3$ (c), $x_{\text{отп}} = 1,3 \cdot \sqrt{1,44} \cdot 10^{-5} \cdot 0,3 = 0,0031$ (м) = 3,1 (мм)
для $t_1=0,7$ (c), $x_{\text{отп}} = 1,3 \cdot \sqrt{1,44} \cdot 10^{-5} \cdot 0,7 = 0,0047$ (м) = 4,7 (мм)

Графически данное решение представлено на рисунке 3.1. На рисунке 3.1 приведены профили температуры (3.6), в момент окончания первой стадии для разных толщин наплавки. Видно, что, толщина зоны термического влияния в конце первой стадии при толщине наплавки 3 мм будет составлять 1,8 мм, при толщине наплавки 6 мм будет составлять 3,1 мм, при толщине наплавки 9 мм будет составлять 4,7 мм. Таким образом, с уменьшением толщины наплавленного слоя закономерно уменьшается и ширина зоны термического влияния. Температура, °С

ки



Рисунок 3.1 – Профили температуры на первой стадии для разных толщин наплав-

Далее из формулы (3.11) найдём время t_{orn} для каждой толщины наплавки $h_{\rm H}$, за которое температура поверхности $T_{\rm nob}(t)$ достигнет температуры отпуска $T_{\rm orn}$:

$$t_{oTIII} = (\sqrt{t_1} + 279,5 \cdot h_n)^2.$$

$$t_{oTIII} = (\sqrt{0,1} + 279,5 \cdot 0,003)^2 = 1,3 \text{ (c)};$$

$$t_{oTIII2} = (\sqrt{0,3} + 279,5 \cdot 0,006)^2 = 5 \text{ (c)};$$

$$t_{oTIII3} = (\sqrt{0,7} + 279,5 \cdot 0,009)^2 = 11,3 \text{ (c)}.$$

Таким образом, температура на поверхности на второй стадии будет уменьшаться в интервалах времени (t₁- t_{отп}):

Для наплавки толщиной 3 мм, $t_1 = (0, 1-1, 3)$ с;

Для наплавки толщиной 6 мм, $t_1 = (0,3-5)$ с;

Для наплавки толщиной 9 мм, $t_1 = (0,7-11,3)$ с.

В качестве примера выделим в каждом из временных интервалов десять точек и для каждой проведём расчет температуры поверхности. Результаты вычислений температуры поверхности изделия в процессе остывания наплавок различной толщины представлены в таблице 3.1.

Подставляя полученную температуру поверхности в данный момент времени в формулу (3.11), можно построить соответствующий профиль температуры в стенке для каждого расчётного случая, из которого при известной температуре поверхности можно легко найти значение температуры на заданной глубине в заданном временном интервале. Шаг расчетной координаты в стенке х подбирался с учётом толщины максимальной зоны термического влияния х_{отп,} вычисленной ранее и принят для всех рассматриваемых случаев равным 0,0005 м.

	Интервал t	₁ (h _н = 3 мм)	Интервал (t ₂ (h _н =6 мм)	Интервал t ₃ (h _н =9 мм)		
JN≌ 11/11	t, c	Т _{пов} (t), ^о С	t, c	Т _{пов} (t), ^о С	t, c	Т _{пов} (t), ^о С	
1	0,1	1491	0,3	1491	0,7	1491	
2	0,2	1185	0,8	1160	1,8	1172	
3	0,4	1002	1,3	973	2,9	987	
4	0,5	872	1,9	843	4,0	856	
5	0,6	772	2,4	745	5,1	757	
6	0,8	693	2,9	667	6,2	678	
7	0,9	627	3,4	603	7,3	613	
8	1,0	572	3,9	550	8,4	558	
9	1,1	515	4,5	504	9,5	511	
10	1,3	457	5	465	10,6	452	

Таблица 3.1 – Динамика изменения температуры поверхности изделия в процессе остывания наплавки

Вторая стадия заканчивается, когда достигается максимальная толщина прогретого слоя с температурой, превышающей температуру отпуска. На рисунках 3.2–3.4 представлены профили температуры для наплавленных слоев толщиной 3, 6 и 9 мм. Из рисунков 3.2–3,4 видно, что с уменьшением температуры поверхности, глубина прогрева стенки замка увеличивается, а затем, по мере остывания изделия, начинает уменьшаться. Таким образом, максимальная ширина зоны отпуска, сокращается с 6,8 до 2,2 мм с уменьшением толщины наплавки с 9 до 3 мм.



Рисунок 3.2 - Профили температуры в стенке замка при толщине наплавленного слоя 3 мм



Рисунок 3.3 – Профили температуры в стенке замка при толщине наплавленного слоя 6 мм



Рисунок 3.4 – Профили температуры в стенке замка при толщине наплавленного слоя 9 мм

Полученные профили температуры могут быть построены для любого количества характеристических точек и любого, сколь угодно малого размера шага координаты в стенке. Для нахождения максимальной ширины зоны отпуска выразим х^м_{отп} из формулы (3.13) в различные моменты времени. Функцию ошибок находим по таблице, и подставляя каждое из решений, находим корни уравнения для каждого принятого момента времени t. Графическое решение уравнения представлено на рисунке 3.5.





Экстремумы представленных графиков характеризуют координату в стенке, в которой температура достигает величины температуры отпуска. Из рисунка 3.5 видно, что максимальной глубиной отпуска для наплавленного слоя толщиной 3 мм, будет глубина 2,2 мм, для наплавленного слоя толщиной 6 мм – 4,6 мм, а для наплавленного слоя толщиной 9 мм – 6,8 мм. Графически зависимость толщины отпущенного слоя от толщины наплавки представлена на рисунке 3.6.



Рисунок 3.6 – Зависимость толщины отпущенного слоя от толщины наплавки В обобщенном виде эту зависимость можно записать так:

$$x_{0TII}^{M} = 0,567 \cdot h_{H}$$
 (3.14)

Результаты аналогичного расчета по приведённым формулам для различных температур предварительного подогрева T₀, с толщиной наплавленного слоя 9 мм представлены на рисунке 3.7.





Рисунок 3.7 – Зависимость ширины ЗТВ от наличия предварительного подогрева Из рисунка 3.7 видно, что ширина зоны термического влияния сначала растёт, достигая максимального значения х^м_{отп}, а затем падает.

Градиент температуры на поверхности стенки замка может быть выражен из соотношений (3.8) и (3.10):

$$\frac{\partial \mathbf{T}}{\partial x} = -\frac{\mathbf{q}}{\lambda} = \frac{\mathbf{c} \cdot \boldsymbol{\rho} \cdot \mathbf{h}_{\mathrm{H}}}{\lambda} \cdot \frac{d T_{nos}(t)}{dt}$$
(3.14)

Где $\frac{dT_{nob}(t)}{dt}$ определяет скорость охлаждения при наплавке и находится путём дифференцирования (3.11):

$$\frac{dT_{no6}(t)}{dt} = -\frac{(T_{\pi\pi} - T_0)\cdot\sqrt{a}}{h_{\rm H}\cdot\sqrt{\pi}\cdot\sqrt{t}}\cdot\exp(-\frac{2\sqrt{a}}{h_{\rm H}\sqrt{\pi}}\cdot\left(\sqrt{t} - \sqrt{t_1}\right)); \qquad (3.15)$$

Знак минус производной в выражении (3.19) показывает, что температура поверхности уменьшается во времени. В термической обработке используются абсолютные значения скорости охлаждения, поэтому знаком можно пренебречь. После подстановки (3.15) в (3.14) и преобразований выражение (3.13) примет вид:

$$\frac{\partial \mathbf{T}}{\partial x} = -\frac{\mathbf{T}_{\mathrm{nn}} - \mathbf{T}_{0}}{\sqrt{\mathbf{a} \cdot \mathbf{n} \cdot t}} \cdot \exp\left(-\frac{2\sqrt{\mathbf{a}}}{\mathbf{h}_{\mathrm{H}}\sqrt{\mathbf{a}}} \cdot \left(\sqrt{\mathbf{t}} - \sqrt{\mathbf{t}_{1}}\right)\right)$$
(3.16)

Полученное выражение отражает зависимость градиента температуры на поверхности стенки, ^оС/м, от толщины наплавки, м и момента времени t, c.

Для $t = t_1$, когда градиент температуры максимальный и выражение (3.16) будет иметь вид:

$$\frac{\partial \mathbf{T}}{\partial x} = -\frac{\mathbf{T}_{\mathrm{nn}} - \mathbf{T}_{0}}{\sqrt{\mathbf{a} \cdot \mathbf{r} \cdot \mathbf{t}_{1}}} \tag{3.17}$$

Если учесть соотношение (3.4) для времени окончания первой стадии t₁, получим:

$$\frac{\partial \mathbf{T}}{\partial x} = -\frac{2 \cdot (\mathbf{T}_{\Pi\Pi} - \mathbf{T}_0)^2 \cdot \mathbf{c}}{\pi \cdot \mathbf{L} \cdot \mathbf{h}_{\mathrm{H}}}$$
(3.18)

Из выражения (3.18) видно, что градиент температуры имеет сильную квадратичную зависимость от начальной температуры или температуры предварительного подогрева T_{0} . Чем меньше разница T_{nn} и T_{0} , тем меньше градиент температуры. Этим и объясняется влияние предварительного подогрева на уменьшение величины остаточных напряжений.

Отношение градиентов температур для различных начальных температур T₀₁ и T₀₂ будет определяться формулой:

$$\frac{(\partial T/dx)_2}{(\partial T/dx)_1} = \frac{(T_{nn} - T_{0,2})^2}{(T_{nn} - T_{0,1})^2}.$$
(3.19)

Результаты расчетов изменения градиента температуры в зависимости от температуры предварительного подогрева до 150, 250 и 350 °C при Т_{пл}=1491°C представлены на рисунке 3.8.



Рисунок 3.8 – Зависимость градиента температуры от предварительного подогрева То

Из рисунка 3.8 видно, что введение предварительного подогрева в теории приводит к значительному росту температурных напряжений с одной стороны и одновременному снижению градиента температуры на поверхности в процессе наплавки с другой [97]. Пока существует градиент температуры, т.е. температура прогрева металла в процессе наплавки превышает температуру изделия после предварительного подогрева, применение предварительного подогрева целесообразно и должно приводить к уменьшению остаточных напряжений.

3.4 Выводы

1. На основе классической теории теплопроводности построена тепловая модель процесса нагрева стенки замка при наплавке, включая стадии теплопередачи от расплава наплавляемого слоя к стенке замка, а затем от закристаллизовавшегося наплавленного слоя к стенке замка. Её отличительной особенностью является простота построения и использования в инженерных расчетах. 2. Практическая значимость полученной тепловой модели заключается в возможности проведения приближенной оценки температурного поля в процессе, и остаточных напряжений после проведения наплавки в зависимости от температуры на поверхности, толщины наплавленного слоя и начальной температуры изделия перед восстановлением.

3. Построение данной модели позволяет приближенно оценить возможность корректировки режима проведения наплавки, а также влияние предварительного подогрева на уровень остаточных напряжений.

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРО-ЦЕССА НАНЕСЕНИЯ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА НАПЛАВКИ

4.1 Влияние защитной среды при восстановлении замковых соединений бурильных труб

Для исследований влияния состава защитной среды на комплекс физико-механических свойств и микроструктурное состояние металла замка после наплавки были отобраны пять ниппельных фрагментов замковых соединений бурильных труб группы прочности "Д", изготовленных в соответствии с ГОСТ 27834–95 из стали 40ХМФА. На каждом объекте было произведено по две опытных наплавки. Наплавка производилась в условиях центра по ремонту бурильных труб, на наплавочном комплексе, без реализации предварительного подогрева, под плавленым флюсом 48ОФ–10 и керамическим флюсом ЭЛЗ–ФКН–1/55(Б) по отдельности, а также в различных соотношениях наплавочной проволокой Нп–30ХГСА. Также была проведена опытная наплавка в газовой среде без использования флюсов. Толщина наплавки регулировалась посредством изменения технологических параметров процесса, а также варьированием диаметра наплавочной проволоки и составляла не более 9–10 мм на диаметр (4–5мм на сторону) за один проход. Внешний вид объектов исследования представлен на рисунке 4.1.

На рисунке 4.1 (а) приведён образец, восстановленный в среде плавленого флюса 48ОФ–10 (наплавка 1), а также в среде смеси плавленого флюса 48ОФ–10 и керамического флюса ЭЛЗ–ФКН–1/55(Б) в соотношении 4:1 (наплавка 2).

На рисунке 4.1 (б) приведён образец, восстановленный в среде смеси плавленого флюса 480Ф–10 и керамического флюса ЭЛЗ–ФКН–1/55(Б) в соотношении 3:1 (наплавка 3), а также среде смеси плавленого флюса 480Ф–10 и керамического флюса ЭЛЗ–ФКН–1/55(Б) в соотношении 2:1 (наплавка 4).

На рисунке 4.1 (в) приведён образец, восстановленный в среде смеси плавленого флюса 480Ф–10 и керамического флюса ЭЛЗ–ФКН–1/55(Б) в соотношении 1:1 (наплавка 5), а также в среде смеси плавленого флюса 480Ф– 10 и керамического флюса ЭЛЗ-ФКН-1/55(Б) в соотношении 1:4 (наплавка 6).

На рисунке 4.1 (г) приведён образец, восстановленный в среде смеси плавленого флюса 480Ф–10 и керамического флюса ЭЛЗ–ФКН–1/55(Б) в соотношении 1:3 (наплавка 7), а также в среде смеси плавленого флюса 480Ф–10 и керамического флюса ЭЛЗ–ФКН–1/55(Б) в соотношении 1:2 (наплавка 8).

На рисунке 4.1 (д) приведён образец, восстановленный в среде керамического флюса ЭЛЗ–ФКН–1/55(Б) (наплавка 9), а также в среде углекислого газа (наплавка 10).



Рисунок 4.1 – Образцы, восстановленные в различных защитных средах Результаты проведения химического анализа основного металла приведены в таблице 4.1. Из таблицы 4.1 видно, что по химическому составу металл всех образцов соответствует стали марки 40ХМФА, т.е. исследуемые замки соответствуют требованиям в части ремонтопригодности.

N⁰	Защитная	Содержание элементов, %									
п/п	среда	С	Mn	Si	Cr	Mo	V	Ni	Cu	S	Р
1	Б	0,38	0,57	0,28	0,91	0,25	0,12	0,17	0,12	0,008	0,016
2	Б4/С1	0,40	0,48	0,27	0,95	0,25	0,17	0,15	0,13	0,008	0,015
3	Б3/С1	0,38	0,52	0,23	1,02	0,25	0,18	0,17	0,14	0,009	0,014
4	Б2/С1	0,40	0,56	0,25	1,02	0,23	0,15	0,13	0,14	0,007	0,016
5	Б1/С1	0,44	0,46	0,24	0,96	0,22	0,12	0,05	0,16	0,008	0,014
6	Б1/С2	0,38	0,50	0,30	0,97	0,28	0,17	0,19	0,12	0,018	0,012
7	Б1/С3	0,39	0,65	0,24	0,92	0,27	0,16	0,05	0,14	0,009	0,016
8	Б1/С4	0,42	0,58	0,32	0,90	0,23	0,13	0,12	0,15	0,009	0,009
9	С	0,42	0,51	0,22	1,00	0,28	0,12	0,17	0,14	0,009	0,016
10	УГ	0,44	0,46	0,24	0,96	0,22	0,12	0,05	0,16	0,008	0,014
4(Сталь)ХМФА	0,37- 0,44	0,40- 0,70	0,17– 0,37	0,80– 1,10	0,20- 0,30	0,10- 0,18	<0	,30	<0,	025

Таблица 4.1 – Химический состав металла исследуемых образцов

Исследование влияния защитной среды производилось путём сравнения экспериментально полученных данных по механическим свойствам и металлографическим параметрам структуры восстановленных замковых соединений между собой и с данными нормативных документов на новую продукцию (ГОСТ 27834–95). Результаты оценки технологичности процесса наплавки приведены в таблице 4.2.

	Габлица 4.2 –	Оценка	технологи	чности	процесса
--	---------------	--------	-----------	--------	----------

~

№ п/п	Защитная среда	Твёрдость наплавки, ед. НВ (300–355)	Выявленные замечания
1	Б	252	Шлаковая корка удаляется не полностью и только после
2	Б4/С1	263	застывания. Твёрдость наплавки ниже регламентируемой
3	Б3/С1	270	Шлаковая корка сложно удаляется в процессе наплавки.
4	Б2/С1	282	Твёрдость наплавки значительно ниже регламентируемой
5	Б1/С1	298	Шлаковая корка легко удаляется. Твёрдость наплавки
6	Б1/С2	300	на нижнем регламентируемом уровне.
7	Б1/С3	383	Шлаковая корка не нуждается в принудительном удале-
8	Б1/С4	395	нии. Наплавленный слой имеет высокую поверхностную
9	С	405	твёрдость, механическая обработка затруднительна
10	УГ	295	Сильное разбрызгивание металла в процессе наплавки. Твёрдость наплавки ниже регламентируемого уровня

Из данных таблицы 4.2 видно, что повышение концентрации в смеси керамического флюса ЭЛЗ–ФКН–1/55(Б) сопровождается значительным ростом твёрдости поверхностного слоя металла наплавки. Наилучшие показатели в части обеспечения технологичности процесса нанесения наплавки были получены при использовании смеси флюсов 48ОФ–10 и ЭЛЗ–ФКН–1/55(Б) в соотношениях 1:1 и 1:2. При использовании в качестве защитной среды углекислого газа необходимость в удалении шлаковой корки отпадает, однако процесс наплавки сопровождается интенсивным разбрызгиванием металла. Результаты проведения химического анализа металла наплавки приведены в таблице 4.3. и на рисунке 4.2.

