

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов  
 Отделение школы Отделение материаловедения

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Влияние термической обработки на структуру и свойства отливок из стали 20 ГМЛ</b>

УДК 621.74:669.14:621.785

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМОИ	Кайратулы Шымболат		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения	Стрелкова И.Л.	к.т.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Меньшикова Е.В.	к.фил.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень	Подпись	Дата
Доцент оделения общетехнических дисциплин	Антоневич О.А.	к.б.н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения материаловедения	Панин С.В.	д.т.н., профессор		

Томск – 2022 г.

## Планируемые результаты обучения ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
<b>УК(У)-1</b>	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
<b>УК(У)-2</b>	Способен управлять проектом на всех этапах жизненного цикла
<b>УК(У)-3</b>	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
<b>УК(У)-4</b>	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном языке, для академического и профессионального взаимодействия
<b>УК(У)-5</b>	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
<b>УК(У)-6</b>	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
<b>ОПК(У)-1</b>	Способен решать производственные и/или исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области материаловедения и технологии материалов
<b>ОПК(У)-2</b>	Способен разрабатывать научно-техническую, проектную и служебную документацию, оформлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации, рецензии
<b>ОПК(У)-3</b>	Способен участвовать в управлении профессиональной деятельностью, используя знания в области системы менеджмента качества
<b>ОПК(У)-4</b>	Способен находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности
<b>ОПК(У)-5</b>	Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в области материаловедения и технологии материалов, смежных областях
<b>Профессиональные компетенции</b>	
<b>ПК(У)-1</b>	Способен обоснованно (осмысленно) использовать знания основных типов металлических, неметаллических и композиционных материалов различного назначения, в том числе наноматериалов для решения профессиональных задач.
<b>ПК(У)-2</b>	Способен осуществлять рациональный выбор материалов и оптимизировать их расходование на основе анализа заданных условий эксплуатации материалов, оценки их надежности, экономичности и экологических последствий применения
<b>ПК(У)-3</b>	Способен осуществлять анализ новых технологий производства материалов и разрабатывать рекомендации по составу и способам обработки конструкционных, инструментальных, композиционных и иных материалов с целью повышения их конкурентоспособности
<b>ПК(У)-4</b>	Способен планировать и осуществлять экспериментальные исследования, анализировать и обрабатывать их результаты, делать выводы, составлять и оформлять отчеты по проведенным исследованиям
<b>ПК(У)-5</b>	Способен выполнять перевод технической литературы на иностранном языке, связанной с профессиональной деятельностью в области материаловедения
<b>ПК(У)-6</b>	Способен определять соответствие готового изделия заявленным потребительским характеристикам; прогнозировать и описывать процесс достижения заданного уровня свойств в материале
<b>ПК(У)-7</b>	Способен организовать проведение анализа и анализировать структуру новых материалов, адаптировать методики исследования свойств материалов к потребностям производства и разрабатывать специальные методики
<b>ПК(У)-8</b>	Способен моделировать процессы обработок и прогнозировать результаты их осуществления при различных режимах с использованием стандартных пакетов компьютерных программ и средств автоматизированного проектирования

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов  
 Отделение школы Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ С.В. Панин  
 (Подпись)    (Дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации
--------------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4БМОИ	Кайратулы Шымболат

Тема работы:

<b>Влияние термической обработки на структуру и свойства отливок из стали 20 ГМЛ</b>	
Утверждена приказом директора ИШНПТ	Приказ № 33-29 от 02.02.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2022 г.
--	---------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	1) Литературные источники: базы данных <a href="http://www.sciencedirect.com">www.sciencedirect.com</a> , <a href="http://www.nature.com">www.nature.com</a> , <a href="https://www.scopus.com">https://www.scopus.com</a> , 2) Объекты исследования: отливки из стали 20ГМЛ 3) Требования к результатам: зависимости, описывающие влияние режимы термической обработки на механические свойства стали 20ГМЛ.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1) провести литературный обзор по свойствам, применению, получению отливок и механическим свойствам стали 20ГМЛ; 2) провести термическую обработку стали 20ГМЛ; 3) провести испытание на ударную вязкость и измерить твердость по Бринеллю 4) показать влияние термической обработки на структуру и механические свойства стали 20ГМЛ;