N⁰	Защитная	Содержание элементов, %										
п/п	среда	С	Mn	Si	Cr	Mo	V	Ni	Cu	S	Р	
1	Б	0,34	0,67	0,50	0,56	0,02	0,01	0,28	0,18	0,020	0,017	
2	Б4/С1	0,34	0,73	0,55	0,67	0,02	0,01	0,65	0,12	0,020	0,010	
3	Б3/С1	0,31	0,74	0,54	0,77	0,02	0,01	0,75	0,11	0,010	0,010	
4	Б2/С1	0,34	0,77	0,56	0,79	0,03	0,01	0,79	0,13	0,010	0,010	
5	Б1/С1	0,32	0,78	0,58	0,80	0,03	0,01	0,80	0,13	0,010	0,010	
6	Б1/С2	0,33	0,84	0,56	0,80	0,03	0,01	0,78	0,12	0,020	0,010	
7	Б1/С3	0,32	0,86	0,58	0,85	0,06	0,01	0,85	0,12	0,010	0,010	
8	Б1/С4	0,32	0,90	0,70	0,89	0,10	0,02	0,91	0,10	0,010	0,020	
9	С	0,39	0,99	0,60	0,90	0,13	0,02	1,1	0,13	0,010	0,010	
10	УГ	0,29	0,95	0,50	0,79	0,00	0,00	0,11	0,05	0,007	0,005	
Сталь ЗОХГСА		0,28 - 0,34	0,8 – 1,10	0,90 - 1,20	0,80 – 1,10	_	_	<0,30		<0,	025	
	I									—]	5	
1,2	2	—————————————										
1	l 					$-\mathbf{A}$				— I	53/C1	
0.8	3	—Б2/С1										

Таблица 4.3 – Химический состав металла наплавки исследуемых образцов



Рисунок 4.2 – Содержание легирующих элементов в поверхностном слое наплавки

Из данных таблицы 4.3 и рисунка 4.2 можно сделать вывод, что наибольшей легирующей способностью обладает керамический флюс ЭЛЗ– ФКН–1/55(Б), чем и объясняется рост поверхностной твёрдости наплавленного слоя с повышением концентрации данного флюса в смеси. Результаты определения механических характеристик металла исследуемых образцов представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Механические характеристики металла образцов, восстановленных наплавкой в различных защитных средах

N⁰	Защитная среда	Ис одноос	пытания н ное растяж	іа кение	Испытания на	Твердость, НВ		
п/п		σ _в , МПа	σ _т , МПа	δ, %	ударный изгио, кДж/м ² , КСV	Тело замка	Поверхность наплавки	
1	Б	830	671	21	378	256	252	
2	Б4/С1	839	682	21	420	245	263	
3	Б3/С1	892	718	19	491	246	270	
4	Б2/С1	899	642	18	559	246	282	
5	Б1/С1	905	734	16	738	271	298	
6	Б1/С2	919	754	14	674	260	300	
7	Б1/С3	927	688	14	543	262	383	
8	Б1/С4	927	667	12	454	265	395	
9	С	961	733	11	330	272	405	
10	УГ	848	651	20	417	277	295	
ГОСТ 27834– 95		≥981	≥832	≥13	≥589	30	0–355	

Данные таблицы 4.4 свидетельствуют о том, что ни один из объектов исследования не соответствует в полной мере всем требованиям ГОСТ 27834–95 в части механических свойств, однако несколько лучшие показатели по сравнению с остальными образцами были отмечены у образца с маркировкой Б1/С1, восстановленного под смесью флюсов ЭЛЗ–ФКН–1/55(Б) и 48 ОФ–10 в соотношении 1:1. В условиях ЦРБТ контролируется только твёрдость наплавленного слоя. Важным фактором является то, что контролируемая твёрдость поверхности наплавленного соединения. Согласно полученным данным, несколько образцов восстановленных замковых соединений, в условиях ЦРБТ, могут пройти контроль и быть допущены к эксплуатации. При

этом твёрдость основного металла значительно ниже контролируемой твердости поверхности, что находит подтверждение в результатах остальных механических испытаний [98]. Результаты анализа структурных параметров и загрязненности металла объектов исследования неметаллическим включениями представлены в таблице 4.5.

№ п/п	Защитная среда	Оксиды точечные	Оксиды строчечные	Сульфиды	Ширина ЗТВ, мм	Микроструктура
1	Б	4б.	3б.	5б.	9–10	Литая дендритная структура
2	Б4/С1	4б.	3б.	5б.	8–9	Литая дендритная структура
3	Б3/С1	36.	3б.	4б.	7–8	Сорбит, феррит и перлит
4	Б2/С1	36.	2б.	2б.	6–7	Сорбит, феррит и перлит
5	Б1/С1	36.	1б.	2б.	6–7	Сорбит и бейнит
6	Б1/С2	2б.	1б.	2б.	5-6	Сорбит и бейнит
7	Б1/С3	26.	1б.	3б.	5-6	Сорбит и бейнит
8	Б1/С4	26.	1б.	2б.	5-6	Бейнит и сорбит
9	С	26.	1б.	2б.	5-6	Бейнит и сорбит
10	УГ	16.	26.	16.	6–7	Сорбит, феррит и перлит

Таблица 4.5 – Металлографический анализ исследуемых образцов

Из таблицы 4.5 видно, что металл всех объёктов исследования загрязнён неметаллическими включениями, причём степень загрязнённости повышается с увеличением количества плавленого флюса 48–ОФ–10 в смеси, что может быть связано с некачественным удалением шлаковой корки в процессе наплавки. Наилучшие показатели в части чистоты металла наплавки были зафиксированы в образце, восстановленном в газовой защитной среде. Ширина зоны термического влияния варьируется от 5 до 10 мм. Наименьшая ширина зоны термического влияния была зафиксирована в образце, восстановленном в среде керамического флюса ЭЛЗ–ФКН–1/55(Б). Микроструктура всех объектов исследования состоит преимущественно из сорбита с отдельными участками бейнита, феррита и пластинчатого перлита. Наиболее приближенная к исходной микроструктура наплавки, состоящая из сорбита и нижнего бейнита, была обнаружена в образце с маркировкой Б1/С1. Образец с маркировкой Б имеет литую микроструктуру наплавки с ярко выраженным дендритным строением, образец с маркировкой С имеет микроструктуру
нижнего бейнита и сорбита. Образец с маркировкой УГ имеет микроструктуру сорбита, бейнита и перлита и отличается высокой пористостью. Фотографии описываемых микроструктур представлены на рисунках 4.3–4.6.



Рисунок 4.3 – Микроструктура наплавки образца с маркировкой Б1/С1



Рисунок 4.4 – Микроструктура наплавки образца с маркировкой Б



Рисунок 4.5 – Микроструктура наплавки образца с маркировкой С



Рисунок 4.6 – Микроструктура наплавки образца с маркировкой УГ По совокупности исследованных характеристик с учетом условий и предложенной толщины наплавленного слоя, составляющей 9–10 мм, было установлено, что наилучшие результаты показал образец наплавки с маркировкой Б1/С1, восстановленный под смесью керамического флюса ЭЛЗ–

ФКН-1/55(Б) по ТУ 1718-051-11142306-2007 и флюса 48 ОФ-10 по ОСТ 5 P.9206-75 в соотношении 1:1 [99].

4.2 Влияние температуры предварительного подогрева при восстановлении замковых соединений бурильных труб

Для исследования влияния режимов предварительного подогрева на комплекс физико–механических свойств и микроструктурное состояние были отобраны шесть образцов (три замковых соединения бурильных труб, образованных ниппелем и муфтой) группы прочности "Д", изготовленных в соответствии с ГОСТ 27834–95 из стали 40ХМФА. Ремонт производился под смесью флюсов ЭЛЗ–ФКН–1/55(Б), 48 ОФ–10 в соотношении 1:1, наплавочной проволокой Нп–30ХГСА. Наплавка производилась в условиях центра по ремонту бурильных труб (ЦРБТ), на наплавочном комплексе, без реализации, а также с реализацией предварительного подогрева до 150°С, 250°С и 350°С. Подогрев изделий проводился двумя способами – при помощи ручной газовой горелки и при помощи индуктора. При этом непрерывно осуществлялся мониторинг температуры прогрева изделий фотопирометром.

В ходе работы опытным путём было установлено, что подогрев изделия до температуры 350°С, значительно снижает вязкость флюса, что делает его жидкотекучим. В результате флюс стекает по образующей замка, что делает невозможным его использование. Кроме того, процесс предварительного подогрева до 350°С в ручном режиме отличается высокой энергоёмкостью и низкой производительностью из-за высокой теплоотдачи в помещение цеха, в связи с чем было решено отказаться от проведения данного опыта. Таким образом, исследования были проведены на образцах, восстановленных при температуре цеха, а также с предварительным подогревом до 150°С и 250°С в ручном режиме газовой горелкой и с использованием индуктора. Толщина наплавки регулировалась посредством изменения технологических параметров процесса, а также путём варьирования диаметра наплавочной проволоки и составляла не более 9–10 мм на диаметр (4–5мм на сторону) за один проход. Во всех случаях флюс подвергали предварительной прокалес

75

при температуре 350 °C для удаления влаги. Внешний вид испытательных образцов после наплавки и обработки, представлен на рисунке 4.7 (а-е).







д) Образец с наркировкой M₂₅₀

е) Образец с наркировкой Н₂₅₀

Рисунок 4.7 – Образцы после восстановления геометрических параметров, выполненного на разных режимах

Образцы с условной маркировкой М_{бп} и Н_{бп} были восстановлены без применения предварительного подогрева. Внешний вид образцов представлен на рисунке 4.7 (а, б).

Образцы с условной маркировкой M₁₅₀ и H₁₅₀ были восстановлены с применением предварительного подогрева до температуры 150 °C. Подогрев осуществлялся как в ручном режиме (индекс маркировки «р»), так и в индукторе (индекс маркировки «и»). Внешний вид образцов представлен на рисунке 4.7 (в, г).

Образцы с условной маркировкой M_{250} и H_{250} были восстановлены с применением предварительного подогрева до температуры 250 °С. Подогрев осуществлялся как в ручном режиме (индекс маркировки «р»), так и в индукторе (индекс маркировки «и»). Внешний вид образцов представлен на рисунке 4.7 (д, е).

Исследование влияния защитной среды производилось путём сравнения экспериментально полученных данных по механическим свойствам и металлографическим параметрам структуры восстановленных замковых соединений между собой и с данными ГОСТ 27834–95 на новую продукцию. Результаты химического анализа металла приведены в таблице 4.6.

N⁰	067.0107				Содера	жание эл	ементо	ов, %			
п/п	OUBERT	С	Mn	Si	Cr	Мо	V	Ni	Cu	S	Р
1	$M_{\delta\pi}$	0,40	0,56	0,25	1,02	0,23	0,15	0,13	0,14	0,012	0,014
2	$H_{\delta\pi}$	0,39	0,54	0,28	1,03	0,20	0,10	0,12	0,15	0,008	0,010
3	M ₁₅₀	0,40	0,52	0,22	0,99	0,18	0,01	0,02	0,05	0,010	0,012
4	H ₁₅₀	0,38	0,60	0,28	0,97	0,20	0,02	0,07	0,10	0,009	0,006
5	M ₂₅₀	0,39	0,61	0,27	0,98	0,21	0,11	0,12	0,12	0,009	0,010
6	H ₂₅₀	0,38	0,58	0,24	1,05	0,23	0,12	0,11	0,14	0,012	0,012
	Сталь	0,37-	0,40-	0,17–	0,80-	0,20-	0,10-	<0	30	<0	025
4(ЭХМФА	0,44	0,70	0,37	1,10	0,30	0,18	~0	,50	~0,	043

Таблица 4.6 – Химический состав металла исследуемых замковых соединений бурильных труб

Из таблицы 4.6 видно, что по химическому составу металл всех образцов соответствует стали марки 40ХМФА, т.е. исследуемые замки соответствуют требованиям по части ремонтопригодности и могут участвовать в исследовании. Результаты определения механических характеристик металла замковых соединений бурильных труб представлены в таблице 4.7. Данные таблицы 4.7 свидетельствуют о том, что ни один образец в полной мере не соответствует требованиям ГОСТ 27834–95 в части механических свойств. Наилучшие показания были получены на образцах, восстановленных с предварительным подогревом в индукторе до 250°С.

N⁰	Защитная среда	Испытания на одноосное растяжение			Испытания на	Твердость, НВ		
п/п		σ _в , МПа	σ _т , МПа	δ, %	ударный изгио, кДж/м ² , КСV	Тело замка	Поверхность наплавки	
1	$M_{\delta\pi}$	925	682	15	818	276	305	
2	Нбп	931	798	17	865	280	320	
3	M _{150-p}	978	754	15	610	290	300	
4	H _{150-p}	890	732	17	534	280	332	
5	М _{150-и}	925	765	16	763	290	295	
6	Н _{150-и}	956	823	16	844	288	305	
7	M _{250-p}	878	725	15	482	261	295	
8	H _{250-p}	888	738	16	425	265	288	
9	М _{250-и}	946	820	16	634	281	325	
10	Н _{250-и}	995	883	18	715	295	315	
ГС	OCT 27834– 95	≥981	≥832	≥13	≥589	30	0–355	

Таблица 4.7 – Механические характеристики металла замковых соединений бурильных труб, восстановленных наплавкой при различных режимах

Несколько заниженные механические свойства муфтовых частей замковых соединений по сравнению с ниппельными можно объяснить меньшей толщиной основного металла, т.е. скорость прогрева муфты выше. Для того, чтобы нивелировать влияние толщины основного металла на результат восстановления бурильного замка, необходимо ограничение толщины единовременно наплавляемого слоя до значения, позволяющего максимально производительно и, в то же время, без риска перегрева производить его восстановление как на ниппельной, так и на муфтовой частях [100].

Для оценки микроструктурного состояния из области наплавки были вырезаны и изготовлены микрошлифы и произведена их фотосъёмка. Результаты анализа структурных параметров и загрязненности металла исследуемых образцов неметаллическим включениями представлены в таблице 4.8. Из таблицы 4.8 видно, что микроструктура всех наплавок состоит преимущественно из сорбита с отдельными участками феррита и пластинчатого перлита. Ширина 3TB варьируется от 5 до 9 мм и повышается с ростом температуры подогрева. Следует отметить, что ширина 3TB в образцах, восстановленных с ручным подогревом, выше, чем в образцах с индукционным. Таблица 4.8 – Металлографический анализ металла замковых соединений буриль-

№ п/п	Защитная среда	Оксиды точечные	Оксиды строчечные	Сульфиды	Ширина ЗТВ, мм	Микроструктура
1	$M_{\delta\pi}$	3б.	1б.	3б.	5-6	Сорбит, перлит, феррит
2	$H_{\delta\pi}$	3б.	1б.	2б.	5-6	Сорбит, перлит, феррит
3	M _{150-p}	26.	16.	3б.	7–8	Сорбит, перлит, феррит
4	H _{150-p}	26.	1б.	1б.	7–8	Сорбит, перлит, феррит
5	М _{150-и}	26.	16.	26.	6–7	Сорбит, перлит, феррит
6	Н _{150-и}	36.	26.	26.	6–7	Сорбит, перлит, феррит
7	M _{250-p}	1б.	1б.	3б.	8–9	Сорбит, перлит, феррит
8	H _{250-p}	26.	1б.	2б.	8–9	Сорбит, перлит, феррит
9	М _{250-и}	26.	16.	16.	7–8	Сорбит, перлит, феррит
10	Н _{250-и}	2б.	16.	16.	7–8	Сорбит, перлит, феррит

ных труб после восстановления

Панорамные фотографии зоны термического влияния образца восстановленного без предварительного подогрева, а также с индукционном подогревом до 250 °C представлены на рисунке 4.8 (а, б).



Рисунок 4.8 – Панорамы зон термического влияния образцов восстановленных при различных режимах (а – без предварительного подогрева, б – с применением индукционного подогрева до 250 °C)

4.3 Оценка влияния предварительного подогрева на величину остаточных напряжений в металле замков после наплавки

Экспериментальная оценка влияния предварительного подогрева на величину остаточных напряжений проводилась по методике Давиденкова. В основе методики лежит сравнительный анализ величины расхождения кромок колец, изготовленных из опытных образцов замковых соединений после восстановления при различных температурных режимах (с применением предварительного подогрева до 150 °C, до 250°C и без него). Остаточные напряжения внутри колец до разрезки находятся в равновесии: суммы сил и моментов равны нулю. После разрезки равновесие сил и моментов нарушается, и кромки колец деформируются (в данном случае расходятся). Анализ проводился на пяти кольцах, изготовленных из ниппельных частей замковых соединений. Геометрические параметры колец представлены в таблице 4.9.

	Контролируемые параметры									
Маркировка	Толщина стенки, t (мм)	Ширина кольца, b (мм)	Наружный диаметр, D (мм)	Ширина рас- крытия, z (мм)	Площадь разреза, F ₀ (мм ²)					
НБП ₂₅	35,63	14,97	162,0	3,46	533					
НСП _{150-р}	34,86	14,77	160,5	3,28	515					
НСП _{150-и}	34,35	14,74	160,0	3,12	506					
НСП _{250-р}	34,67	14,67	161,2	2,47	509					
НСП _{250-и}	34,07	14,12	161,6	2,25	481					

Таблица 4	9 - 1	Геомет	рические	парамет	ъ	колен
таолица т.	7 1		DRITCORNE	mapanici	JDI	колец

Внешний вид колец после разрезки представлен на рисунке 4.10.

Кольцо №1 вырезано из восстановленного без предварительного подогрева ниппеля замкового соединения. Образцу присвоена маркировка НБП₂₅.

Кольца №2 и №3 вырезаны из восстановленной с предварительным подогревом до 150°С ниппельной части замкового соединения. Восстановление производилось как в ручном (индекс маркировки «р»), так и в индукционном (индекс маркировки «и») режиме. Образцам присвоена маркировка НСП_{150-р} и НСП_{150-и}. Кольца №5 и №6 вырезаны из восстановленной с предварительным подогревом до 250°С ниппельной части замкового соединения. Восстановление производилось как в ручном (индекс маркировки «р»), так и в индукционном (индекс маркировки «и») режиме. Образцам присвоена маркировка НСП_{250-р} и НСП_{250-и}.



Рисунок 4.10 – Внешний вид колец, до и после разрезки

Задача по определению остаточных напряжений сводится к определению нагрузки, которая восстанавливает цельность колец. Такими нагрузками в данном случае являются осевая сила Q и изгибающий момент M₀, при совместном или раздельном действии, сжимающие кольцо в области разреза до соприкосновения кромок. Для определения Q или M₀ применяем интеграл Мора для перемещения [95]:

$$\mathbf{h} = \int \frac{\mathbf{M} \cdot \mathbf{M}_1}{\mathbf{E} \cdot \mathbf{I}}, \, (\mathbf{M}\mathbf{M}) \tag{4.1}$$

где: М – момент в точке А от основной нагрузки;

М₁ – момент в точке А от единичной силы в направлении движения кромок;

Е – модуль Юнга для стали.

I – момент инерции поперечного сечения кольца.

Момент инерции находим по формуле [95]:

$$I = \frac{b \cdot t^3}{12}, (MM^4)$$
(4.2)

Рассмотрим нагружение от осевой силы Q:

Моменты в точке А можно выразить из (4.1):

$$M = Q \cdot \frac{D}{2} \cdot (1 - \cos\varphi) \tag{4.3}$$

$$M_1 = \frac{D}{2} \cdot (1 - \cos\varphi) \tag{4.4}$$

где: D – Наружный диаметр кольца

После подстановки (4.3) и (4.4) в (4.1) и интегрирования от 0 до 2π получим:

$$h = \frac{3 \cdot \pi \cdot Q \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^3}{E \cdot I}, \quad (MM)$$
(4.5)

Осевую силу Q можно выразить из выражения (4.5):

$$Q = \frac{h \cdot E \cdot I}{3 \cdot \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^3}, \quad (\kappa \Gamma)$$
(4.6)

Осевые напряжения в кольцах будут находиться из выражения:

$$\sigma_1 = \frac{Q}{F}, (\kappa \Gamma / MM^2)$$
(4.7)

где: F – Площадь разреза в котором сосредоточены напряжения

Остаточные напряжения, сосредоточенные в объёме металла замкового соединения, будут распределяться по всей толщине стенки бурильного замка, однако максимальная их величина, которую принимаем для проведения расчета, будет сосредоточена в поверхностном слое, толщина которого находится из выражения [97]:

$$u = 0.216 \cdot D \cdot \left(1 - 0.04 \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^2 - 0.54 \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^3\right), \text{ (MM)}$$
(4.8)

где: d - Внутренний диаметр кольцаТаким образом, $F = b \cdot (t - u)$, (мм²) Если для восстановления кольца необходимо приложить растягивающую силу, то осевые остаточные напряжения имеют знак "–", если сжимающую силу, то остаточные напряжения имеют знак "+".

Рассмотрим нагружение от изгибающего момента M₀:

Моменты из (4.1) в точке А:

$$M = M_0 \tag{4.9}$$

$$M_1 = \frac{D}{2} \cdot (1 - \cos\varphi) \tag{4.10}$$

После подстановки (4.9) и (4.10) в (4.1) и интегрирования от 0 до 2π получим:

$$h = \frac{2 \cdot \pi \cdot M_0 \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2}{E \cdot I}, \quad (MM)$$
(4.11)

Из (4.11) изгибающий момент:

$$M_0 = \frac{h \cdot E \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2}, \quad (K\Gamma M \cdot M)$$
(4.12)

Таким образом, изгибающие остаточные напряжения определяются из выражения:

$$\sigma_2 = \frac{M_0}{F(t-2u)}, (\kappa\Gamma/MM^2)$$
(4.13)

Результаты вычислений по приведённым выше формулам приведены на рисунках 4.11 и 4.12.



Рисунок 4.11 – Сравнительная оценка осевых остаточных напряжений в сечениях колец, восстановленных с применением и без применения предварительного подогрева



Рисунок 4.12 – Сравнительная оценка изгибающих остаточных напряжений в сечениях колец, восстановленных с применением и без применения предварительного подогрева

По результатам вычислений было установлено, что остаточные напряжения с введением предварительного подогрева падают, что находится в качественном соответствии с результатами расчета градиента температуры в тепловой модели наплавки.

4.4 Влияние толщины наплавленного слоя при восстановлении замковых соединений бурильных труб

Для исследований влияния толщины наплавки на комплекс физикомеханических свойств и микроструктурное состояние были отобраны шесть образцов (три замковых соединения бурильных труб образованных ниппелем и муфтой), группы прочности "Д", изготовленных в соответствии с ГОСТ 27834–95 из стали 40ХМФА. Ремонт производился наплавочной проволокой Нп–30ХГСА под слоем смеси флюсов ЭЛЗ–ФКН–1/55(Б), и 48 ОФ–10 в соотношении 1:1 с предварительным подогревом ремонтного изделия в индукторе до температуры 250 °С и прокалкой флюса до 350°С. Температура замка в процессе наплавки контролировалась фотопирометром. Толщина наплавки регулировалась посредством изменения технологических параметров процесса, а также путём варьирования диаметра наплавочной проволоки и составляла в совокупности не более 20 мм на диаметр (9–10 мм на сторону). Наплавка изделий проводилась тремя способами [98]:

- в один проход, толщиной наплавки 9-10 мм на сторону;
- в 2 прохода, толщиной наплавки 5-6 мм на сторону;
- в 3 прохода, толщиной наплавки 2–3 мм на сторону.

Внешний вид объектов исследования представлен на рисунке 4.15.







в) Образец с наркировкой М₆



б) Образец с маркировкой Н9



г) Образец с наркировкой H₆



д) Образец с наркировкой M₃

е) Образец с наркировкой Н₃

Рисунок 4.15 – Образцы после восстановления

Образцы с условной маркировкой М₉ и H₉ были восстановлены в один проход, толщиной наплавки 9–10 мм на сторону. Внешний вид образцов представлен на рисунке 4.15 (а, б).

Образцы с условной маркировкой M_6 и H_6 были восстановлены в 2 прохода, толщиной наплавки 5–6 мм на сторону. Внешний вид образцов представлен на рисунке 4.15 (в, г).

Образцы с условной маркировкой М₃ и H₃ были восстановлены в 3 прохода, толщиной наплавки 2–3 мм на сторону. Внешний вид образцов представлен на рисунке 4.15 (д, е).

Исследование влияния защитной среды производилось путём сравнения экспериментально полученных данных по механическим свойствам и металлографическим параметрам структуры восстановленных замковых соединений между собой и с данными ГОСТ 27834–95 на новую продукцию. Результаты химического анализа металла приведены в таблице 4.11.

рилы	ильных труб											
№	05	№ Содержание элемент										
п/п	Объект	С	Mn	Si	Cr	Мо	V	Ni	Cu	S	Р	
1	H9	0,4	0,50	0,27	1,08	0,22	0,10	0,15	0,15	0,002	0,010	
2	M9	0,38	0,52	0,25	1,09	0,20	0,10	0,14	0,14	0,006	0,006	
3	H ₆	0,41	0,58	0,20	1,09	0,16	0,05	0,06	0,12	0,004	0,009	
4	M ₆	0,37	0,61	0,28	0,95	0,22	0,09	0,09	0,11	0,009	0,008	
5	H ₃	0,38	0,57	0,26	0,97	0,20	0,11	0,12	0,15	0,009	0,008	
6	M ₃	0,36	0,50	0,25	1,00	0,25	0,14	0,10	0,19	0,011	0,010	
	Сталь	0,37–	0,40-	0,17–	0,80-	0,20-	0,10-	<0	30	<0	025	
40	ХМФА	0,44	0,70	0,37	1,10	0,30	0,18	-0	,50	-0,	043	

Таблица 4.11 – Химический состав металла исследуемых замковых соединений бурильных труб

Данные таблицы 4.11 свидетельствуют о том, что по химическому составу металл всех образцов соответствует стали марки 40ХМФА, т.е. исследуемые замки соответствуют требованиям ТУ в части ремонтопригодности.

Результаты определения механических характеристик металла представлены в таблице 4.12. По результатам механических испытаний было установлено положительное влияние уменьшения толщины наплавки на свойства исследуемых образцов. Данные таблицы 4.12 свидетельствуют о том, что наилучшие значения механических свойств были получены на образцах с маркировкой H₃ и M₃, восстановленных в 3 прохода, толщиной наплавки 2–3 мм на сторону [101]. Образцы, восстановленные в один и два прохода наплавками большей ширины, испытания не выдержали.

№	Маркировка	Испытания на одноосное растяжение			Испытания на	Твердость, НВ		
п/п	/п образцов	σ _в , МПа	$\sigma_{\rm B}, {\rm M}\Pi{\rm a} = \sigma_{\rm T}, {\rm M}\Pi{\rm a} = \delta, \%$ ударный изгио, кДж/м ² , KCV	Тело замка	Поверхность наплавки			
1	H9	823	630	9,5	520	242	294	
2	M9	950	835	10,5	496	280	305	
3	H ₆	954	875	12,5	563	280	290	
4	M ₆	998	884	11,7	578	296	302	
5	H ₃	1050	952	13,9	620	310	335	
6	M ₃	1089	980	14,5	654	320	342	
ГО	OCT 27834–95	≥981	≥832	≥13	≥589	30	0–355	

Таблица 4.12 – Механические характеристики металла замковых соединений бурильных труб, восстановленных наплавкой различной толщины

Для оценки микроструктурного состояния были изготовлены микрошлифы и произведена их фотосъёмка. Результаты анализа структурных параметров и загрязненности металла исследуемых муфты и ниппеля неметаллическим включениями представлены в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Металлографический анализ металла замковых соединений бурильных труб после восстановления

№ п/п	Защитная среда	Оксиды точечные	Оксиды строчечные	Сульфиды	Ширина ЗТВ, мм	Микроструктура
1	H9	3б.	3б.	2б.	7–8	Сорбит, феррит, перлит
2	M9	2б.	26.	3б.	7–8	Сорбит, феррит, перлит
3	H_6	16.	2б.	2б.	5–6	Сорбит, феррит, перлит
4	M ₆	2б.	1б.	1б.	5–6	Сорбит, феррит, перлит
5	H_3	2б.	1б.	2б.	2–3	Сорбит, феррит, перлит
6	M ₃	2б.	1б.	2б.	2–3	Сорбит, феррит, перлит

Из таблицы 4.13 видно, что металл всех объёктов исследования загрязнён неметаллическими включениями. Наилучшие показатели в части чистоты металла наплавки были зафиксированы в образцах, восстановленных в два прохода, немного выше загрязнённость образцов, восстановление которых проходило в три прохода, наплавками толщиной не более 3 мм.

Микроструктура наплавок состоит преимущественно из сорбита с отдельными участками феррита, перлита и, в отдельных случаях, бейнита. Ширина зоны термического влияния растёт при повышении толщины наплавки на сторону до 7–8 мм, и пропорционально падает в случае уменьшения толщины слоя до 2–3 мм при увеличении количества слоёв. Наименьшая ширина зоны термического влияния была зафиксирована в образцах, восстановленных в три прохода. Панорамные фотографии зоны термического влияния образца, восстановленного в один и в три прохода с индукционном подогревом до 250 °C, представлены на рисунке 4.16 (a, б).



Рисунок 4.16 – Панорамы зон термического влияния образцов, восстановленных с применением индукционного подогрева до 250 °С при различных режимах (а – в один проход, толщиной 9–10 мм, б – в три прохода, толщиной 2,5–3мм каждый)

б)

На рисунке 4.17 представлены фотографии микроструктур наплавки, зоны термического влияния и основного металла этих же образцов.



в) зона термического влияния со стороны
 основного металла
 Рисунок 4.17 – Микроструктура образцов, восстановленных при различных режи-

мах (а, б, в – в один проход 9–10 мм; г, д, е – в три прохода по 2,5–3 мм)

Из рисунка 4.17 видно, что микроструктура образца, восстановленного в один проход, значительно более грубая по сравнению с микроструктурой образца, восстановленного в три прохода. Следует отметить тот факт, что уровень механических характеристик, установленных для новых замковых соединений ГОСТ 27843, был достигнут только после получения в металле восстанавливаемых замковых соединений микроструктуры сорбита. При этом режим наплавки включал применение защитной среды из смеси флюсов ЭЛЗ–ФКН–1/55(Б) и 48 ОФ–10 в соотношении 1:1, предварительный подогрев ремонтного изделия в индукторе до температуры 250 °С, прокалку флюса при температуре 350°С перед наплавкой, а также ограничение по максимальной толщине единовременно наплавляемого слоя 3 мм в пользу увеличения количества слоёв до трёх.

4.5 Оценка сходимости тепловой модели и экспериментальных данных

Сравнительный анализ экспериментальных данных с данными, полученными после построения тепловой модели, приведен на рисунках 4.18– 4.20.



Ширина ЗТВ, мм

Рисунок 4.18 – Зависимость ширины ЗТВ от толщины наплавленного слоя h_н

Ширина ЗТВ, мм



Рисунок 4.19 – Зависимость ширины ЗТВ от величины подогрева Т₀





Полученная модель пригодна для качественной оценки температурного поля в процессе наплавки, и остаточных напряжений после проведения наплавки в зависимости от толщины наплавленного слоя и температуры предварительного подогрева перед восстановлением.

4.6 Выводы

1. В результате исследования влияния состава защитной среды при наплавке показана пригодность для восстановительного ремонта замковых соединений механической смеси, состоящей из плавленого флюса 48 ОФ–10 по ОСТ 5 Р.9206–75 и керамического флюса ЭЛЗ–ФКН–1/55(Б) по ТУ 1718–

051–11142306–2007 в соотношении 1:1. Полученная смесь флюсов обеспечивает требуемую технологичность процесса наплавки в отношении надёжной защиты от окисления и подстуживания в процессе, а также своевременного удаления шлака после наплавки.

2. В результате введения предварительного подогрева в индукторе до температуры 250 °C была незначительно увеличена ширина зоны термического влияния. При этом было достигнуто снижение остаточных напряжений в наплавленном слое. Введение операции прокаливания флюса перед наплавкой для удаления влаги позволило повысить чистоту металла наплавки, а также физико–механические свойства наплавленного слоя.

3. По результатам исследования влияния толщины наплавленного слоя на комплекс физико-механических свойств была найдена толщина единовременно наплавляемого слоя, составляющая 2–3 мм, которая не вызывает нежелательных изменений микроструктуры, обусловленных перегревом металла в процессе наплавки. Последовательная наплавка трёх слоёв по 2–3 мм позволяет качественно выполнять восстановление замковых соединений бурильных труб.

4. В ходе введения в процесс восстановления указанных выше корректировок, в наплавке была получена микроструктура сорбит, наиболее приближенная к микроструктуре основного металла в состоянии поставки. Зона термического влияния, при этом была уменьшена более чем в три раза, что позволило значительно повысить уровень механических свойств восстановленных замковых соединений.

5. Проведённые исследования сходимости тепловой модели с результатами экспериментов позволяют констатировать её пригодность для качественной оценки температурного поля в процессе наплавки, и остаточных напряжений после проведения наплавки в зависимости от толщины наплавленного слоя и температуры предварительного подогрева перед восстановлением.

92

6. Полученные в ходе диссертационного исследования сведения были использованы при разработке технических условий в виде рекомендаций к технологическому процессу восстановления методом наплавки стальных бурильных труб с приваренными замками (приложение E). Акты о внедрении технических условий ТУ 1324-003-37072885-2015 в ООО «БУР СЕР-ВИС», а также в ООО «ТМС–Буровой сервис» получены (приложение A, B).

ГЛАВА 5 – СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ВОССТАНОВЛЕННЫХ НАПЛАВКОЙ ЗАМКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

5.1 Стендовые испытания замковых соединений бурильных труб на осевую растягивающую нагрузку

Стендовые испытания замковых соединений бурильных труб на осевую растягивающую нагрузку проводились с целью определения степени термического влияния наплавленного металла на возможное разупрочнение в зоне высадки и сварного шва по отношению к прочности металла тела трубы на растяжение. Испытания образцов проводились на универсальном стенде УС–600 для испытаний труб и спуско–подъёмного инструмента на растяжение и сжатие. Внешний вид стенда представлен на рисунке 5.1.



Рисунок 5.1 – Стенд УС–600 Для испытаний на осевую нагрузку были отобраны:

- от бурильных труб ПК 127×9 мм группы прочности «Д» три ниппельных конца (идентификационные номера 8Н, 7Н, 20Н);

- от бурильных труб ПН 89×9 мм группы прочности «Д» три муфтовых конца (идентификационные номера 1М, 2М и 3М).

Подготовка образцов к испытаниям и сами испытания проводились в соответствии с разработанной «Программой и методикой проведения стендовых испытаний бурильных труб с приваренными замками после ремонта в части восстановления замковых деталей методом наплавки на растяжение».

За результат испытания принималось соблюдение критерия достаточности прочности труб с приварными замками, т.е. прочность тела трубы должна быть выше прочности сварного соединения. Экспериментальные результаты испытаний на растяжение бурильных труб в виде нагрузки, при которой произошло разрушение натурного образца, приведены в таблице 5.1. В ней представлены также теоретические расчетные характеристики нагрузки, найденные аналитически по пределам текучести и прочности и площади сечений зоны сварного соединения и тела трубы.

Mennem oopusidob ofphilbilitik ipyo									
Значения на	, T								
Расчетные		Экспериментальные							
Сварной шов	Тело трубы								
Значения прочностных характеристик образцов бурильных труб ПК 127 х 9 мм "Д"									
423,5	238,8	298							
425,6	210,4	303							
426,8	217,3	301							
и прочностных характеристик обра	зцов бурильных труб	ПН 89×9 мм "Д"							
265,8	167,5	210							
268,9	173,2	196							
273,8	178,1	204							
	Значения нап Расчетные Сварной шов прочностных характеристик обра 423,5 425,6 426,8 и прочностных характеристик обра 265,8 265,8 263,9 273,8	Значения нагрузок до разрушения, Расчетные Расчетные Сварной шов Тело трубы прочностных характеристик образцов бурильных труб 423,5 238,8 423,5 238,8 210,4 426,8 217,3 167,5 265,8 167,5 268,9 273,8 178,1							

Таблица 5.1 – Экспериментальные и расчетные значения нагрузки разрушения растяжением образцов бурильных труб

Из данных таблицы 5.1 следует, что все испытуемые образцы выдержали испытания. Фотографии образцов после испытаний приведены на рисунках 5.2, 5.3. Из рисунков 5.2, 5.3 видно, что разрушение образцов всех исследуемых замковых соединений от бурильных труб происходило по телу бурильной трубы, в области удалённой от зоны термического влияния сварного шва. Первый образец замкового соединения от трубы ПК 127 х 9,2 мм разрушился при нагрузке 298 т, второй – 313 т, третий – 301 т. Первый образец замкового соединения от трубы ПН 89×9,2 мм разрушился при нагрузке 210 т, второй – 204 т, третий – 196 т.



Рисунок 5.2 – Образцы труб ПК 127×9 после испытаний на растяжение



Рисунок 5.3 – Образцы труб ПН 89 × 9мм после испытаний на растяжение Следует отметить, что экспериментально полученные значения нагрузки разрушения во всех случаях превышали расчетные, что характеризует высокий уровень запаса прочности бурильной трубы.

5.2 Стендовые испытания замковых соединений бурильных труб на усталостную прочность

Стендовые испытания замковых соединений бурильных труб на усталость проводились с целью определения степени термического влияния наплавленного металла на металл высаженной части, сварное соединение, а также характеристику усталостной прочности. Испытание образцов проводилось на стенде СТ–20 для определения предела выносливости образцов бурильных труб при знакопеременном изгибе. Внешний вид стенда представлен на рисунке 5.4.



Рисунок 5.4 – Испытательный стенд СТ-20

Для испытаний на усталость были отобраны семь образцов от бурильных труб ПК 127×9 мм группы прочности «Д» в виде компоновок ниппельного и муфтового конца, свинчиваемых в дальнейшем между собой в процессе испытаний. Испытаниям подвергались компоновки образцов со следующими идентификационными номерами 1H – 3M, 9H – 10M, 13M – 14H, 6M – 11H, 16M – 12H, 17M – 4H, 19M – 14H, в которых первым указывается испытуемый конец (H – ниппельный, М – муфтовый). Подготовка образцов к испытаниям и сами испытания проводились в соответствии с разработанной «Программой и методикой проведения стендовых испытаний бурильных труб с приваренными замками после ремонта в части восстановления замковых деталей методом наплавки на знакопеременный изгиб».

Перед проведением стендовых испытаний, методом конечных элементов было выполнено аналитическое исследование напряженного состояния в условиях проведения стендовых испытаний на усталость. Схема нагружения испытуемого образца представлена на рисунке 5.5. Из рисунка 5.5 видно, что в конструкции испытательного образца выделяется два опасных сечения, по которым предположительно может произойти разрушение:

OC1 – расположено под корнем первого витка ниппеля, находящегося в зацеплении Ø94,91x14,905,

OC2 – расположено в точке перехода высадки трубы к регулярному телу трубы Ø88,9х13,65.



Рисунок 5.5 – Испытательный образец и схема его нагружения

Момент инерции J_x в данном случае рассчитывается по формуле:

$$J_x = J_y = \frac{\pi \cdot R^4}{4} \cdot \left(1 - \frac{d}{D}\right), \text{где}$$
(5.1)

R – Радиус трубы

d – Внутренний диаметр сечения трубы

D – Наружный диаметр сечения трубы

В соответствии с методикой, тестовую нагрузку следует выбирать таким образом, чтобы напряжения по опасному сечению составляли 15–20% от предела текучести. Без учета предварительного нагружения сечения при силовой сборке замка получаем:

$$\sigma_{ocl} = 0,15 \cdot \sigma_{T} \tag{5.2}$$

Изгибающий момент необходимый для получения такого уровня напряжений:

$$M = \sigma_{oc1} \cdot J_x \cdot 2/y_{max}$$
(5.3)

Затем определяем необходимую величину поперечной силы:

$$P_{oc1}=M/L$$
, где (5.4)

L – плечо силы.