<b>Перечень графического материала</b>	Микроструктура литой стали 20ГМЛ, микроструктура стали 20 ГМЛ после термообработки, режимы термической обработки.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Меньшикова Е.В.
Социальная ответственность	Антоневич О.А.
Раздел на иностранном языке	Демидова О.М.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском языке:</b>	
Литературный обзор; экспериментальная часть; результаты и их обсуждение; финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; социальная ответственность	
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</b>	
Экспериментальная часть; результаты и их обсуждение;	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	02.02.2022 г.
---	---------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения	Стрелкова И.Л.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМОИ	Кайратулы Ш.		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа написана на 140 страницах и включает 52 рис., 31 табл., 110 источников, 1 прил.

**Ключевые слова:** сталь 20ГМЛ, термическая обработка сталей, трубопроводная арматура, литая низкоуглеродистая сталь, отжиг, нормализация.

**Объектом исследования** являются отливки из стали 20ГМЛ.

**Цель работы** – Определение режимов термической обработки, с целью повышения механических свойств изделия из стали 20 ГМЛ

**Результатом работы** являются выбор оптимальных режимов термической обработке для отливки из стали 20ГМЛ(корпус клапана) с целью формирования зеренной, ферритно-перлитной структуры и оптимального сочетание прочностных свойств.

**Область применения:** данные, полученные в результате исследования, могут быть использованы для создания металлических отливок в трубопроводной промышленности.

**Экономическая значимость работы:** легирующие металлы в составе сплава 20ГМЛ придает ему своеобразные физико-механические особенности, которые его делает лучше в рынке.

**Используемые в работе сокращения:**

ЭДС – энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия

РЭМ – растровый электронный микроскоп

НАСЕ – национальной ассоциации инженеров по коррозии

ХТС – холодно-твердеющий смесь

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	9
1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	10
1.1. Применение литых клапанов из низкоуглеродистых стали в условиях высокого давления водорода и сернистой среды. ....	10
1.2. Технология литья трубопроводной арматуры .....	21
1.3. Режимы термообработки для отливок из стали 20Л и 20ГЛ .....	29
1.4. Влияние термической обработки на изменение свойств литейных малоуглеродистых сплавов.....	35
1.5. Особенности стали 20 ГМЛ.....	39
2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	42
2.1. Методики исследования.....	42
2.2. Подготовка образца к металлографическому анализу .....	43
2.3. Металлографическое исследование образца .....	45
2.4. Определение химический состав образца с помощью мобильного оптико-эмиссионного анализатора PMI-MASTER.....	46
2.5. Испытания образца на ударную вязкость .....	53
3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ .....	57
3.1. Результаты исследование.....	57
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	65
ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ .....	67
Введение .....	67
4.1. Предпроектный анализ .....	68

4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	68
4.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	69
4.1.3. SWOT-анализ.....	71
4.1.4. Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	72
4.1.5. Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования .....	74
4.2. Инициация проекта .....	75
4.2.1. Цели и результаты проекта .....	75
4.2.2. Организационная структура проекта .....	76
4.2.3. Ограничения и допущения проекта.....	76
4.3. Планирование управления .....	77
4.3.1. План проекта.....	77
4.3.2. Бюджет научного исследования .....	80
4.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования ..	88
4.4.1. Оценка сравнительной эффективности.....	88
Заключение по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	91
<b>ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....</b>	<b>94</b>
Введение .....	94
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	95
5.2. Производственная безопасность .....	97
5.3. Экологическая безопасность .....	105

5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации .....	107
Заключение по разделу «Социальная ответственность» .....	109
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ.....	110
Приложение I.....	120

## ВВЕДЕНИЕ

Рост отрасли переработки и транспортировки нефти и газа определяется надежной и экономичной работой трубопроводной системы. Повреждение трубопроводов может привести к необходимости уменьшения мощности установок или даже их полной остановке. Эксплуатационная надежность таких трубопроводов требует высококачественных компонентов.