Расчёт для сечения ОС1:

Момент инерции:

$$J_{\text{oc1}} = \frac{3,14 \cdot 47,455^4}{4} \cdot \left(1 - \frac{65,1}{94,91}\right) = 3101423 \,(\text{MM}^4)$$

98

Предел текучести замка 828 МПа. Без учета предварительного нагружения сечения при силовой сборке замка получаем:

Изгибающий момент необходимый для получения такого уровня напряжений:

Определяем необходимую величину поперечной силы:

$$P_{oc1} = 8117095/1533 = 5300 (H)$$

Расчёт для сечения ОС2

Момент инерции:

$$J_{\text{oc2}} = \frac{3,14 \cdot 44,45^4}{4} \cdot \left(1 - \frac{61,6}{88,9}\right) = 1880829 \,(\text{mm}^4)$$

Предел текучести трубы 931МПа.

$$\sigma_{oc2}=0,15*931=139,7$$
 (MIIa)

Изгибающий момент необходимый для получения такого уровня напряжений равен:

М = 139,7.1880929.2/88,9=5904849 (Н.мм).

Определяем необходимую величину поперечной силы:

$$P_{oc2} = 5904849/1128 = 5235$$
 (H)

Для оценки влияния предварительного нагружения замка кручением, а также для определения фактической величины прогиба от рассчитанной величины нагрузки, проведем расчет модели образца методом конечных элементов.

Нагрузка: момент свинчивания 24000 Н·м, затем прикладывается сила по оси у, величиной 5300 Н (модель – сектор 180°).

Прогиб при статическом нагружении: 10мм.

Схема распределения осевых напряжений представлена на рисунке 5.6.



Рисунок 5.6 – Осевые напряжения, МПа

Схема распределения эквивалентных напряжений представлена на ри-





Рисунок 5.7 – Эквивалентные напряжения, МПа

Схемы распределения осевых напряжений по внутреннему и наружному диаметрам представлены на рисунках 5.9 и 5.10 соответственно.



Рисунок 5.9 – Осевые напряжения по наружному диаметру трубы, МПа



Рисунок 5.10 – Осевые напряжения по внутреннему диаметру трубы, МПа

Из рисунков 5.9 и 5.10 видно, что несмотря на повышенные напряжения в области сечения OC1, амплитуда напряжений по сечению OC2 значительно превышает амплитуду по OC1. Таким образом, при указанной схеме нагружения, наиболее вероятно усталостное разрушение произойдет в районе сечения OC2. Данное предположение находит своё отражение в формуле Париса для скорости роста трещины [100]:

$$\frac{dl}{dN} = \mathbf{A}(\Delta \mathbf{K})^n \tag{5.5}$$

где: $\frac{dl}{dN}$ – скорость распространения трещины;

А, n- эмпирические коэффициенты

ΔК-амплитуда колебаний

Из формулы (5.5) видно, что все явления в кончике трещины, а также скорость её распространения зависят от коэффициента интенсивности напряжений и амплитуды.

Результаты стендовых испытаний на знакопеременный изгиб бурильных труб ПК 127×9 приведены в таблице 5.2 и на рисунках 5.11–5.13. Из данных таблицы 5.2 видно, что три образца (13М–14Н, 6М–11Н и 19М – 14Н) из семи выдержали базовое число циклов нагружения для стали (10×10⁶ циклов) при приложении напряжений знакопеременного изгиба в диапазоне 10...13 кг/мм². Четыре образца разрушились досрочно по основному телу (вне зоны наплавки) вследствие наличия дефектов в виде скрытых трещин (два образца), зон нагрева в месте контакта токосъема наплавочной машины с телом трубы (два образца). Разрушений образцов по зоне влияния наплавки не происходило.

Таблица 5.2 – Результаты стендовых испытаний образцов бурильных труб ПК 127×9мм группы прочности "Д" на знакопеременный изгиб (усталость)

		Приложенное	Число циклов,	
N⁰	Компоновка	напряжение	которое	Результат испытаций
п/п	образцов	изгиба σ ₋₁ ,	выдержал	тезультат испытании
		кг/мм ²	образец	
1	1H-3M	16	$0,8 \times 10^{6}$	Слом по дефекту (трещине) в стенке трубы
2	9H-10M	15	$1,3 \times 10^{6}$	Слом по дефекту (трещине) в стенке трубы
3	13M – 14H	10	10×10^6	Испытания выдержал
4	6M-11H	12	10×10^6	Испытания выдержал
5	16M – 12H	13	$0,9 \times 10^{6}$	Слом по дефекту (трещине) в стенке трубы
6	17M-4H	13	$0,5 \times 10^{6}$	Слом по дефекту (трещине) в стенке трубы
7	19M – 14H	13	10×10^{6}	Испытания выдержал





Рисунок 5.11 – Разрушение образца 1Н бурильной трубы ПК 127×9 «Д» с приваренным замком 3П–162–95–2 по дефекту в теле трубы



Рисунок 5.12 – Разрушение образца 9Н бурильной трубы ПК 127×9 «Д» с приваренным замком 3П–162–95–2 по дефекту в теле трубы



Рисунок 5.13 – Разрушение образцов 16М и 17М бурильной трубы ПК 127×9 «Д» по дефекту в теле трубы

5.3 Выводы

1. Проведение стендовых испытаний на образцах, восстановленных с учетом разработанных рекомендаций, предусматривающих применение смеси флюсов, предварительный подогрев и ограничение по толщине наплавки, позволило оценить стойкость ремонтных бурильных труб к осевым статическим и знакопеременным циклическим нагрузкам. Исследуемые об-

разцы выдержали стендовые испытания. Разрушений замковых соединений в областях наплавки, сварного соединения, а также в зонах термического влияния не происходило.

2. По итогам работы было установлено, что замковые соединения после восстановления обладают достаточным уровнем технологических свойств и могут быть использованы во всём диапазоне эксплуатационных нагрузок, сопоставимых с нагрузками для новых бурильных труб.

3. Полученные в ходе стендовых испытаний сведения были использованы при разработке руководства по эксплуатации стальных бурильных труб с приваренными замками после ремонта в части восстановления замковых соединений методом наплавки (приложение Ж). Акты о внедрении руководства по эксплуатации БТ. 3369-01 РЭ в ООО «БУР СЕРВИС», а также в ООО «ТМС–Буровой сервис»получены (приложение Б, Г).

6. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

1. На основе классической теории теплопроводности построена простейшая тепловая модель процесса нагрева стенки замка при наплавке, учитывающая теплопередачу от расплава наплавляемого слоя к стенке, а затем от закристаллизовавшегося наплавленного слоя к стенке. Данная модель позволяет рассчитать температурное поле в теле замка и оценить толщину зоны термического влияния, а по изменению градиента температуры оценить изменение остаточных напряжений при изменении толщины наплавленного слоя и температуры предварительного подогрева перед восстановлением.

2. Исследование влияния защитной среды показало, что наилучшие результаты в отношении обеспечения надёжной защиты от окисления и подстуживания, механических свойств для хорошей обрабатываемости получаются при использовании смеси керамического флюса ЭЛЗ–ФКН–1/55(Б) и плавленого флюса 48 ОФ–10 в соотношении 1:1.

3. По результатам исследований остаточных напряжений в металле замков после восстановления было установлено положительное влияние предварительного подогрева на снижение их уровня. Рекомендовано применение подогрева до температуры 250±50°C.

4. Экспериментально установлено, что толщина единовременно наплавляемого слоя не должна превышать 2–3 мм, и потому для получения наплавленного слоя толщиной 10 мм (при максимальном износе замка) должно последовательно наплавляться 3–4 слоя.

5. С учетом предложенных рекомендаций в металле ремонтных замков был достигнут уровень механических свойств, соответствующих ГОСТ 27834 для новых замков. Кроме того, в наплавленного слое и зоне термического влияния (ЗТВ) была получена микроструктура сорбита, наиболее близкая к микроструктуре металла замка в состоянии поставки. Ширина ЗТВ при этом была уменьшена более чем в три раза по сравнению с шириной ЗТВ до введения рекомендаций.

105

6. Испытания натурных образцов восстановленных бурильных труб на осевое растяжение и циклическую усталость показали, что разупрочнения в сварном соединении и области высаженной части не происходит, и восстановленные электродуговой наплавкой бурильные трубы могут быть использованы во всём диапазоне эксплуатационных нагрузок для новых труб.

7. Материалы диссертационного исследования были использованы при разработке и внедрении в ООО «БУР СЕРВИС» и ООО «ТМС–Буровой сервис» технических условий ТУ 1324-003-37072885-2015 (приложение Е) и руководства по эксплуатации БТ. 3369-01 РЭ (приложение Ж) для стальных бурильных труб с приваренными замками после ремонта в части восстановления замковых соединений методом наплавки, что подтверждено соответствующими актами о внедрении (приложение А-Г).

7. СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

 Глазов, В. А. Восстановительная наплавка замков бурильных труб [Электронный ресурс] / В. А. Глазов // Engineer & technological service SPF-CSC. – 2013. – № 4. – Режим доступа: http://burneft.ru/archive/issues/2013–04/16 (Дата обращения: 25.03.2014).

2. Официальный сайт ОАО «Татнефть»: [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.tatneft.ru (Дата обращения: 25.03.2014).

 ГОСТ 27834–95 Замки приварные для бурильных труб. Технические условия. – МСК.: Стандартинформ, 2008. – 11с.

4. ГОСТ 50278–92 Трубы бурильные с приваренными замками. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2010. – 13с.

ГОСТ Р 54383 Трубы стальные бурильные для нефтяной и газовой промышленности. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2013. – 72с.

6. ГОСТ 4543–71 Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2008. – 40с.

Фиргер, И. В. Термическая обработка сплавов: Справочник / И.
 В. Фиргер. – Л.: Машиностроение, Ленингр. Отд–ние, 1982. – 384с.

 Середа, Н. Г. Бурение нефтяных и газовых скважин / Н. Г. Середа, Е. М. Соловьев. – М.: Недра, 1974. – 456с.

 Коржик Н. Ф. Основные закономерности трения и изнашивания элементов бурильной колонны в скважине / Н. Ф. Коржик, Я. В. Коржик, А. Р. Косив. – ИФИНГ – Ивано–Франковск, 1989. – 17 с. – Деп. В УкрНИИНТИ 18.05.89, № 1283–Ук.89.

10. Храмцов Н. В. Металлы и сварка (лекционный курс): Учебное пособие / Н. В. Храмцов. – Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2001. – 138с.

11. Ковтунов А.И. Влияние подогрева на процессы формирования и свойства наплавленных сплавов системы титан–алюминий / А. И. Ковтунов, А. А.Гущин, А. Г. Бочкарёв // Сборник статей по итогам Международной на-107

107

учно-практической конференции «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности» – Стерлитамак: Агенство международных исследований, 2018. – С.60–66.

Лившиц А. С. Основы легирования наплавленного металла / А. С.
 Лившиц, Н. А. Гринберг, Э. Г. Куркумелли. – М.: Машиностроение, 1969. –
 188с.

13. Кортес А. Р. Сварка, резка, пайка металлов / А. Р. Кортес. – М.: Альфа СВ, 2000. – 191с.

14. Якушин Б. Ф. Получение швов с переменным фазовым составом по сечению / Б. Ф. Якушин, В. П. Тихонов // Сварочное производство, 1978.
 № 5. – С.3–6.

15. Хасуи А., Наплавка и напыление / Пер. с яп. X12 В.Н. Попова; под ред. В. С. Степина, Н. Г. Шестёркина. – М.: Машиностроение, 1985. – 240с.

16. Якушин Б. Ф. Влияние режима сварки на высокотемпературную деформацию металла шва. / Б. Ф. Якушин, Д. М. Чернавский // Сварочное производство, 1975. – №6. С.9–11.

Александров А. Г. Эксплуатация сварочного оборудования / А. Г.
 Александров, И. И. Заруба, И. В. Пеньковский. – Киев.: Будивэльнык, 1992. –
 212с.

18. Ковтунов А. И. Расчет доли участия основного металла в металле шва при наплавке в CO₂ / А. И. Ковтунов, В. П. Сидоров, М. Н. Бородин // Современные проблемы повышения эффективности сварочного производства. Тольятти: ТГУ, 2006. Ч. 1. С.124–128.

19. Ковтунов А. И. Технологические меры борьбы с пористостью сварного шва при ремонте резервуаров и трубопроводов в производственных условиях / А. И. Ковтунов, А. А. Пудовкин, А. М. Масляев, Н. Г. Пудовкина // Сборник материалов III Международной научно–практической конференции. Чебоксары, 2017. – С.271–273.
20. Завалинич Д. А. Анализ применения современных электродов отечественного и импортного производства при капитальном ремонте магистральных нефтепроводов / Д. А. Завалинич, О. И. Стеклов, О. В. Дзюба // Сварочное Производство. – 2007. – №4 (869). –С. 32–39.

21. Сидоров А. И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой. – М.: Машиностроение, 1987. – 192 с.

Hertig H. Thermisches Metall beschichteneine moderne Technologie
// Technische Rundschau. 1986. – vol 78. – № 4. – p. 22 – 25.

23. Characteristics of plasma arc welding with wire addition / T. Hiroya,
M. Misuaki, I. Shaji, S. Itsuhiko // Trans. Sap. Welding Sos. - 1978. - № 1. - p.
35-40.

24. Щицын Ю. Д. Возможности плазменной обработки металлов током обратной полярности / Ю. Д. Щицын, О. А. Косолапов, В. Ю. Щицын // Сварка. Диагностика. – 2009. – № 2. – С. 42–45.

25. Вайнерман А. Е. Плазменная наплавка металлов / А. Е. Вайнерман, М. Х. Шоршоров, В. Д. Веселков, В. С. Новосадов. – Л.: Машиностроение, 1969. – 192 с.

26. Гладкий П. В. Плазменная наплавка / П. В. Гладкий, Е. Ф. Переплетчиков, И. А. Рябцев Киев: Екотехнологія, 2007. – 292 с.

27. Вострецов Г. Н. Восстановительная плазменная наплавка теплостойкими инструментальными сталями деталей металлургического оборудования / Г. Н. Вострецов, Н. А. Козырев, Т. Г. Вострецова // Технология упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика. Часть 1. Материалы 14-й Международной научно–практической конференции. – Санкт– Петербург: изд. политехнического университета, 2012. С. 37–41.

28. Коротеев А. С. Плазмотроны / А.С. Коротеев. – М.: Машиностроение, 1993. – 296 с.

29. Cler S., Ducos M. Le plasma a arc transféré // Souder. 1987, 11, - №
2. p. 31 -41.

30. Zuchowski R. S., Culbertson R. P. Plasma arc weld surfacing // Welding Journal. 1962. Vol. 41. N 6. P. 548–555.

31. Гончаров В. С. Упрочнение длинномерных протяжек в ионно– плазменных установках типа ННВ–6.6–И1 / В. С. Гончаров, Е. В. Васильев // Упрочняющие технологии и покрытия. 2013. № 6 (102). С. 3–6.

Чернышев Г. Г. Сварочное дело: сварка и резка металлов / Г. Г.
 Чернышев. – М.: Издательский центр «Академия», 2002. – 496 с.

33. Колганов Л. А. Сварочные работы. Сварка, резка, пайка, наплавка
 / Л. А. Колганов. – М.: Машиностроение, 1998. – 408 с.

34. Емелюшин А. Н., Петроченко Е. В., Нефедьев С.П. Сравнение структуры и свойств литых и наплавленных износостойких материалов / А. Н. Емелюшин, Е. В.Петроченко, С. П. Нефедьев // Литейные процессы: межрегион. сб. науч. трудов/под ред. В.М.Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. С. 141-145.

Мустафин Ф. М. Сварка трубопроводов / Ф. М. Мустафин, Н. Г.
 Блехерова, О. П. Квятковский. – М.: Недра, 2002. – 350 с.

36. Чуларис А. А. Технология сварки давлением / А. А. Чуларис. – Ростов на Дону.: Феникс, 2006. – 221 с.

37. Колубаев Е. А. Особенности формирования структуры сварного соединения, полученного сваркой трением с перемешиванием / Е. А. Колубаев // Современные проблемы науки и образования – 2013. – № 6.

38. Карманов В. В. Сварка трением с перемешиванием алюминиевых сплавов: Сущность и специфические особенности процесса, особенности структуры сварного шва / В. В. Карманов, А. Л. Каменева, В. В. Карманов // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. –2012. –№ 32. –С. 67–80.

39. Котлышев Р. Р. Расчет температур при сварке трением с перемешиванием алюминиевых сплавов / Р. Р. Котлышев, К. Г. Шучев, А. В. Крамской // Вестник ДГТУ. –2010. –Т. 10, № 5. –С. 648–654.

40. Ризванов Р. Г., Коррозионная стойкость сварного соединения узла «труба -трубная решетка», полученного сваркой трением / Р. Г. Ризфанов, Д. Ш. Муликов, Д. В. Каретников, С. Е. Черепашкин, Р. Ф. Ширгазина // Нанотехнологии в строительстве. -2017. -Том 9, № 4. - С. 97-115.

41. Полетика И. М. Формирование упрочняющих покрытий методом наплавки в пучке релятивистских электронов / И. М. Полетика, М. Г. Голковский, М. Д. Борисов, Р. А. Салимов, М. В. Перовская // Физика и химия обработки материалов. – 2005. – № 5. – С. 29–41.

42. Полетика И. М. Структура и механические свойства металла вневакуумной электроннолучевой наплавки до и после термической обработки /
И. М. Полетика, Т. А. Крылова, М. В. Перовская, Ю. Ф. Иванов, С. Ф. Гнюсов, М. Г. Голковский // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2008. – № 4. – С. 44–53.

43. Haggag F. M., Nastad R. K. Effects of thermal aging and neutron irradiation on the mechanical properties of three–wire stainless steel weld overlay cladding//Nureg–GR–6363 ORNL–TM–13047.

44. Углов А. А. Моделирование теплофизических процессов импульсного лазерного воздействия на металлы / А. А. Углов. – Москва : Наука, 1991. – 288 с.

45. Третьяков Р.С. Методы и применение лазерной наплавки [Электронный ресурс] / Р. С. Третьяков, А. Я. Ставертий, А. Ю. Шишов // Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2011. – Режим доступа http://mirprom.ru/public/metody-i-primenenie-lazernoynaplavki.html

46. Tong X., Zhou H., Chen W.W., Jiang W., Li X.Z., Ren L.Q., Zhang Z.H. Optics and Laser Technology, 2009, v. 41, p. 671 – 678.

47. Cojocaru M., Taca M. Applied Surface Science, 1996, v. 106, p. 258 –
262.

48. S. Bremen, D. Buchbinder, W. Meiners, and K. Wissenbach: Mit Selective Laser Melting auf dem Weg zur Serienproduktion, Laser Technik Journal, vol. 8, no. 6, pp. 24–28, 2011. 49. Kozyrev N.A., Krukov R.E., Kolmogorov D.E. New carbon–fluorine containing additive for the welding fluxes//Mechanics of Materials. –2014. –Vol. 682. –P. 495–498.

50. Effect of carbon–and fluorine–containing additions in the composition of fluxes on the content of nonmetallic inclusions and properties of welded joints/N.A. Kozyrev, V.F. Igushev, R.E. Krukov, Z.V. Goldun, I.N. Kvalsky // Welding International. –2013. –Vol. 27, N 12. –P. 963–965.