Для улучшения свойств стального литья, в частности ударной вязкости и хладостойкости проводятся процессы выплавки, модифицирование и рафинирование стали направленные на уменьшение количества и размеров неметаллических включений, обеспечивающий их глобулярной формы, минимизацию содержания вредных примесей и газов, а также для создания однородной мелкозернистой структуры. Несмотря на эффективность таких методов, они не всегда обеспечивают хладостойкость деталей арматуры для трубопроводов из низкоуглеродистой стали.

Низкая трещиностойкость стальных литых деталей может быть объяснена тем, что формирующиеся в стали ферритно-перлитная и ферритоперлитно-бейнитная структуры недостаточно мелкозернисты. Для повышения трещиностойкости литых стальных деталей применяется термическая обработка для повышения однородности и уменьшения размеров элементов конструкции. Применяемые обработки включают отжиг, нормализацию, нормализацию с отпуском, двойную нормализацию, и т.д.

Целью выпускной квалификационной работы являлось определение режимов термической обработки, с целью, повышения механических свойств изделия из стали 20 ГМЛ.

## **1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ**

### **1.1. Применение литых клапанов из низкоуглеродистых стали в условиях высокого давления водорода и сернистой среды.**

В эти дни в результате индустриализации мира спрос на поставки нефти и газа резко возрос. Одним из самых сложных вопросов, с которым столкнулась нефтегазовая отрасль, является транспортировка этих ресурсов. До сих пор трубопроводные стали использовались для транспортировки большей части нефтегазовых ресурсов, что приводило к слишком большим расходам. В дополнение к первоначальной стоимости трубопроводных сталей, коррозия их составляет большую часть этих затрат, поскольку эти трубопроводные стали обычно работают в суровых условиях, таких как кислые среды (рисунок 1). Согласно отчету Национальной ассоциации инженеров по коррозии (NACE) в 2016 году, около 2,5 трлн долларов США составляет стоимость коррозии трубопроводных сталей в этой отрасли, что составляет 3,4% мирового валового внутреннего продукта. Однако в это число не входят экологические проблемы и расходы на безопасность. Это свидетельствует о важности коррозии трубопроводных сталей в нефтегазовой отрасли. Чтобы минимизировать сумму этих расходов, первым шагом является распознавание типа отказа трубопроводов [33].