51. Tvergaard V. Material failure by void growth to coalescence//Adv. in Appl. Mech. –1990. –№ 27. –P. 83–151

52. Neue Verfahren zum Schweiss-plattieren dickwandiger Stahlbleche und –behalter/F. Neff, P. Scherl, K. Winter, H. Ornig//Berg –und Huttenmannische Monatshefte. 1973. Bd. 118, 119. S. 286–294.

53. Seldel G., Hess H. Untersuchungen zur Elektroschlackeschwei plattiren mit Bandelektrode//Schwei en und Schneiden. 1971. Heft 10. S. 410–411.

54. Литовченко Н. Н. Вибродуговая наплавка графитовым электродом нанометаллокерамических композиционных материалов / Н. Н. Литовченко, В. Н. Куликов, Н. В. Титов // Сварочное производство, 2013. № 2. С. 51–53.

55. Kazakov Y. N., Lyasnikov V. N. New Methods building-up Metal/Journal of Advanced Materials. Cambridge Interscience Publishing. 1997. V. 3. N 1. P. 80–84.

56. Файрушин А.М., Исследование влияния вибрационной обработки стали 09Г2С в процессе сварки на металл сварного шва / А.М. Файрушин, Р. Г. Ризванов, Д. В. Каретников, Б. А. Гасимзянов // Расплавы. -2017. -№ 2. -С. 162-170.

57. Криштал М. А. Механизм диффузии в железных сплавах / М. А. Криштал. – М.: Металлургия, 1972. – 400 с.

58. Sabapathy P.N., Wahab M.A., Painter M.J. The prediction of burnthrough during in-service welding of gas pipelines//Int. J. Press. Vess. Piping. – 2000. –№ 11. –P. 669–677. 59. Бабат, Г.И. Индукционный нагрев металлов и его промышленное применение / Г.И. Бабат, М.–Л.: Энергия, 1965. –552 с.

60. Тарасов Н. М. Энергетический расчет процесса отрыва капли электродного металла при воздействии импульса внешнего электромагнитного поля / Н. М. Тарасов // Автомат. сварка. – 1984. – № 6. – С. 21–25.

61. Сосновский, И. А. Исследование закономерностей управления электромагнитными потоками при индукционной наплавке порошкового слоя / И. А. Сосновский, О. О. Кузнечик, К. Е. Белявин, А. А. Курилёнок // Актуальные вопросы машиноведения; сб.научн.тр. / Объедин. ин–т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С. Н. Поддубко. –Вып. 3. –Минск, 2014. – С. 377–383.

62. Швецов М. В. Совершенствование технологии покрытия стальных труб / М. В. Швецов, И. Ф. Калачев // Экспозиция Нефть Газ. 2014. № 5. С. 48–52.

63. Калачев И. Ф. Снижение износа трубопровода использованием защитных покрытий / И. Ф. Калачев // Экспозиция Нефть Газ. 2011. № 6. С. 8–9.

64. Патент РФ № 97119541/02, Способ ремонта поверхности // Патент России № 2125508. 1999. Бюл.№ 23 Галеев Р. Г., Тахаутдинов Ш. Ф., Загиров М. М., Калачев И. Ф. [и др.].

65. Калачев И. Ф. Новое поколение бурильных труб / И. Ф.Калачев //
Бурение и нефть. 2011. № 5. С. 51–52.

66. РД 39–2–930–83 Типовые технологические инструкции по подготовке к эксплуатации и ремонту бурильных труб в цехах центральных трубных баз производственных объединений Миннефтепрома.

67. Патент РФ № 2355530, СПОСОБ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НА-ПЛАВКИ // Патент России № 2355530. 2007. Бюл. № 14 Ковтунов А. И., Сидоров В. П., Черемшанцева Т. В., Бородин М. Н.

68. Михеев Д. А. Исследование аварийных муфт замков бурильных труб, восстановленных наплавкой / Д. А. Михеев, А. П. Амосов // Материалы

Всероссийской научно – технической интернет – конференции 25 – 28 октября 2016 г. «ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ» – Самара: Самар. гос. техн. ун–т, 2016. – 262 с.: ил.

69. Коновалов А. В. Теория сварочных процессов: учеб. для вузов /
А. В. Коновалов, А. С. Куркин, Э. Л. Макаров и др.; под ред. В.М. Неровного.
– М.: Изд–во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.: ил.

70. Емелюшин А. Н. Исследование формирования структуры и свойств металла зоны термического влияния низколегированной трубной стали при различных режимах дуговой сварки / А. Н. Емелюшин, А. Б. Сычков, М. А. Шекшеев // Черная металлургия, 2013. – № 9 (1365). С. 50-52.

71. Емелюшин А. Н. Исследование свариваемости высокопрочной трубной стали класса прочности К56 / А. Н. Емелюшин, А. Б. Сычков, М. А. Шекшеев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2012. № 3. С. 26-30.

72. Рыбин В. С. Расчетная оценка влияния погонной энергии на образование холодных трещин в зоне термического влияния сварного шва / В. С. Рыбин, В. Д. Квашнин // Вест. Юж.–Урал. гос. ун–та, серия: МЕТАЛЛУР-ГИЯ, Том 14, № 4, 2014г. – С.60–65.

73. Рыбин В. С. Расчет режимов сварки для стандартных сварных соединений под флюсом с применением по "Маткад" / В. С. Рыбин, Ю. В. Безганз // Материалы 66-й научной конференции (Электронный ресурс) 15–17 апреля 2014 г. Изд-во НАУКА, Челябинск, 2014г.

74. В. С. Рыбин Расчет режимов сварки с использованием современного программного обеспечения / Рыбин В. С., Квашнин В. Д. // Вест. Юж.– Урал. гос. ун–та, серия: МЕТАЛЛУРГИЯ, Том 15, № 1, 2015г. С.42–47.

75. Бледнова Ж. М. Моделирование температурного поля при лазерной наплавке материала с памятью формы на основе никелида титана / Ж. М. Бледнова, М. А. Степаненко // Политематический сетевой электронный научный журнал Куб. гос. аграр. ун–та Издательство: Куб. гос. аграр. ун–т имени И.Т. Трубилина (Краснодар) №107, 2015г. С.858–876 76. Паршин С. Г. Исследование сварочной дуги в защитных газах в условиях воздействия воздушных потоков / С. Г.Паршин, И. В. Иванова // Сварка и диагностика, 2016. № 2. С. 46–48.

77. Бабичев М. А. Методы определения внутренних напряжений в деталях машин / М. А. Бабичев. – М.: Изд–во АН СССР, 1955. 132 с.

78. Биргер И. А. Остаточные напряжения / И. А. Биргер. – М.: МАШГИЗ, 1963. 232 с.

79. Кобрин М. М. Определение внутренних напряжений в цилиндрических деталях / М. М. Кобрин, Л. И. Дехтярь // М.: Машиностроение, 1965. 175 с.

80. Rossini N. S. Methods of measuring residual stresses in components // Materials & Design. 2012. T. 35. C. 572–588.

81. Биккинин А. И., Ризванов Р. Г. Определение оптимальных параметров формы и размеров образца уторного узла резервуара для проведения механических испытаний на долговечность / А. И. Биккинин, Р. Г. Ризванов // Нефтегазовое дело. 2017. Т. 15. № 4. С. 137-142.

82. Sachs G. The determination of residual stresses in rods and tubes // Z. Metallkunde. 1927. T. 19, №. 9. C. 352–357.

Давиденков Н. Н. Об измерении остаточных напряжений / Н. Н.
 Давиденков // Заводская лаборатория. 1950. Т. 16, № 2. С. 188.

84. Grum J. J. A comparison of tool–repair methods using CO2 laser surfacing and arc surfacing / J. J. Grum J. M., Slabe. – Applied Surface Science 208– 209, 2003. P. 424–431.

85. ТУ 1718–051–11142306–2007. Флюсы керамические.

86. ОСТ 5 Р. 9206–75. Флюсы плавленые.

87. ГОСТ 18895–97. Сталь. Метод фотоэлектрического спектрального анализа. – МСК.: Стандартинформ, 2002. – 12с.

88. ГОСТ 9454–78. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах. – М.: Стандартинформ, 2008. – 9с.

89. ГОСТ 1497–84. Металлы. Методы испытаний на растяжение. –
 М.: Стандартинформ, 2008. – 22с.

90. ГОСТ 9012-59. Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю. – М.: Стандартинформ, 2007. – 39с.

91. ГОСТ 9013–59. Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу. – М.: Стандартинформ, 2001. – 6с.

92. ГОСТ 8233–56. Сталь. Эталоны микроструктуры. – М.: Стандартинформ, 2004. – 4с.

93. ГОСТ Р 54570–2011. Сталь. Методы оценки степени полосчатости или ориентации микроструктур. – М.: Стандартинформ, 2012. – 31с.

94. Рыкалин, Н. Н. Расчеты тепловых процессов при сварке / Н. Н. Рыкалин. – М.: Машгиз, 1951. – 296 с.

95. Лыков, А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. –М.: Высшая школа, 1967. –599 с.

96. Шишков М. М. Марочник сталей и сплавов / Шишков М. М. // Справочник. Изд. 3-е дополненное. – Донецк: Юго-Восток, 2002. –456 с.

97. Павлов В. Ф. Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей по остаточным напряжениям / В. Ф. Павлов, В. А., Кирпичев, В. С., Вакулюк. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2012. – 125с.

98. Михеев Д. А., Подбор защитной атмосферы при восстановлении замковых соединений бурильных труб / Д. А. Михеев // Сборник научных статей IV-ой Международной научно-практической конференции 17–18 октября 2014 года «Перспективное развитие науки, техники, технологий», Курск, 2014. – С.226–230.

99. Михеев Д. А., Оптимизация технологии восстановления бурильных труб методом наплавки / Д. А. Михеев // Материалы IV Международной научно–практической конференции (Москва, 22 сентября 2014 г.). «Современные научные исследования: методология, теория, практика», М.: Грифон, 2014. – С.129 – 136. 100. Михеев Д. А., Отработка режима предварительного подогрева в ходе восстановительного ремонта бурильных труб / Д. А. Михеев // Материалы V всероссийской с международным участием научно–практической конференции 29 июня 2015г. «Актуальные исследования гуманитарных, естественных, общественных наук», Новосибирск. – 2015. С.128–142.

101. Михеев Д. А. Математическое моделирование процесса наплавки при восстановительном ремонте замковых соединений бурильных труб / Д. А. Михеев, А. П. Амосов // Труды международной научно–практической конференции ОАО "РосНИТИ", НО "ФРТП" 20 сентября 2016 г. «Трубы 2016» Открытое акционерное общество "Российский научно–исследовательский институт трубной промышленности" (Челябинск).

Приложение А

НЕФТЕСЕРВИСНЫЙ ХОЛДИНГ «ТАГРАС»

«ТМС - Буровой Сервис» ҖҶҖ

423450, Россия, Татарстан Республикасы, Әлмәт шәһәре, Герцен ур., 1 "д" тел. (855958) 41502, факс (85595) 41516; e-mail: tmcg@tmcg.ru



ООО «ТМС - Буровой Сервис»

423450, Россия, Республика Татарстан, г. Альметьевск, ул. Герцена, 1 «д» тел. (855958) 41502, факс (85595) 41516; е-mail:tmcg@tmcg.ru

УТВЕРЖДАЮ

Исполнительный директор

ООО «ТМС-Буровой Сервис»

Каримов Р.Р. <u></u> <u>2017г.</u>

AKT

о внедрении результатов кандидатской диссертационной работы Михеева Дмитрия Алексеевича

Комиссия в составе:

Председатель: Каримов Руслан Ракифович

члены комиссии: Антипов Юрий Николаевич, Уралов Евгений Анатольевич

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационного исследования Михеева Д.А. на тему: «МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКОЙ ЗАМКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ», представленного на соискание ученой степени кандидата технических наук, использованы ООО «ТМС-Буровой Сервис» при разработке технических условий в виде рекомендаций.

По результатам совместной работы в производство внедрены технические условия ТУ 1324-003-37072885-2015 «ТРУБЫ БУРИЛЬНЫЕ СТАЛЬНЫЕ С ПРИВАРЕННЫМИ ЗАМКАМИ ПОСЛЕ РЕМОНТА В ЧАСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗАМКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТОДОМ НАПЛАВКИ»

Использование указанных результатов позволяет значительно повысить качество ремонтируемых изделий.

Председатель комиссии:

Члены комиссии:

Каримов Р.Р. «ТМС-Буро Антипов Ю.Н. Сервис» Уралов Е.А.

Приложение Б

НЕФТЕСЕРВИСНЫЙ ХОЛДИНГ «ТАГРАС»

«ТМС - Буровой Сервис» ҖҶҖ



ООО «ТМС - Буровой Сервис»

423450, Россия, Республика Татарстан, г. Альметьевск, ул. Герцена, 1 «д» тел. (855958) 41502, факс (85595) 41516; e-mail:tmcg@tmcg.ru

УТВЕРЖДАЮ

Исполнительный директор

ООО «ТМС-Буровой Сервис»

Каримов Р.Р. <u>ит</u> «___» ____ 2017г.

AKT

о внедрении результатов кандидатской диссертационной работы Михеева Дмитрия Алексеевича

Комиссия в составе:

Председатель: Каримов Руслан Ракифович

члены комиссии: Антипов Юрий Николаевич, Уралов Евгений Анатольевич

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационного исследования Михеева Д.А. на тему: «МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКОЙ ЗАМКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ», представленного на соискание ученой степени кандидата технических наук, использованы ООО «ТМС-Буровой Сервис» при разработке руководства по эксплуатации БТ. 3369-01 РЭ «ТРУБЫ БУРИЛЬНЫЕ СТАЛЬНЫЕ С ПРИВАРЕННЫМИ ЗАМКАМИ ПОСЛЕ РЕМОНТА В ЧАСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗАМКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТОДОМ НАПЛАВКИ»

Использование указанных результатов позволяет значительно повысить жизненный цикл ремонтируемых изделий.

Председатель комиссии:

Члены комиссии:

Карилов Р.Р. МС-Буро нтипов Ю.Н. Сервис» Уралов Е.А

Приложение В



общество с ограниченной ответственностью «БУР-СЕРВИС»

тел. (8482) 63-60-31, 63-60-32, 63-60-29 burservistlt@mail.ru Почтовый адрес: 445032, РФ, а/я 3465

Dp адрес:445000, Самарская обл., г. Тольятти, ул. Воквальная, 44 ИНИ/ИП 6321316166 / 632101001, ОГРИ 1136320014654, р/сч. 40702810400030091011 в АО «Тольяттикимбанк» г. Тольятти, БИК 043678838, К/с 301018100000000888

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ООО «БУР-СЕРВИС» Мацуков В.А 2015г.

АКТ о внедрении результатов кандидатской диссертационной работы Михеева Дмитрия Алексеевича

Комиссия в составе:

Председатель: Мацуков Виктор Александрович,

члены комиссии: Антипов Юрий Николаевич, Мокеичев Олег Валентинович

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационного исследования Михеева Д.А. на тему: «МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОССТАНОВ-ЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКОЙ ЗАМКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ БУРИЛЬ-НЫХ ТРУБ», представленного на соискание ученой степени кандидата технических наук, использованы ООО «БУР-СЕРВИС» при разработке технических условий в виде рекомендаций.

По результатам совместной работы в производство внедрены технические условия ТУ 1324-003-37072885-2015 «ТРУБЫ БУРИЛЬНЫЕ СТАЛЬНЫЕ С ПРИВАРЕННЫМИ ЗАМКАМИ ПОСЛЕ РЕМОНТА В ЧАСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗАМКОВЫХ СОЕДИ-НЕНИЙ МЕТОДОМ НАПЛАВКИ»

Использование указанных результатов позволяет значительно повысить качество ремонтируемых изделий.

Председатель комиссии:

Члены комиссии:



Приложение Г



EYP-CEPBNC TOJILSTIN www.trubaneft.ru

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

«БУР-СЕРВИС»

тел. (8482) 63-60-31, 63-60-32, 63-60-29 burservistlt@mail.ru Почтовый адрес: 445032, РФ, а/я 3465

Dp адрес:445000, Самарская обл., г. Тольятти, ул. Воквальная, 44 Инн/клп 6321316166 / 632101001, огрн 1136320014654, р/сч. 40702810400030091011 в АО «Тольяттикионбанки г. Тольятти, БИК 043678838, К/с 3010181000000000838

утверждаю

Генеральный директор ООО «БУР-СЕРВИС» Мацуков В.А

АКТ о внедрении результатов кандидатской диссертационной работы Михеева Дмитрия Алексеевича

Комиссия в составе:

Председатель: Мацуков Виктор Александрович,

члены комиссии: Антипов Юрий Николаевич, Мокеичев Олег Валентинович

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационного исследования Михеева Д.А. на тему: «МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОССТАНОВ-ЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКОЙ ЗАМКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ БУРИЛЬ-НЫХ ТРУБ», представленного на соискание ученой степени кандидата технических наук, использованы ООО «БУР-СЕРВИС» при разработке руководства по эксплуатации БТ. 3369-01 РЭ «ТРУБЫ БУРИЛЬНЫЕ СТАЛЬНЫЕ С ПРИВАРЕННЫМИ ЗАМКАМИ ПО-СЛЕ РЕМОНТА В ЧАСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗАМКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТО-ДОМ НАПЛАВКИ»

Использование указанных результатов позволяет значительно повысить жизненный цикл ремонтируемых изделий.

Председатель комиссии:

Члены комиссии:

Мануков В.А. bee Антипов Ю.Н. Мокеичев О.В.

Приложение Д

ЦЕНТР СОДЕЙСТВЕЯ РАЗЗИТИВО НАУЧНЫХ НССАЛДОВАНИЙ

ООО «Центр содействия развитию научных исследований» (ООО «ЦСРНИ») ИНН/ КПП 5404455429/540401001 630041 г. Новосибирск, 1-й Экскаваторный переулок, д.23 Тел. 8-960-796-56-02 e-mail: admin@csrni.ru http://www.csrni.ru

29.06.2015 № 29.06-6

OT

Ha №_____

Акт о внедрении результатов диссертационного исследования и их апробации

Настоящим актом подтверждается, что положения и результаты диссертационного исследования Михеева Дмитрия Алексеевича внедрены в научно-методическую и проектную деятельность ООО «ЦСРНИ».

Апробация результатов диссертационного исследования осуществлялась в форме выступления на V Всероссийской с международным участием научно-практической конференции «Актуальные исследования гуманитарных, естественных, общественных наук» (Новосибирск, 29 июня 2015 г.) с докладом на тему: «Отработка режима предварительного подогрева в ходе восстановительного ремонта бурильных труб».

Выходные данные публикации:

Михеев Д. А. Отработка режима предварительного подогрева в ходе восстановительного ремонта бурильных труб // Актуальные исследования гуманитарных, естественных, общественных наук: Материалы V Всероссийской с международным участием научно-практической конференции (Новосибирск, 29 июня 2015 г.). – Новосибирск: ООО «ЦСРНИ», 2015. – С. 128-141

Директор ООО «Центр содействия развитию научных исследований»



Приложение Е



Российская Федерация Общество с Ограниченной Ответственностью НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБ 443069, г. Самара, ул. Авроры 110, литер НН1, комната 110, тел.: (846) 973-54-06, факс: (846) 973-54-07, E-mail: ynutg/ynitoeft.ru/ИНИ/КШИ 6311133685/631101001 **УТВЕРЖДАЮ** СОГЛАСОВАНО Генеральный директор ООО ИНИИнортструбы» Исполнительный директор ООО «ТМС-Буровой Сервис» Р.Р. Каримов О.Н. Антипов ТРУБЫ БУРИЛЬНЫЕ СТАЛЬНЫЕ С ПРИВАРЕННЫМИ ЗАМКАМИ ПОСЛЕ РЕМОНТА В ЧАСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗАМКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТОДОМ НАПЛАВКИ Технические условия TY 1324-003-37072885-2017 согласовано **РАЗРАБОТАНО** Начальник Центра Начальник Технологической службы прикладного материаловедения ООО «ТМС-Буровой Сервис» ООО «НИИнефуструбы» Е.А. Уралов ПСКА. Михеев 10.20171 17 33 CHARLED

Настоящие технические условия распространяются на трубы бурильные стальные группы прочности «Д» с приваренными замками, бывшие в эксплуатации, но не ниже 3-го класса по РД 39-013-90 по износу тела трубы и восстановленные в части наружной поверхности замка и длин цилиндрических поверхностей замковых деталей методом наплавки.

Трубы, после ремонта в части восстановления замковых деталей методом наплавки, предназначены для строительства и освоения нефтяных, газовых и газоконденсатных скважин, а также для проведения аварийно-восстановительных и ремонтных работ на скважинах.

Трубы по настоящим техническим условиям могут быть использованы во всех климатических районах от I₁ до II₁₂ по ГОСТ 16350. Категория размещения I по ГОСТ 15150.

1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

1.1 Основные параметры и характеристики

1.1.1 На ремонт в части восстановления замковых деталей методом наплавки подаются трубы прошедшие входной контроль и дефектоскопию не ниже 3-го класса по износу тела трубы (по толщине стенки) с замками 3-го класса по абразивному износу наружной поверхности. Замки, не достигшие 3-го класса по абразивному износу наружной поверхности, подвергаются ремонту методом наплавки при достижении минимально допустимой длины цилиндрических частей ниппеля и муфты вследствие ранее проводимых перенарезок резьбы.

1.1.2 Ремонту в части восстановления замковых деталей методом наплавки подвергаются трубы всех групп длин в соответствии с ГОСТ Р 50278.

1.1.3 Схема ремонта труб в части восстановления замковых деталей методом наплавки приведена на рисунке 1. Сортамент и основные размеры труб приведены в таблице 1.

1.1.4 Нанесение наплавки на изношенную поверхность замка производить методом электродуговой наплавки под слоем флюса.

1.1.5 Наплавка производится на наружную поверхность замка с использованием проволоки 30ХГСА диаметром 2 мм по ГОСТ 2246 под слоем смеси плавленого флюса 48 ОФ-10 (ОСТ 5 Р.9206-75) и керамического флюса ЭЛЗ-ФКН-1/55(Б) (ТУ 1718-051-11142306-2007) в соотношении 1:1.

1.1.6 Поверхность замка должна быть очищена от ржавчины, окалины и других загрязнений до металлического блеска. Допускается производить очистку металлической щеткой или шлифовальной машиной.

1.1.7 Перед проведением наплавки необходимо обеспечить прокалку флюса до 350°С в течение 1 часа.

1.1.8 Механическое загрязнение флюса не допускается.

1.1.9 Сварочная проволока должна быть гладкой, без перегибов, заусенцев, задиров, очищена от ржавчины. Запрещается применять неочищенную проволоку.

1.1.10 Перед наплавкой должно быть проверено соответствие маркировки сварочной проволоки и флюса сертификатам на них.

 1.1.11 Перед наплавкой необходимо произвести предварительный индукционный нагрев изделия до 250 °C.

 1.1.12 Наплавку муфтовой и ниппельной части замка под флюсом производить непрерывно.

 1.1.13 Необходимо своевременно удалять шлаковую корку, с целью предотвращения структурных изменений в металле вследствие перегрева.

1.1.14 Толщина единовременно наплавляемого слоя не должна превышать 3 мм.

D3		илиндриче- осле ремонта	авкои	Муфты, L ум	40.0 - 50.0	40.0 - 50.0	40,0 - 50,0	40,0 - 50,0	40,0 - 50,0	50,0 - 60,0	50,0 - 60,0	50.0 - 60.0	50.0 - 60.0	50,0 - 60,0	50,0 - 60,0	50,0 - 60,0	5
Ga замиоеая		Удлинение 1 ской части п	Капла	Ниппеля, Lva	30,0 - 40,0	30.0 - 40.0	30,0 - 40,0	30,0 - 40,0	30,0 - 40,0	40,0 - 50,0	40,0 - 50,0	40.0 - 50.0	40.0 - 50.0	40,0 - 50,0	40,0-50,0	40,0 - 50,0	высоты профи
Pese no r	Грм	ндрической (наплавкой		Mydra, L _{pu}	C/11 0 121	131.0	131,0	143,7	143,7	155,6	155,6	155.6	155.6	155,6	169,1	169,1	износе на Уз-
9	Lyu	Длина цили части перед		Ниппеля, Lpu	101,6	101.6	101,6	101,6	101,6	101,6	101,6	1111	107.9	115,1	123,8	123,8	ьбы зкн резьбы при
aenener 0	доно	yóы, S	ной, не ее	3 KHACC	5.6	5.9	7,1	5,9	7,1	5,4	6,8	6.8	5.8	7,9	5,8	7,9	сэки резн
Han Cnoù	Ceal	тенки тр	ремонти	2 класс	7.4	7.5	9,1	7,5	9,1	6,9	8,7	8.7	7,4	10,2	7,4	10,2	перенар альной п
wa	00	Толщина с	no FOCT P 50278	l knacc	2,6	9,4	11,4	9,4	11,4	8,6	10,9	10.9	9.2	12,7	9,2	12,7	цопустимой вой манима
o and a second	Сеарн	кный) замка нта, D _P снее	3 KJIACC	0.00	00,70	100,0	100,0	115,0	120,7	151,0	151,0	153.9	153.9	153,9	169,1	169,1	ледней д
annaene Dó	HA	л- Наруз диаметр до ремо не мо	2 KJIACC	0.00	0,24	104.7	104,7	117,4	123,2	154,2	154,2	157.1	157.1	157,1	172,7	172,7	OCTE DOC
τ.S	1	нациметрах Наружный циаметр замка по	27834 1 knace D-	C- (200000 -	2,07	108,0	108,0	120,7	127,0	158,8	161.0	161.9	161.9	161,9	177,8	177,8	гимой длин
	Гри	азмеры (в м Наружный диаметр высадки	по ГОСТ Р 50278, D _B	100	81.0	92,1	92,1	98,4	98,4	119,1	119,1	127.0	130.2	130,2	144,5	144,5	ьной длины ально допус
334/K0689		основные р Наружный диаметр трубы по	TOCT P 50278, Dm	0.0	73.0	88,9	88,9	88,9	88,9	114,3	114.3	114.3	127,0	127,0	127,0	127,0	H3 MHHMMAJ H3 MAKCHM
Peabds		амснт н Резьба			3-86	3-86	3-86	3-102	3-102	3-122	3-122	3-133	3-133	3-133	3-147	3-147	Н ИСХОДЯ Н ИСХОД
. dα εα		aamep	3aMKa	00 30 LIC	311-105-54	311-10844	ЗП-108-41	311-121-68	311-127-65	311-159-83	311-152-05-1	311-162-92	311-162-95-2	311-162-89-2	311-178-102	311-178-102	азмер указак размер указа
		Tump	трубы	0.22 011	6467-011	TIB-89x9	IIB-89x 11	6x68-HII	111 x68-HII	IIK-114x9	THL-114v0	TH-114x11	IIK-127x9	IIK-127x13	IIH-127x9	IIH-127x13	• - данный р • • - данный

 1.1.15 Токарная обработка наплавленного слоя должна выводить диаметр замковых дсталей до размеров по ГОСТ 27834.

 1.1.16 Форма и размеры профиля резьбы (правой, левой), а также отклонения параметров резьбы после ремонта должны соответствовать ГОСТ 28487, ГОСТ Р 50864.

1.1.17 С целью предотвращения заедания резьбовых соединений, возникновения зади-ров, а также коррозии проводится фосфатирование ниппельных и муфтовых концов бурильных труб, прошедших ремонтный цикл.

1.1.18 Внешний вид фосфатного покрытия должен соответствовать ГОСТ 9.301-86. 1.1.19 После фосфатирования производится пробное свинчивание замковых резьбовых соединений с использованием цепных ключей.

1.2 Требования к материалу

1.2.1 Ремонту в части восстановления замковых деталей подвергаются трубы, замки которых изготовлены из материала 40ХМФА по ГОСТ 4543 со следующими механическими характеристиками после термообработки:

Временное сопротивление од, МПа (кгс/мм), не 981 (100) менее

Предел текучести от, МПа (кгс/мм ²), не менее	832 (85)
Относительное удлинение 8, % не менее	13.
Относительное сужение ф, % не менее	50
Твердость по Бринеллю НВ,	300355
Ударная вязкость КСV, кДж/см ² не менее)	589 (6)
2.2 Тверлость наплавленного слоя 285-355HB	

 1.2.3 Механические свойства металла ремонтируемых труб должны соответствовать ГОСТ Р 50278.

1.2.4 Применяемые для наплавки стальная сварочная проволока должна отвечать требованиям ГОСТ 2246, плавленый флюс - требованиям ОСТ 5 Р.9206-75, а керамический флюс - гребованиям ТУ 1718-051-11142306.

1.3 Комплектность

1.3.1 Каждая ремонтная труба поставляется с комплектом предохранительных элементов на резьбах.

1.3.2 Комплект поставки включает бурильную трубу и два резьбовых полимерных протектора (предохранительные детали), закрепленных на "ее концах, а также сопроводительную документацию, оговариваемую обеими сторонами в договоре на каждую поставку.

 Каждая поставляемая партия ремонтных труб сопровождается документом, удостоверяющим соответствие их качества требованиям настоящих технических условий и содержащим:

- наименование предприятия, выполнявшего ремонт труб;
- дату ремонта;
- типоразмер труб;
- класс по износу тела трубы
- количество труб в партии;
- результаты испытаний;
 - обозначение настоящих ТУ.

1.3.3 В общем случае сопроводительная документация на партию

отремонтированных бурильных труб должна содержать следующие документы:

 документ о качестве (паспорт), удостоверяющий соответствие труб и муфт требованиям нормативной документации;

- рекомендации по эксплуатации труб и замковых резьбовых соединений.

1.4 Маркировка

1.4.1 На наружной поверхности каждой трубы, по образующей, на расстоянии 300 мм от начала конуса хвостовика ниппеля должна быть нанесена четкая маркировка клеймами шрифтом 6-ПрЗ или 8-Пр по ГОСТ 26.008.

1.4.2 Маркировка наносится в соответствии с ГОСТ 27834, кроме:

 шифр или товарный знак предприятия- изготовителя заменяется на шифр или товарный знак предприятия выполнявшего ремонт;

- дата выпуска замка заменяется на дату ремонта.

Пример маркировки ударным способом:

Товарный знак ПК 127 74 Р2 329 09 15 003.

Товарный знак - товарный знак предприятия выполнявшего ремонт;

ПК 127 74 Р2 - условное обозначение трубы, содержащее:

ПК - тип высадки - ПК, ПН или ПВ;

127 - условный диаметр трубы, мм;

74 - толщина стенки для труб данного класса (при нанесении маркировки толщины стенки запятая, разделяющая целые и десятые доли миллиметра не проставляется); Р2 - класс ремонтной трубы по износу - Р2 или Р3;

329 - номер ремонтной трубы;

09 15 - месяц и год ремонта (последние две цифры);

003 - сокращенный номер настоящих технических условий;

В случае сохранения маркировки изготовителя трубы наносится только товарный знак предприятия выполнявшего ремонт и дата ремонта.

1.4.3 На каждой трубе наносится маркировка устойчивой светлой краской. Содержание маркировки в соответствии с ГОСТ Р 50278, кроме:

перед типом трубы наносится буква Р (ремонтируемая);

месяц и год выпуска трубы заменяется на месяц и год ремонта (последние);

- добавляется номер настоящих ТУ.

1.5 Упаковка

1.5.1 Все трубы должны быть прочно увязаны и надежно закреплены внутри упаковки от свободного перемещения при транспортировании.

1.5.2 По требованию заказчика пакеты труб могут быть снабжены специальными хомутами, обеспечивающими безопасность строповки при погрузочно-разгрузочных работах.

1.5.3 По требованию заказчика, с целью предохранения от коррозии при транспортировании и хранении, наружная поверхность труб и муфт должна быть защищена консервационным покрытием, выполненным в соответствии с технической документацией, утвержденной в установленном порядке.

1.5.4 В процессе упаковки наличие резьбовых протекторов (предохранительных деталей) на ниппельном и муфтовом концах бурильных труб является обязательным.

1.5.5 Для предохранения резьбы от атмосферной коррозии при навинчивании резьбовых протекторов (предохранительных деталей) на резьбовые поверхности должна быть нанесена консервационная или эксплуатационная смазка, имеющая консервационные свойства.

1.5.6 Остальные требования к упаковке труб в соответствии с ГОСТ Р 50278 и ГОСТ 23170.

1.5.7 Трубы увязываются в пакеты массой не более 5 т (по требованию потребителя не более 3 т) катаной проволокой диаметром не менее 6 мм по ГОСТ 3282. В одном пакете должны быть трубы одной партии.

2. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

2.1 Бурильная труба после восстановления, как самостоятельное изделие, не представляет опасности для жизни и здоровья людей и окружающей природной среды в течение и после окончания срока эксплуатации.

2.2 Бурильная труба является составной частью бурильной колонны, собранной из различных по назначению бурильных труб, являющейся непосредственно рабочим инструментом бурильной установки при бурении скважин.

2.3 Требования безопасности к оборудованию для бурения нефтяных и газовых скважин по ГОСТ 12.2.041.

2.4 Погрузочно-разгрузочные работы при перемещениях бурильных труб должны быть механизированы. Требования безопасности к проведению погрузочноразгрузочных работ по ГОСТ 12.3.009.

2.5 После окончания срока эксплуатации, бурильные трубы подвергаются утилизации методом переплава.

3. ПРАВИЛА ПРИЕМКИ

3.1 Трубы принимаются партиями. В партию должны входить трубы одного типоразмера, группы прочности и одного класса износа по телу труб, но не более 200 штук.

3.2 Каждая труба после ремонта должна быть принята техническим контролем ремонтного предприятия в соответствии с требованиями настоящих технических условий.

3.3 В процессе приемки трубы должны подвергаться приемо-сдаточным и периодическим испытаниям в соответствии с таблицей 2

. Таблица 2 – Правила приемки

№ п/п	Наименование параметра	Пункт	ты ТУ	Виды испытаний			
		технических требований	методов испытаний	приемо- сдаточные	периодические		
I	Основные параметры ремонтируемых труб	1.1.1	4.2	+	-		
2	Основные геометрические размеры	1.1.2	4.3	+	-		
			1.1.3		+	-	
		1.1.16		r +	-		
3	Предварительная обработка поверяностей замковых депалей	1.1.6	4.4	+	-		
4	Соблюдение требований технологического процесса	1.1.5	4.5 н 4.7	- /	+		
5	Требования к материалу	12	4.6	+	-		
6	Комплектность	1.3	4.8	+	_		
7	Маркировка	1.4	4.9	+	_		
8	Упаковка	1.5	4.10	+	-		

3.4 Приемо-сдаточным испытаниям подвергается каждая отремонтированная труба.

3.5 Периодическим испытаниям подвергается одна труба от партии.

3.6 Трубы считаются выдержавшими испытания, если результаты испытаний удовлетворяют требованиям настоящих ТУ.

3.7 Если результаты испытаний не удовлетворяют хотя бы по одному требованию, испытания проводятся повторно на удвоенном количестве труб (на двух трубах). При получении вторично отрицательных результатов по тем же параметрам испытаниям подвергаются все трубы из партии.

3.8 Класс износа определяют по данным дефектоскопии и инструментального контроля. Для проверки соответствия труб требованиям настоящих ТУ проверяют: качество поверхности и геометрические параметры замков в соответствии с ГОСТ 27834;

- содержание и наличие маркировки замков и труб на соответствие

сопроводительной документации;

- твердость по Бринеллю (HB) по ГОСТ 9012 каждого замка;

 механические свойства наплавляемой проволоки принимают по сертификату к ней;

4 МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

4.1 Проверка требований технических условий проводится в соответствии с технологическим процессом на каждой ремонтируемой трубе в соответствии с ГОСТ Р 50864 и ГОСТ 28487.

4.2 Проверка параметров по пункту 1.1.1 производится путем сличения сопроводительной документации на соответствие условного обозначения, указанного на трубе и в документации.

4.3 Проверку геометрических размеров труб и замков осуществляют с помощью универсальных или специальных измерительных средств и приборов, обеспечивающих необходимую точность измерения по соответствующей нормативной и технической документации. Методы контроля геометрических параметров замков должны соответствовать ГОСТ 27834.

4.4 Качество предварительной обработки замковых деталей п. 1.1.6 контролируется визуально на наличие металлического блеска.

4.5 Соблюдение требований технологического процесса п. 1.1.5 проверяется в процессе ремонта трубы на последовательность операций и соответствие режимов действующей технологической инструкции.

4.6 Контроль качества поверхности замка с наплавленным слоем, правильности нанесения маркировки должен проводиться визуально обученным персоналом. Минимальный уровень освещенности контролируемой поверхности должен составлять 500 люкс. Резьбовые поверхности ниппельной и муфтовой частей трубы должны быть подвергнуты визуальному контролю до нанесения фосфатного покрытия.

4.7 Требования к материалу замковых деталей и труб проверяются по данным сопроводительной документации непосредственно перед подачей труб на ремонт методом наплавки.

4.8 Контроль твердости наплавленного слоя осуществляется прибором для измерения твердости в объеме 100% от общего количества замковых соединений, наплавленных за смену. Допускается контроль твердости поверхности наплавленного слоя производить малогабаритным переносным прибором (твердомером), удовлетворяющим по точности установленным требованиям.

4.9 Контроль качества фосфатного покрытия осуществляется прибором для измерения толщины защитных покрытий, обеспечивающих необходимую точность измерения по соответствующей нормативной и технической документации. Контроль осуществляется в объеме 10% от общего количества замковых соединений, подвергнутых фосфатированию за смену.

4.10 Комплектность контролируется путем проверки наличия предохранительных элементов, сопроводительной документации и правильности её оформления Маркировка труб проверяется визуально на четкость клеймения и содержания маркировки в указанных местах, а также на наличие на наружной поверхности замковых деталей опознавательных поясков.

4.11 Упаковка труб контролируется визуально на наличие предохранительных деталей и противокоррозионной обработки резьбы и упорных поверхностей замков, а также на качество увязки труб в пакеты.

5. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И ХРАНЕНИЕ

5.1 Бурильные трубы могут транспортироваться любыми видами транспорта на открытых (закрытых) транспортных средствах согласно правилам перевозки грузов, действующих на каждом виде транспорта.

5.2 Условия транспортирования бурильных труб в части воздействия климатических факторов внешней среды должны соответствовать группе 8 (ОЖ 3) ГОСТ 15150.