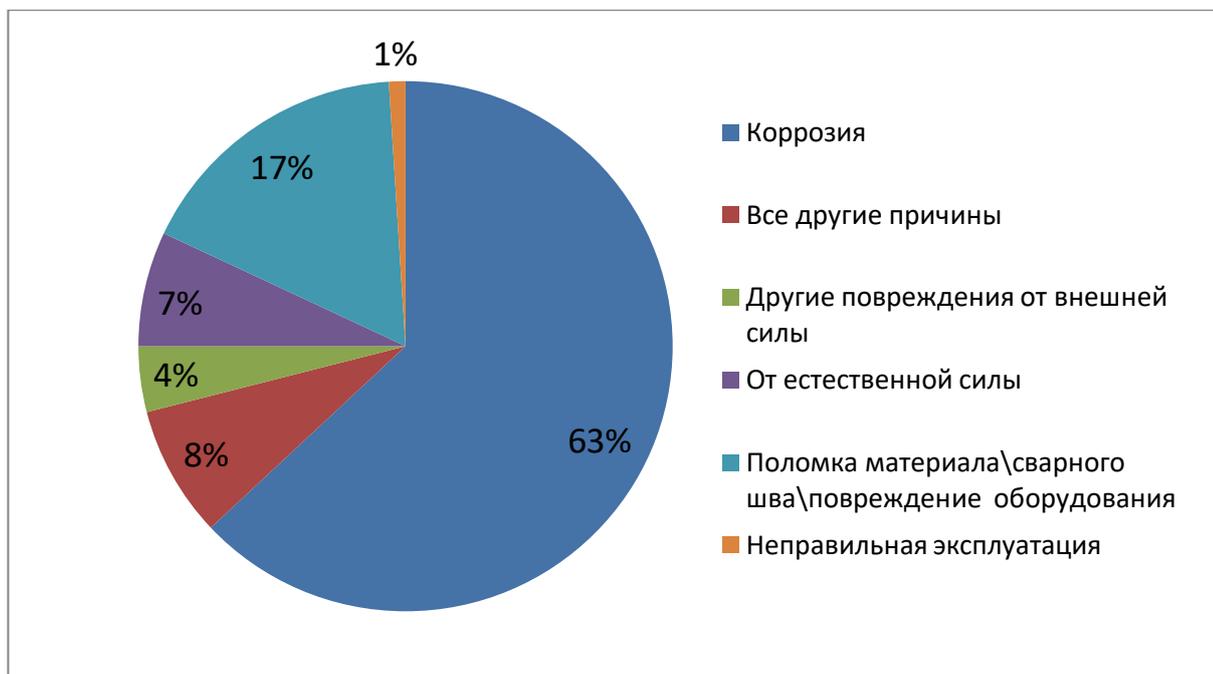


Рисунок 1 - Причины значительных инцидентов на нефте- и газопроводах

В последние годы легкие автомобили были в центре внимания для экономии энергии и сокращение выбросов. Третье поколение передовых высокопрочных сталей, особенно сталь, средне содержащего марганца ( $3 \text{ мас.}\% \leq \text{Mn} \leq 12 \text{ мас.}\%$ ), было широко изучено благодаря отличному сочетанию прочности и пластичности. Механические свойства средней стали Mn включают конечную прочность на растяжение 0,8–1,6 ГПа, общее удлинение 15–70% и произведение прочности и удлинения 25–70% [25]. Современный процесс термообработки средней стали Mn представляет собой процесс обратного превращения аустенита [45]. С и Mn элементы разделяются от феррита к аустениту и стабилизируют аустенит при обратном превращении. Микроструктура средней стали Mn состоит из ультрамелкозернистого феррита и метастабильного аустенита и/или свежего мартенсита (вновь преобразованного из аустенита) [12] дуплексных или триплексно-фазовых микроструктур.

Повреждение трубопровода влажным сероводородом ( $H_2S$ ) является общей проблемой в нефтяной, газовой и нефтехимической / химической промышленности. Повреждение может произойти, когда изделия из углеродистой стали подвергаются воздействию влажной рабочей среды  $H_2S$ , и это может происходить в разных стадиях. Сероводородная коррозия может быть особенно опасной формой коррозии, поскольку повреждения, вызванные этим, происходят внутри сосудов, происходят без предупреждения и могут быть обнаружены только с помощью сложных методов контроля. Сероводород особенно опасен для устройств в присутствии влаги. Повреждение может привести к быстрому и обширному повреждению металла, включая равномерную коррозию, точечное и ступенчатое растрескивание.

Высокопрочные низколегированные стали для транспортировки нефти и газа в кислых средах (высокий  $H_2S$  ( $>0,5\%$ ) и  $CO_2$ ) были ограничены марками X65 из-за их превосходной устойчивости к повреждениям, связанным с водородом, таким как сульфидное растрескивание под напряжением, водород-индуцированное крекинг и стресс-ориентированное водород-индуцированное крекинг [70]. Учитывая, что наиболее актуальной причиной отказов в трубопроводной стали в кислых средах является развитие водородных трещин либо с влиянием напряжения, либо без него, которое в основном индуцируется образованием атомарного водорода коррозией на поверхности стали [4], это особенно важно, потому что в настоящее время насчитывается около 1,73 трлн баррелей нефти и 188,1 трлн м.<sup>3</sup> запасы природного газа во всем мире [10], из которых почти 40% считаются кислыми [31]. Кроме того, потребление нефти выросло на 12% с 2010 года, примерно 36,6 млрд было потреблено в 2019 году, а потребление газа выросло на 19% с 2010 года, на 3,90 трлн млн м.<sup>3</sup> потребляется в 2020 году [10]. Поэтому исследование коррозионного поведения сталей HSLA в кислой среде чрезвычайно актуально, как и разработка марок стали с

превосходной устойчивостью к коррозии и повреждениям, вызванным водородом.

Сероводород ( $H_2S$ ) представляет собой бесцветный, легко воспламеняющийся и чрезвычайно опасный газ с сильным запахом "гнилого яйца". Сероводород особенно опасен для устройств в присутствии влаги. Повреждение может привести к быстрому и обширному повреждению металла, включая равномерную коррозию, точечное и ступенчатое растрескивание.

В течение многолетней эксплуатации магистральный газопровод подвергается большому количеству внутренних и внешних воздействий, что приводит к различным дефектам.

В работе (R R Akhmetov, S A Krainov, M N Nazarova and A N Tsenev)[91] представлено исследование влияния температуры и водородного заряда на коррозионное растрескивание под напряжением как отдельных факторов. Это поможет нам разобраться в процессе возникновения коррозии под напряжением на газопроводах.

Преыдущие их исследования [32,19,20] показали, что одной из основных неисправностей газопроводов была коррозия напряжения, что привело к отказам до 50% всех отказов магистральных газопроводов

В 2000 году количество аварии из-за коррозионных дефектов составляло 30%. В 2001 году 41,93% газопроводов и нефтепроводов не работали из-за коррозии под напряжением, в то время как было показано только на магистральных трубах большого диаметра (720-1420 мм). Основная проблема исследования заключается в том, что коррозия разрыва напряжения происходит только в определенный момент времени при определенных обстоятельствах [42].

Согласно СТ ЦКБА 052-2008 «Арматура трубопроводная. Требования к материалам арматуры, применяемой в сероводородсодержащих средах» изделия из стали 20 ГМЛ могут использоваться в качестве трбопровода в рабочей среде содержащий  $H_2S$  более 6% объема или парциальное давление

H<sub>2</sub>S 0,3 кПа, тогда как сталь 20ГЛ используется в условиях содержания H<sub>2</sub>S ниже 6% либо парциального давления ниже 0,3 кПа [110].

При переменных нагрузках в течение длительного периода времени материал магистрального газопровода существенно изменяет свои механические свойства, то есть становится другой сотовой структурой с плотностью границы зерен, что в дальнейшем может привести к возникновению дефекта и его развитию с последствиями разрушения участка трубы [65,18]

При разработке месторождений нефти и газа под воздействием термических действий органические сульфиды в нефти и газе, бактерии в буровых растворах и углеводороды диссоциирует на различные уровни H<sub>2</sub>S. При нормальных температурных условиях H<sub>2</sub>S – химически нестабильный, легко воспламеняющийся, бесцветный и очень токсичный газ с специфическим запахом. В нефтегазоперерабатывающей промышленности H<sub>2</sub>S очень вреден для коррозии труб [44]. Коррозионный статус H<sub>2</sub>S показан в таблице 1

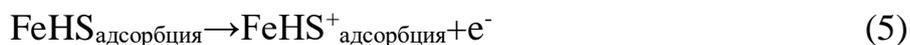
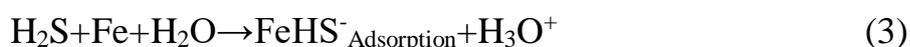
Таблица 1 – Тип коррозии, коррозионные характеристики и состояние исследований H<sub>2</sub>S

Тип коррозии	Коррозионные характеристики
Общая коррозия	Локальная толщина стенки истончается, образуется налет или перфорация, а пленка продукта коррозии, образующаяся на поверхности материала, является относительно однородной и полной[82]
Точечная коррозия	Точечная коррозия вызвана растрескиванием пассивирующей пленки, образовавшейся на

	<p>поверхности металла, и открытая часть является небольшой и концентрированной, которую можно использовать в качестве анодной области. В процессе электрохимической коррозии анодная область подвергается коррозии, и на поверхности металла появляются питтинговые ямки [82]</p>
<p>Образование пузырьков водорода</p>	<p>В процессе коррозии <math>H_2S</math>, <math>H_2S</math> выделяет атомы водорода для предотвращения образования молекул водорода. Атомы водорода будут диффундировать в дефектный металл с образованием молекул водорода. Молекулы водорода будут постепенно увеличиваться, внутри металла будет создаваться внутреннее напряжение, а затем на поверхности металла будут образовываться пузырьки [82]</p>
<p>Водородное растрескивание</p>	<p>Внутри металла, который генерирует пузырьки водорода, пузырьки водорода увеличиваются, внутреннее давление увеличивается, и небольшие пузырьки имеют тенденцию соединяться друг с другом, образуя ступенчатые трещины в параллельных стенках трубы [82,57]</p>

Сульфидное коррозионное растрескивание под напряжением	СКР возникает из-за распространения атомов водорода, образующих H <sub>2</sub> S, внутрь металла, что приводит к растрескиванию под действием внешнего напряжения [71]
--	--

Механизм сероводородной коррозии металла.