5.3 Условия транспортирования в части воздействия механических факторов должны соответствовать следующим группам по ГОСТ 23170:

 средние (С) при перевозке различными видами транспорта, кроме транспортирования морем;

- жесткие (Ж) при транспортировании морем.

5.4 Условия хранения должны соответствовать группе 5 (ОЖ 4) ГОСТ 15150.

5.5 Проверка условий хранения УБТ должна производиться два раза в год.

5.6 Допускается хранение на открытом воздухе. Изделия должны храниться на стеллажах, расстояние от поверхности земли до нижнего яруса УБТ должно быть не менее 0,5 м.

6. УКАЗАНИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

6.1 Требования по эксплуатации отремонтированных бурильных стальных труб по настоящим ТУ аналогичны требованиям по эксплуатации бурильных труб, изготовленных в соответствии с ГОСТ Р 50278, ГОСТ Р 54383 и установлены в руководстве по эксплуатации на трубы для соответствующего класса.

7. ГАРАНТИИ ПОСТАВЩИКА

7.1 Поставщик гарантирует соответствие труб требованиям настоящих технических условий при соблюдении потребителем условий транспортирования, хранения, погрузочно-разгрузочных работ и эксплуатации, установленных настоящими техническими условиями.

Приложение А (справочное)

Перечень нормативной документации Таблица А1

1

.....

1

Обозначение	Наименование
ГОСТ 9.301-86	EC3KC. Покрытия металлические и неметаллические. Общие требования
FOCT 12.1.004-91	ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования
ГОСТ 12.1.019-79	ССБТ, Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
ГОСТ 12.2.003-91	ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности
FOCT 12.3.002-75	ССБТ. Производственные процессы. Общие требования»
ГОСТ 26.008-85	Шрифты для надписей, наносимых методом фазирования. Исполнительные размеры
ГОСТ 2246-70	Проволока стальная сварочная. Технические условия
FOCT 9012-59	Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю
FOCT 15150-69	Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнение для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации. Хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды
ГОСТ 16350-80	Климат СССР. Районирование и статические параметры климатических факторов для технических целей
ГОСТ 27834-95	Замки приварные для бурильных труб. Технические условия
ГОСТ Р 50278-92	Трубы бурильные с приваренными замками
TOCT P 54383-2011	Трубы стальные бурильные для нефтяной и газовой промышленности
ГОСТ Р 50864-96	Резьба коническая замковая для элементов бурильных колони.
ГОСТ 28487-90	Резьба коническая замковая для элементов бурильных колонн.
ПБ 08-624-03	Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности
РД 39-013-90	Инструкция по эксплуатации бурильных труб
TY 6-09-3503-75	Концентрат противоизносный фосфатирующий КПФ-1
ТУ 1718-051-11142306-2007	Флюс керамический марки ЭЛЗ-ФКН-1/55(Б)
OCT 5 P.9206-75	Плавленый флюс 48-ОФ-6

	H	мера лист	ов (стран	ниц)	Bcero		Входящий №		
Изм.	изменен- ных	заменен- ных	новых	аннулиро- ванных	листов (страниц) в докум.	№ докум.	сопроводи- тельного докум. и дата	Подп.	Дата
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-					-			-	-
-									-
-									
					-				
-									-
-						-		100	
-									-
-									
-			-						
					-				
-									-
-				-					
				1					
-									
						_			
-									
							-		
-									_
-									
					1				
-									_
-									
-						1			
+									
-								_	
									-

Приложение Ж



Российская Федерация Общество с Ограниченной Ответственностью НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБ 443069, г. Самара, ул. Авроры 110, литер IIII, комиата 110, тел.: (846) 973-54-06, факс: (846) 973-54-07, E-mail: <u>vnii/@vniifnclt.ry</u> IIIII / КПП 6311133685/631101001 **СОГ.ЛАСОВАНО УТВЕРЖДАЮ** Генерафьный лиректор ООО/НИИнефтерубы» Исполнительный директор ООО «ТМС-Буровой Сервис» Н. Антипов Р.Р. Каримов ТРУБЫ БУРИЛЬНЫЕ СТАЛЬНЫЕ С ПРИВАРЕННЫМИ ЗАМКАМИ ПОСЛЕ РЕМОНТА В ЧАСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗАМКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТОДОМ наплавки Руководство по эксплуатации БТ. 3369-01 РЭ **РАЗРАБОТАНО** СОГЛАСОВАНО Начальник Технологической службы Начальник Центра прикладного материаловедения ООО «ТМС-Буровой Сервис» ООО «НИИнсфтетрубы» Е.А. Уралов Шананхеев 10 » 10. 20171 Самара

Трубы бурильные стальные группы прочности D 2, 3 класса по износу тела [1] с приваренными замками после ремонта в части восстановления замковых деталей методом наплавки, далее по тексту (бурильные трубы), выпускаемые по техническим условиям (ТУ 1324-002-96380705-2008), могут быть использованы для строительства нефтяных и газовых скважин с учетом рекомендаций, приведенных в Руководстве.

Руководство отражает основные вопросы эксплуатации данных бурильных труб на предприятиях нефтегазодобывающего комплекса.

Приведенные технические характеристики на трубы являются обще информационными. За детальной информацией следует обращаться к техническим условиям (**ТУ 1324-002-**96380705-2008).

Данное Руководство обязательно для исполнения Потребителями бурильных труб.

1 СОРТАМЕНТ ТРУБ

1.1 Сортамент бурильных труб и основные размеры приведены в таблице 1.

Таблица 1

Типор	размер		A	P	a a	Толщин	а стенки	трубы	Дл	на
		้ะรษดีส	ный диамет езьбы СТ Р 50278	њий днамет меадки СТ Р 50278	ный диамет коле ремонт ветствии с СТ 27834	по ГОСТ Р 50278	ремон не м	птной, енее	части ремо не м	после онта енее
труоы	замка	4	Наружа р по ГО	Hapyжe Bt no l'O	Наружн замка по сооти ГОО	1-го класса	2-го класса (Р-2)	3-го класса (Р-3)	Ниппеля	Муфты
ПВ-73×9	3П-95-32	3-73	73,0	76,2	95,2	9,2	7,4	5,8	141,6	167,5
ПН-73×9	3П-105-54	3-86	73,0	81,0	104,8	9,2	7,4	5,8	141,6	181,0
ПВ-89×9	3П-108-44	3-86	88,9	92,1	108,0	9,4	7,5	5,9	141,6	181,0
П В-8 9×11	3П-108-41	3-86	88,9	92,1	108,0	11,4	9,1	7,1	141,6	181,0
ПН-89×9	3П-121-68	3-102	88,9	98,4	120,7	9,4	7,5	5,9	141,6	193,7
П H-8 9×11	3П-127-65	3-102	88,9	98,4	127,0	11,4	9,1	7,1	141,6	193,7
ПК-114×9	ЗП-159-83	3-122	114,3	119,1	158,8	8,6	6,9	5,4	141,6	215,6
ПК-114×11	3П-159-76	3-122	114,3	119,1	158,8	10,9	8,7	6,8	161,1	215,6
ПК-114×9	3П-162-95-1	3-133	114,3	127,0	161,9	8,6	6,9	5,4	159,5	215,6
ПК-114×11	311-162-92	3-133	114,3	127,0	161,9	10,9	8,7	6,8	161,1	215,6
ПК-127×9	3П-162-95-2	3-133	127,0	130,2	161,9	9,2	7,4	5,8	157,9	215,6
ПК-127×13	ЗП-162-89-2	3-133	127,0	130,2	161,9	12,7	10,2	7,9	165,1	215,6
ПН-127×9	3П-178-102	3-147	127,0	144,5	177,8	9,2	7,4	5,8	173,8	229,1
ПН-127×13	3П-178-102	3-147	127,0	144,5	177,8	12,7	10,2	7,9	173,8	229,1

Сортамент и основные размеры труб

1.2 Длина поставляемых труб в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50278 и определяется как расстояние между упорным уступом ниппеля и упорным торцом муфты замка.

2 ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРУБ

2.1 Механические свойства тела трубы должны соответствовать группе прочности Д по ГОСТ Р 50278 и приведены в таблице 2 Таблица 2

Механические свойства	Нормы механических свойств из стали группы прочности Д
Временное сопротивление оВ, Н/мм2 (кгс/мм2), не менее	- 655 (66,8)
Предел текучести оТ, Н/мм2 (кгс/мм2) не менее	379 (38,7)
Относительное удлинение, δ5, %, не менее	16 .
Относительное сужение после разрыва, %, не менее	50
Ударная вязкость КСV кДж/м2 (кгс/см2), не менее	690 (7)

2.2 Механические свойства приварных замков должны соответствовать ГОСТ 27834 и быть не ниже указанных в **таблице 3.**

.

Механические свойства мета	ляа приварных замков
Механические свойства	Нормы механических свойств стали 40ХМФА
Временное сопротивление оВ, Н/мм2 (кгс/мм2), не менее	981 (100)
Предел текучести оТ, Н/мм2 (кгс/мм2) не менее	832 (85)
 Относительное удлинение, 65, %, не менее 	13
Относительное сужение после разрыва, %, не менее	50
Ударная вязкость КСV кДж/м2 (кгс/см2), не менее	589 (6)
Твердость по Бринеллю основного материала замка, НВ	300355
Твердость наплавленного слоя, НВ	285355

2.3 На наружной и внутренней поверхности замков не должно быть трещин, волосовин, плен, раковин и расслоений.

Поверхности упорного уступа ниппеля, упорного торца муфты, заплечика, перехода от хвостовика и цилиндрической части должны быть гладкими, без заусенцев, рванин и забоин. 2.4 Натяг резьбы ниппеля должен соответствовать ГОСТ Р 50864 и указан на рисунке 1.



Тип замка	Крутящий момент свинчивания, Н□м (кгс.м)	Максимальная растягивающая сила, кН (тс)	Максимальный крутящий момент Н□м (кгс.м)				
	Расчетный коэффициент трения						
	0,10	0,10	0,10				
3П-105-54	7990 (814,6)	1597 (162,8)	15137 (1543)				
3П-108-44	10210 (1041)	2154 (219,6)	20190 (2058)				
3П-108-41	10635 (1084)	2320 (236,5)	21680 (2210)				
3П-121-68	11615 (1184)	2119 (216,0)	23250 (2370)				
3П-127-65	14275 (1455)	2370 (241,7)	25900 (2640)				
ЗП-159-83	26625 (2714)	3227 (329,0)	43145 (4398)				
311-159-76	29500 (3007)	3827 (390,1)	50740 (5172)				
3П-159-70	31880 (3250)	4374 (445,9)	57685 (5880)				
3П-162-95-1,2	26880 (2740)	3320 (338,5)	47580 (4850)				
ЗП-162-92	28420 (2897)	3668 (373,9)	52290 (5330)				
ЗП-162-89-2	29820 (3040)	4005 (408,2)	56880 (5798)				
ЗП-178-102	37533 (3826)	4590 (468,0)	71985 (7228)				

2.7 Эксплуатационные характеристики труб различных классов определены по аналогии с техническими характеристиками новых труб (1 класса) с учетом регламентированных толщин стенок – для 2 класса – 80%, для 3 класса – 62,5% от их номинальных значений и приведены в таблицах 5-7.

Таблнца 5

.

Осевая растягивающая нагрузка бурильных труб 2 и 3 класса группы прочности Д, соответствующая пределу текучести, кН (тс)

Номинальный наружный	Номинальная толщина стенки,	Толщина стенки, мм	Растягивающая нагрузка, кН (тс)	Толщина стенки, мм	Растягивающая нагрузка, кН (тс)
диаметр, мм	MM	Ki	Tace 2	Kı	acc 3
73,0	9,2	7,4	559,1 (57,1)	5,8	436,8 (44,6)
00.0	9,4	7,5	708,2 (72,3)	5,9	553,3 (56,5)
88,9	11,4	9,1	841,6 (86,0)	7,1	657,5 (67,2)
	8,6	6,9	861,6 (88,0)	· 5,4	673,1 (68,8)
114,3	10,9	8,7	1075,2 (109,8)	6,8	840,0 (85,8)
102.0	9,2	7,4	1032,0 (105,4)	5,8	806,3 (82,3)
127,0	12,7	10,2	1382,4 (141,2)	7,9	1080,0 (110,3)

Таблица 6

Крутящий момент бурильных труб 2 и 3 класса группы прочности Д, соответствующий пределу текучести, Н-м

		(8	тс.м)		
Номинальный наружный диаметр, мм	Номинальная толщина стенки, мм	Толщина стенки, мм	Крутящий момент, Нм (кгс м)	Толщина стенки, мм	Крутящий момент, Нм (кгс м)
		Клас	xc 2	Кл	acc 3
73,0	9,2	7,4	8854 (904)	5,8	6693 (683)
00.0	9,4	7,5	14317(1462)	5,9	10958 (1119)
88,9	11,4	9,1	16000 (1634)	7,1	12025 (1228)
114.2	8,6	6,9	24195 (2471)	5,4	18602 (1899)
114,3	10,9	8,7	28392 (2899)	6,8	21657 (2211)
	9,2	7,4	32284 (3297)	5,8	24880 (2541)
127,0	12,7	10,2	40467 (4132)	7,9	30506 (3115)

Таблица 7

Внутреннее давление бурильных труб 2 и 3 класса группы прочности Д, соответствующее пределу текучести, МПа (кгс/см²)

Наружный	Класс	2	Класс	: 3
диаметр трубы и номинальная толщина стенки, мм	Толщина стенки, мм	Внутреннее давление	Толщина стенки, мм	Внутреннее давление
73,0 × 9,2	7,4	67,3 (686)	5,8	57,72 (588)
88,9 × 9,4	7,5	55,95 (570)	5,9	44,01 (449)
88,9 × 11,4	9,1	67,89 (692)	7,1	52,97 (540)
114,3 × 8,6	6,9	40,02 (408)	5,4	31,32 (319)
114,3 × 10,9	8,7	50,46 (514)	6,8	39,44 (402)
127,0 × 9,2	7,4	38,63 (394)	5,8	30,28 (309)
127,0 × 12,7	10,2	53,24 (543)	7,9	41,24 (420)

3 МАРКИРОВКА

3.1. На наружной поверхности каждой трубы по образующей на расстоянии 300 мм от начала конуса хвостовика ниппеля должна быть нанесена четкая маркировка клеймами шрифтом не менее ПО-8 по ГОСТ 2930.

Маркировку наносят ударным способом в следующей последовательности:

- товарный знак предприятия выполнявшего ремонт;
- условное обозначение трубы, содержащее:
- тип высадки ПК, ПН или ПВ;

- условный диаметр трубы, мм;

- класс ремонтной трубы по износу Р2 или Р3;
- номер ремонтной трубы;
- месяц и год ремонта (последние две цифры);
- сокращенный номер настоящих технических условий 002;

клеймо ОТК предприятия, выполнявшего ремонт.

Пример: Товарный знак ПК 127 Р2 329 09 08 002 ОТК

3.2 На поверхности конуса ниппеля за сбегом резьбы наносится ударным способом буква «У» шрифтом ПО-8 по ГОСТ 2930.

3.3 На наружной поверхности ниппеля на расстоянии 60 мм от конуса хвостовика и на наружной поверхности муфты на расстоянии 30 мм от заплечика проточкой выполняются опознавательные пояски, обозначающие класс износа ремонтной трубы (один поясок – для труб 2-го класса, два пояска – для труб 3-го класса).

4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ (ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ)

4.1 Бурильные трубы после ремонта путем восстановления замковых деталей методом наплавки могут эксплуатироваться при выполнении условия прочности (статической, усталостной) с учетом износа тела трубы (класса трубы).

4.2 При их эксплуатации необходимо определять следующие нагрузки и параметры, действующие на трубу:

- момент свинчивания резьбового соединения;
- осевую силу;
- крутящий момент;

искривление скважины;

давление среды (внутреннее, наружное);

 число циклов: оборотов, затяжки, посадки, заклинки, СПО и других переменных нагрузок;

а также параметры:

температуру среды;

- удельный вес среды;

- коррозионно-активные компоненты среды.

4.3 Нагрузки не должны превышать (с учетом сложнонапряженного состояния) предельных нагрузок, приведенных в таблицах 4-7 с учетом действующих коэффи-циентов запаса прочности [3].

4.4 О всех отказах, авариях, отбраковках, связанных с качеством замков сообщается предприятию, проводившему их ремонт.

При выполнении требований п.п. 4.1 – 4.3 предприятие гарантирует безотказность работы бурильных труб после ремонта.

5 ТРЕБОВАНИЯ К ПОДГОТОВКЕ ТРУБ К ЭКСПЛУАТАЦИИ

5.1 Подготовка труб к эксплуатации включает следующие операции:

 комплектование, т.е. сборку ремонтных труб в комплекты, для которых проведен расчет на прочность согласно «Инструкции по расчету бурильных колонн» по предельным нагрузкам для труб соответствующих классов по износу;

маркировку труб комплекта клеймением;

составление необходимой документации на комплект труб (акт, паспорт-журнал).

5.2 Каждому комплекту присваивается порядковый номер, и всем трубам комплекта также присваивают свои порядковые номера. Все трубы маркируют стальными клеймами (высота цифр и букв с закругленными контурами не более 20 мм). Глубина маркировки на теле трубы не должна превышать 1 мм. Маркировку наносят на ниппельном конце труб на хвостовике ниппеля на расстоянии от 20 до 25 мм от конической части.

5.3 Маркировка включает: порядковый номер комплекта, букву Р, класс трубы по износу тела, последнюю цифру года ремонта трубы и порядковый номер трубы в комплекте.

5.4 Пример маркировки бурильной трубы: 20 P 2 09 08 42.

Здесь 20 – порядковый номер комплекта, Р- ремонтная, 2- класс трубы, 09 08 – месяц и год ремонта (последние две цифры), 42 – порядковый номер трубы в комплекте.

6 УЧЕТ РАБОТЫ И ДВИЖЕНИЯ ТРУБ

6.1 На каждый комплект бурильных труб составляется паспорт-журнал в двух экземплярах (приложение А). Трубы, поступившие в трубное подразделение, подготавливаются к эксплуатации на основании заказа-заявки. В комплект включаются трубы одного типоразмера, одного класса по износу труб. Составление комплекта оформляется актом, к которому прилагается опись труб комплекта.

6.2 Один экземпляр паспорта-журнала должен хранится в трубном подразделении, а другой экземпляр или выписка из него - у бурового мастера, эксплуатирующего данный комплект труб.

6.3 Запрещается разобщать комплект до полного его списания. В исключительных случаях разрешается дополнять его новыми трубами того же типоразмера и такого же класса по износу, что и трубы комплекта.

6.4 В паспорте-журнале ведется учет работы комплекта труб, аварий, профилактических и ремонтных работ с ним.

7 ПРОВЕДЕНИЕ СПУСКО-ПОДЪЕМНЫХ ОПЕРАЦИЙ С БУРИЛЬНЫМИ ТРУБАМИ

7.1 Персонал, осуществляющий сборку колонн труб, должен быть обучен и аттестован на данный вид деятельности.

7.2 Свинчивание замкового соединения должно производиться с замером момента.

7.3 Свинчивание замковых соединений необходимо проводить с регламентированным моментом. Рекомендуемые моменты свинчивания для замковых соединений бурильных труб приведены в таблице 4.

Величины моментов рассчитаны из условий обеспечения прочности, герметичности и наибольшей несущей способности замкового соединения.