В конце образуется коррозия



Высокопрочная низколегированная трубопроводная сталь, такая как сталь X80, широко используется для удовлетворения растущих мировых потребностей в энергии из-за ее благоприятных механических свойств, высокой эффективности транспортировки и относительно низкой стоимости [85,40].

Однако серьезные внутренние и внешние проблемы коррозии, возникают в трансмиссионных трубах в присутствии агрессивных сред, таких как те, которые подвергаются воздействию карбоната/бикарбоната ( $\text{CO}_3^{2-}/\text{HCO}_3^-$ ) [36,3], углекислый газ [48,35], сероводород ( $\text{H}_2\text{S}$ ) [24,49,41,1,14,63,52,60,62,23,72,15,68,80,37,61,16,66,67,69,81], хлорид-ион ( $\text{Cl}^-$ ) [59,29]. Внутренний  $\text{H}_2$  Коррозия S, которая может привести к сульфидному коррозионному растрескиванию под напряжением (SSCC) [41,52] или водородно-индуцированному растрескиванию (HIC) [41,52,29], является одним из наиболее серьезных типов коррозии. Кроме того,  $\text{H}_2$  Коррозия S приводит к резкому снижению поглощенной

Шарпи энергии и прочности на растяжение [81]. Хотя несколько характеристик  $H_2S$  коррозии были исследованы [14], механизм этого типа коррозии остается спорным и неоднозначным.

Коррозия и последовательные реакции между железом и электролитом включают сложные взаимодействия физических, химических и биологических факторов. Коррозионные пленки, богатые сульфидом железа, могут образовываться при погружении стали в среду с  $H_2S$  [68,66,67]. Состав, кристаллическая структура и микроморфология сульфидных пленок сильно зависят от времени их погружения, температуры, парциального давления и среды [68,66,67]. Основные продукты коррозии, которые могут содержать макинавит, кубический  $FeS$ , пирротит, троилит, пирит и другие смешанные минералы, чувствительны к суровым испытательным средам [68,66,67]. Фазовый переход может происходить на начальных стадиях погружения [68,61]. Влияние сульфидных пленок на коррозионные свойства стали привлекло большое внимание.

### ***Морфология поверхности***

На рисунке 2 и 3 показаны репрезентативные РЭМ микроснимки продуктов коррозии, образующихся на поверхности стали на разных стадиях погружения в раствор NACE A с насыщенным  $H_2S$  при  $50\text{ }^{\circ}C$ . Соответствующие результаты ЭДС приведены в таблице 2. Продукты коррозии были богаты Fe и S, поэтому пленку продукта коррозии можно было назвать сульфидной пленкой. Продукты коррозии подверглись быстрым процессам зарождения и роста, как показано на рисунке 2 и 3. Поверхность стали покрывали слоем равномерно распределенной сульфидной пленки, а царапины исчезали после погружения на 0,5 ч (рисунок 2а) что указывало на резкие реакции между Fe и  $H_2S$  на первом этапе погружения. Кроме того, наблюдались изменения формы, размеров и состава продуктов коррозии. Концентрация S постепенно увеличивалась во время погружения, вопреки постепенному снижению концентрации S.

Таблица 2- Соответствующие результаты ЭДС (в.%) коррозионных пленок на рисунке 2 и 3

Время (ч)	0,5	4	8	16	24	96
Fe	67,82	67,16	49,91	47,17	49,19	46,32
S	0,86	2,53	27,41	31,79	45,23	51,78
C	28,94	28,30	22,15	19,52	4,03	0,96
Si	1,07	0,79	0,28	1,04	0,68	0,41
Mn	1,30	1,22	0,25	0,48	0,87	0,53

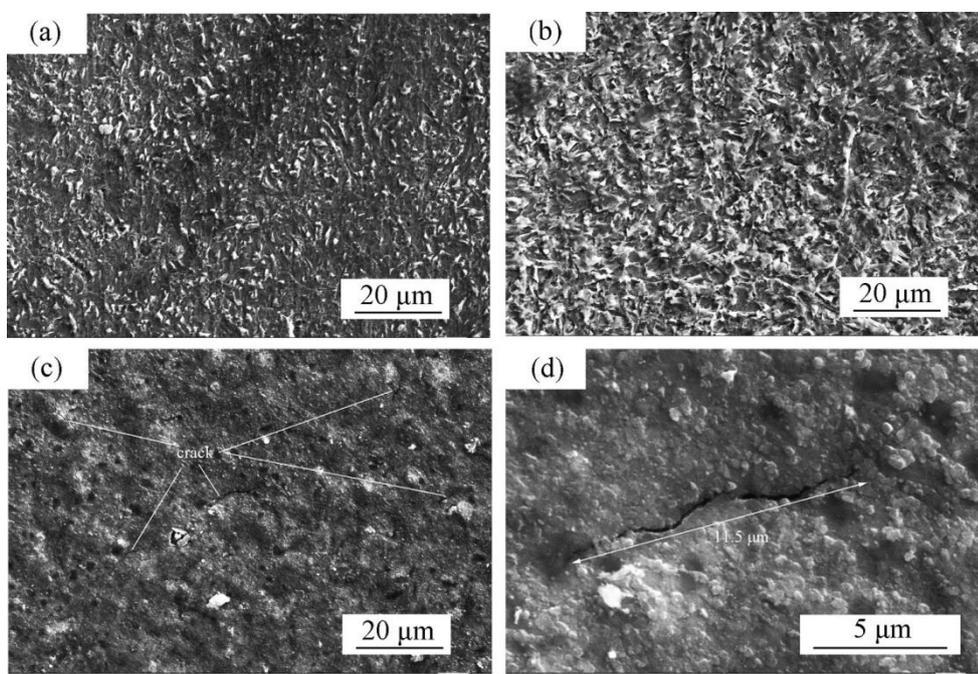


Рисунок 2 - РЭМ микроснимки поверхности пленок коррозионного продукта, образующихся на поверхности стали X80 в 5 мас.% NaCl + 0,5 мас.%  $\text{CH}_3$  Раствор  $\text{COOH}$  с насыщенным  $\text{H}_2\text{S}$  при 50 °C при различных ступенях погружения:

а) 0,5 ч; б) 4 ч; в) 8 ч; г) более высокое увеличение в центре в;

Продукты коррозии находились наноразмерного уровня на начальной стадии погружения от 0,5 ч до 4 ч (рисунок 2б). Форму продуктов было трудно визуализировать из-за их наноразмерного размера. Форма изменилась

на нано-размерную объемную, и некоторые микротрещины наблюдались на поверхности изделий после погружения в течение 8 ч (рисунок 2с и 2 г). Микрофотография РЭМ после погружения на 16 ч кажется сушей (рисунок 3е). Поверхность сульфидной пленки после погружения в течение 24 ч может быть разделена на три различные части, обозначаемые как А, В и С (рисунок 3f). Микрофотография в части А была похожа на таковую на расстоянии 16 ч. На поверхности А образовались два новых продукта коррозии В и С. Размер В представлен полигональным блоком размером примерно в десятки микрон. Однако изделие С представляло собой форму среза-слоя с зубчатым краем (рисунок 3 г). Полигональные блочные коррозионные продукты выросли более чем на 200 мкм по мере того, как погружение продолжалось в течение 96 ч (рисунок 3h). Кроме того, срезовые слоистые продукты коррозии изменились на стружевидные и клаватные (рисунок 3i).