7.4 Крепить и раскреплять резьбовые соединения бурильных труб и других элементов компоновки бурильной колонны вращением ротора запрещается.

7.5 При спуске бурильной колонны запрещается включать клиновой захват до полной остановки колонны.

7.6 Подводить машинные и автоматические ключи к колонне бурильных труб разрешается только после посадки их на клинья или элеватор.

7.7 Скорости спуско-подъемных операций с учетом допустимого колебания гидродинамического давления и продолжительность промежуточных промывок должны регламентироваться проектом. При отклонении реологических свойств бурового раствора и компоновок бурильной колонны от проектных необходимо внести коррективы в регламент по скорости спуско-подъемных операций с учетом допустимых колебаний гидродинамического давления.

7.8 При подъеме бурильной колонны наружная поверхность труб должна очищаться от бурового раствора с помощью специальных приспособлений (обтираторов).

7.9 При появлении посадок во время спуска бурильной колонны следует произвести промывку и проработку ствола скважины в интервалах посадок.

7.10 На устье необходимо устанавливать устройство, предупреждающее падение посторонних предметов в скважину при отсутствии в ней колонны труб и при спускоподъемных операциях.

7.11 Свечи бурильных труб, устанавливаемые в вышке, должны страховаться от выпадения из-за пальца.

7.12 Во время эксплуатации труб на буровой запрещается:

сталкивать ниппель в муфту при свинчивании труб;

 вращать бурильную трубу (свечу) после выхода резьбы из сопряжения, а также вырывать ниппель из муфты до полного их развинчивания;

резко тормозить спускаемую бурильную колонну;

 использовать при подъеме и спуске бурильной колонны подъемный крюк с неисправной пружиной;

- использовать клинья с плашками, не соответствующими размерам труб;
- захватывать тело трубы машинными ключами;
- устанавливать челюсти ключей на муфты замка;
- подавать на буровую и удалять с нее бурильные трубы без предохранительных колец;
- допускать удары концов труб о ротор.

7.13 При свинчивании замковых соединений необходимо применять определенную смазку, так как она в значительной степени влияет на износостойкость и герметичность резьб. Смазки для бурильных замков должны воспринимать большие удельные давления, высокую температуру, уплотнять зазоры в резьбе, легко наноситься, долго сохраняться на поверхностях резьбы и т.п.

7.14 Области применения резьбовых смазок приведены в таблице 8.

Области применения резьбовых смазок Смазка Область применения Для резьбовых соединений бурильной колонны (бурильных замков, утяжеленных бурильных P-416 труб, переводников, забойных двигателей и др.), подвергающихся частому разъединению при налични высоких удельных давлений на поверхности резьбы. В скважинах с TY 301-04-020-92 температурами до 100°С. Для резьбовых соединений бурильной колонны (бурильных замков, утяжеленных бурильных труб, переводников, забойных двигателей и др.), подвергающихся частому разъединению P-113 при налични высоких удельных давлений на поверхности резьбы, а также для левых TY 301-04-020-92 переводников используемых для спуска обсадных колони по частям или хвостовиков глубоких и сверхглубоких скважин с температурами до 200°С Для резьбовых соединений бурильных, обсадных и насосно-компрессорных труб в Резьбол-ОМ-2 скважинах нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений при температурах от TY Y 2473928.001-96 минус 50 до 200°С. Для резьбовых соединений бурильных, обсадных и насосно-компрессорных труб в TICM скважинах нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений при температурах от минус 50 до 200°C, в том числе использование в коррозионно-агрессивных «ВНИИТнефть» TY 0254-142-0147016-01 сероводородсодержащих средах (с содержанием H2S и CO2 до 6% каждого). Для свинчивания и герметизации резьбовых соединений бурильных, обсадных насоснокомпрессорных труб, в том числе и хладостойких и нержавеющих, а также для резьбовых PYC соединений изделий из трубопроводов Температурный диапазон от минус 60°С до «Снежная королева» Б ТУ 0254-006-54044229-02 200°С Смазка может использоваться в коррозионно-агрессивных средах с содержанием H2S

7.15 При использовании всех смазок необходимо избегать попадания их на кожу и в желудочно-кишечный тракт.

7.16 Применение машинного, дизельного масла в качестве заменителей консистентных смазок, а также свинчивание резьб без смазки запрешается.

7.17 Остальные требования в соответствии с РД 39-013-90.

25% и СО2 15%.

8 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБ

8.1 С целью повышения долговечности и предотвращения заедания резьбы необходимо проводить приработку вновь нарезанных резьб после ремонта машинными ключами путем 3 – 5 кратного свинчивания - развинчивания с малой частотой вращения (10 – 15 об/мин), попеременно удаляя старую и нанося новую смазку.

8.2 Для достижения равномерного износа замковых резьб необходимо через каждые десять-двадцать долблений рабочие соединения свечей менять на нерабочие. (Рабочее соединение – соединение, с помощью которого свеча подсоединяется к колонне бурильных труб).

8.3 Все поверочные и проектные расчеты бурильных колонн должны проводится в соответствии с «Инструкцией по расчету бурильных колонн для нефтяных и газовых скважин».

8.4 В сроки, установленные ГТН и графиками профилактических работ на буровой, необходимо проводить дефектоскопию, определять износ замковой резьбы, замерять диаметр наружной поверхности труб, диаметр наружной поверхности замков и длину цилиндрической

9

Таблица 8

части ниппельных и муфтовых деталей замка, выявлять смятие труб в месте посадки на клиновой захват.

8.5 Ко 2-му и 3-му классам износа по телу трубы относят бывшие в эксплуатации трубы, величины дефектов на которых не больше приведенных в таблице 9. Если величина износа или дефекта превышает значение, допустимое для 3-го класса, то трубу бракуют и выводят из эксплуатации. Сведения о переводе труб из одного класса в другой заносят в паспорт комплекта.

8.6 Классификация бурильных труб по износу приведена в таблице 9.

Таблица 9

Классификация бурильных труб по износу		
- Вид дефекта	Класс труб	
	П	III
Равномерный износ трубы по наружной поверхности:		
Толщина стенки после износа, %, не менее	80	62,5
Эксцентричный износ по наружной поверхности:		
Толщина стенки после износа, %, не менее	65	55
Вмятины, % от наружного диаметра, не более	3	5
Смятие, % от наружного диаметра, не более	3	5
Шейка, % от наружного диаметра, не более	3	5
Остаточное сужение:		
Уменьшение наружного диаметра, %, не более	3	5
Остаточное расширение:		
Увеличение наружного диаметра, %, не более	3	5
Продольные надрезы зарубки:		
Оставшаяся толщина стенки, %, не менее	80	62,5
Поперечные надрезы:		
Оставшаяся толщина стенки, %, не менее	90	80
Длина надреза, % от длины окружности трубы, не более	10	10
Толщина стенки в месте самой глубокой коррозии, % от номинальной, не менее	80	55

8.7 Степень износа замковой резьбы ниппеля и муфты необходимо определять по критерию «Н» - расстоянию между упорным торцом контролируемой детали и шаблона (в виде ответной замковой детали) или пары ниппель-муфта, при установке его в резьбу и последующем повороте относительно детали в сторону развинчивания (в пределах одного оборота) до момента прекращения контакта сопряженных витков по вершинам профиля и скачкообразного перемещения шаблона в деталь на величину, соизмеримую с шагом резьбы.

8.8 При необходимости аналогичным образом определяют суммарную степень износа (критерий «Н») резьбы обеих замковых деталей перед их непосредственным свинчиванием на буровой. В этом случае после установки ниппеля в муфту, верхняя замковая деталь поворачивается (в сторону развинчивания) относительно нижней (таблица 10).
Таблица 10

іачение ковой вьбы	о ниток цлине бы 25,4	сность	филя	Значен	ние крите шаблону не мене	рия «Н» , мм	Значені пары н	ие критери ниппель-м не мене	ня «Н» для туфта, мм е
503H 38MI	Ha J Ha J	Кону	odii -	1		K	лассы		
0	5 1	-		I	п	ш	I	П	. III
3-66	5	1;4	I	128	15	12	18	12,5	9
3-73	4	1:6	IV	28	23	. 20	28	19,5	14
3-76	5	1:4	I	18	15	12	18	12,5	9
3-86	4	1:6	IV	28	23	- 20	28	19,5	14
3-88	5	1:4	I	18	15	12	18	12,5	9
3-101	5	1:4	1	18	15	· 12	18	12,5	9
3-102	4	1:6	IV	28	23	20	. 28	19,5	14
3-108	4	1:6	IV	28	23	20	28	19,5	14
3-117	5	1:4	I	18	15,	12	18	12,5	9
3-121	5	1:4	I	18	15	12	18	12,5	9
3-122	4	1:6	IV	28	23	20	28	19,5	14
3-133	4	1:6	IV	28	23	20	28	19,5	14
3-140	4	1:4	Ι	18	15	12	18	12,9	9
3-147	4	1:6	ш	34,5	29	25	34,5	24	18
3-152	4	1:6	ш	34,5	29	25	34,5	24	18
3-161	4	1:6	ш	34,5	29	25	, 34,5	24	18

8.9 Бурильные трубы у которых наружный диаметр замка и длина цилиндрической части ниппеля и муфты сработались до величин, указанных в **таблице 11**, выводятся из эксплуатации и отправляются на ремонт.

Таблица 11

Предельно допустимые значения наружного диаметра и длины цилиндрической части муфт и инппелей замка

	Типо	размер	Минимальный наружный диаметр	Минимально допу цилиндрической ча ключо	ускаемый размер сти - место захвата м, мм
-	трубы	замка	замка, мм	ниппель	муфта
	1	2	3	• ,4	5
	ПВ-73х9	3П-95-32	87,9	, 101,6	117,5
	ПН-73х9	3П-105-54	98,7	101,6	131,0
-	ПВ-89х9	3П-108-44	101,6	101,6	131,0

Таблица 11 (продолжение)

Предельно допустимые значения наружного диаметра и длины цилиндрической части муфт и ниппелей замка

ПВ-89x11	3П-108-41	103,4	101,6	131,0
ПН-89х9	3П-121-68	113,4	101,6	143,7
ПН-89х11	3П-127-65	115,6	101,6	143,7**
ПК-114х9	311-159-83	136,6	101,6	155,6
ПК-114x11	311-159-76	140,0	- 105,6	155,6
ПК-114х9	3П-162-95-1	146,1	109,5	155,6
ПК-114х11	3П-162-92	148,9	111,1	155,6
ПК-127х9	3П-162-95-2	146,1	107,9	155,6
ПК-127х13	3П-162-89-2	148,6	115,1	155,6
ПН-127х9	3П-178-102	163,9	123,8	169,1
ПН-127х13	3П-178-102	165,9	123,8	169,1

8.10 Остальные требования к эксплуатации, оценке технического состояния труб и резьб, списанию труб проводятся в соответствии с требованиями РД 39-013-90.

9 ПРАВИЛА ПРИЕМКИ И КОНТРОЛЯ ТРУБ

9.1 Порядок приемки труб от предприятия, проводившего ремонт, включает следующие операции:

- разгрузку труб с транспортного средства, доставку и их размещение на площадке;

 проверку сохранности труб и соблюдения правил перевозки, предохраняющие их от повреждения;

 проверку соответствия наименования труб и данным, указанным в сопроводительных документах.

9.2 Приемка труб по качеству и комплектности производится в соответствии с действующими инструкциями и положениями.

9.3 Примерный перечень контролируемых параметров труб по качеству и комплектности приведен в таблице 12.

9.4 При входном контроле необходимо пользоваться ТУ, по которому изготовлены трубы.

9.5 При углубленном контроле качества материала трубы проводится выборочная дефектоскопия.

Таблица 12

Объем входного контроля качества бурильных труб при их приемке

Контролируемые параметры	Схема контроля	Критерин отбраковки
Наличие маркировки.	Визуально	Отсутствие маркировки или несоответствие ее данным сопроводительных документов на трубы
Наличие предохранительных деталей (колец и ниппелей) и качество их навинчивания.	Визуально	Расстояние между концом сбега резьбы и торцем предохранительного кольца более 9,5 мм (трех ниток)
Качество поверхности резьбы.	Визуально	Наличие на резъбе заусенцев, рвании и других дефектов, нарушающих ее непрерывность и прочность.
Качество наружной поверхности замков и труб.	Визуально. Неразрушающий контроль.	 Наличие плен, раковин, закатов, расслоений, трещин и песочин. Заварка, зачеканка или заделка дефектных мест. Поверхность высаженной части трубы и место перехода ее к телу трубы с нормальной толщиной стенки имеют резкие уступы. Большая стрела прогиба трубы и явно выраженная повышенная кривизна концерых участков.

10 ПРАВИЛА РАССЛЕДОВАНИЯ АВАРИЙ С ТРУБАМИ

Расследование обстоятельств аварий, доказательная документация, порядок отбора образцов для исследований, порядок исследований и др. в соответствии с «Методическими рекомендациями по приемке нефтепромысловых труб и расследованию аварий».

11 ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И ХРАНЕНИЕ ТРУБ

11.1 Транспортирование труб

При перевозке труб с трубной базы на буровые и обратно используется автомобильный специализированный транспорт, обеспечивающий механизированную погрузку и разгрузку труб.

Запрещается транспортировка труб волоком, сбрасывание их, удары друг о друга и о металлические предметы.

Перемещение труб внутри буровой должно производиться с помощью поворотных кранов, вспомогательных лебедок и талей.

11.2 Хранение труб

Трубы складываются и хранятся на стеллажах раздельно по типоразмерам. На одном стеллаже укладываются трубы, имеющие одни и те же параметры: тип, условный диаметр, толщину стенки, вид упрочнения, тип и класс резьбы.

Требования к хранению труб и их укладке в штабели:

 рабочая (опорная) поверхность стеллажей с целью предотвращения самопроизвольного перекатывания труб должна быть горизонтальной и расположена на высоте не менее 0,5 м;

- высота штабеля труб на стеллажах не должна превышать 3,0 м;

 при укладке труб в несколько рядов между каждым рядом должно быть проложено не менее трех деревянных прокладок толщиной 35-40 мм;

 каждый стеллаж должен быть снабжен табличкой, указывающей основные характеристики уложенных труб.

Запрещается хранить вблизи стеллажей кислоты, щелочи и другие химические материалы, способные вызвать коррозию труб и замков.

Резьба труб должна быть покрыта антикоррозионной смазкой и защищена предохранительными деталями.

11.3 Остальные требования в соответствии с требованиями РД 39-013-90.

12 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

12.1 Запрещается проводить спуско-подъемные операции при:

 отсутствии или неисправности ограничителя подъема талевого блока, ограничителя допускаемой нагрузки на крюке;

- неисправности спуско-подъемного оборудования и инструмента;

неполном составе вахты для работ на конкретной установке;

- скорости ветра более 20 м/с;

- потери видимости более 20 м при тумане и снегопаде.

12.2 Буровая бригада ежесменно должна проводить профилактический осмотр подъемного оборудования (лебедки, талевого блока, крюка, крюкоблока, вертлюга, штропов, талевого каната и устройств для его крепления, элеваторов, спайдеров, предохранительных устройств, блокировок и др.) с записью в журнале.

12.3 При спуско-подъемных операциях запрещается:

 находиться в радиусе (зоне) действия автоматических и машинных ключей, рабочих и страховых канатов;

- открывать и закрывать элеватор до полной остановки талевого блока;

 подавать бурильные свечи с подсвечника и устанавливать их без использования специальных приспособлений;

- пользоваться перевернутым элеватором.

12.4 Режимы подъема ненагруженного элеватора, а также снятие с ротора колонны бурильных труб, должны исключать возможность раскачивания талевой системы.

12.5 При применении пневмораскрепителя необходимо, чтобы натяжной канат и ключ располагались в одной горизонтальной плоскости. Канат должен надежно крепиться к штоку пневмораскрепителя. Работа пневмораскрепителя без направляющего поворотного ролика запрещается.

12.6 Запрещается поднимать или опускать талевый блок при выдвинутых стрелах механизма подачи труб.

12.7 Остальные требования в соответствии с ПБ 08-624-03 Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности

13 УСТАНОВЛЕННЫЙ РЕСУРС И ГАРАНТИИ ПРЕДПРИЯТИЯ ПРОВОДИВШЕГО РЕМОНТ

Ремонтное предприятие гарантирует соответствие труб ТУ в течение срока, оговоренного в контракте (договоре на поставку) при условии соблюдения процедур по эксплуатации и хранению труб.

ПРИЛОЖЕНИЕ А (справочное)

ПАСПОРТ-ЖУРНАЛ НА КОМПЛЕКТ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ ПО ТУ №____

200_г.

ЗАКАЗ - ЗАЯВКА

(буровое или нефтегазодобывающее предприятие)

на комплектование бурильной колонны из труб по ТУ_____ для скважины № _____ площади _____

Дата завоза «____»____200_г.

Vacantaning variation	Секци	и колонны
характеристика комплекта	1	11
Тип труб, гр. прочности		
Длина трубы, м		
Диаметр труб, мм		
Толщина стенки	-	. 40
Класс износа по телу трубы		
Длина комплекта, м		
Количество бурильных труб, шт.	-	

Представитель бурового (нефтегазодобывающего) предприятия

OT_

1

(фамилия, и.,о., должность)

_	трубное подразделение
	на составление комплекта бурильных труб по ТУ №
	« <u> </u>
	1. Тип труб, гр. прочности
	2. Размер труб:
	длина трубы, м
	диаметр, мм
	3. Толщина стенки
	Класс труб по износу тела
	4. Размер замков, мм:
	диаметр
	диаметр проходного канала
	5. Резьба
	(правая, левая)
	6. Длина комплекта труб в сборе с замками, м
	7. Число труб в комплекте, шт.
	8. Масса комплекта труб в сборе с замками, т
	 9. Предприятие, проводившее ремонт, дата ремонта и номер сопроводителы документа на трубы
	10. Особые отметки
	(обварка, наплавка замков и т.д.)
	Представитель трубного
	подразделения
	4 (demonstration of the second s

		бурильных	ОПИСЬ труб компл	екта №	-	
ы N N	Nº трубы в комплекте	Предприятие проводившее ремонт	№ сопроводительного документа к трубам	Ремонтный • Nº трубы	Длина трубы, м	Примечание
				-	ŧ.	
				-		
Предст подраз,	авитель тру целения	убного		фамилия	I, и.,о., должност	ь)
Предст. подраз,	авитель тр) целения	убного		фамилия	1, и.,о., должност	b)
Предст подраз,	авитель тру целения	убного		фамилиз	а, и.,о., должност С	ъ)
Предст	авитель тру целения	убного		фамилия	а, и.,о., должност	b)
Предст.	авитель тр) целения	убного		фамилия	1, и.,о., должност	ъ)
Предст. подраз,	авитель тру целения	убного		фамилия	а, и., о., должност	b)





Пр еча ние Заменено другими трубами UT. ≥ Отбракован о труб ij. в подразделении Z Отремонтирова но труб Ę. ≥ . Контроль размеров труб и замков, шт. отбракова 웃 Виды профилактических работ с комплектом № новерен 0 отбракова Дефектоскопия и толщинометрия. 무 μŢ. проверен 0 1 проверен отбракова о но Визуальный контроль, шт. Дата прове рки

Представитель трубного подразделения

(фамилия, м.,о., должность)

e

21