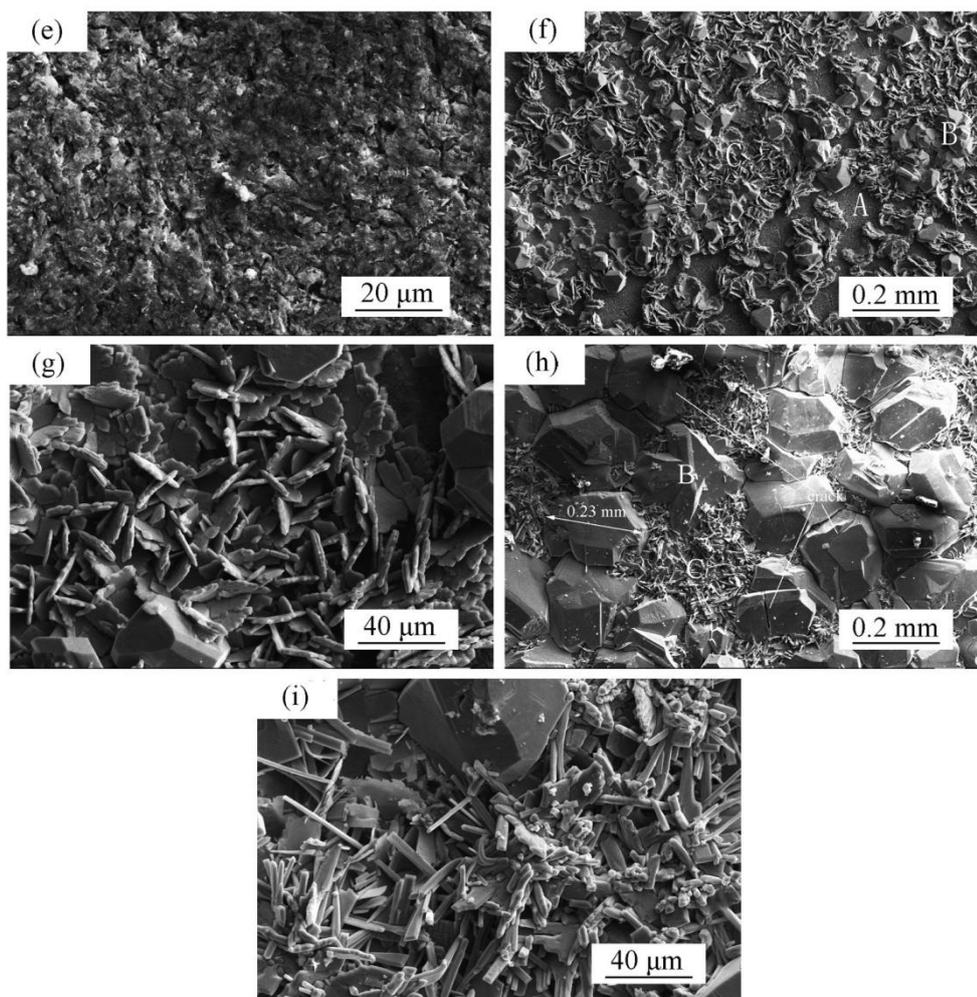


Рисунок 3 – РЭМ микроснимки поверхности пленок коррозионного продукта, образующихся на поверхности стали X80 в 5 мас.% NaCl + 0,5 мас.% CH<sub>3</sub> Раствор COOH с насыщенным H<sub>2</sub>S при 50 °С при различных ступенях погружения:

е) 16 ч; ф) 24 ч; г) более высокое увеличение в зоне С от ф; h) 96 ч; и) более высокое увеличение в зоне С h

## 1.2. Технология литья трубопроводной арматуры

Клапан используется для изменения сечения потока и направления потока среды. Он имеет функции переполнения, отсечки, регулирования, проверки, отключения или сброса переполнения. Литые детали клапанов являются элементами управления в трубопроводных системах для гидратации. Они бывают разных размеров. Фитинги для труб в основном используются в химической, нефтехимической, нефтехимической, горнодобывающей, энергетической, фармацевтической, градостроительной и других отраслях промышленности.

Большинство клапанных узлов представляют собой литые формы со сложной структурой, которые требуют не только хорошего внешнего вида, но и плотного внутреннего качества и хорошей металлографической структуры. Они не должны быть с дефектом, таких как пористость, усадка, пескоструйная обработка и растрескивание. Таким образом, процесс литья требует большого ухода. В машиностроении литье тонкой оболочки клапана намного сложнее, чем литье других механических компонентов.

Правильный и эффективный контроль затвердивания является первым важным условием для производства высококачественных углеродистых деталей. Чтобы уменьшить внутреннее напряжение, усадку и другие ошибки литья из-за неравномерной толщины стенки, необходимо соблюдать принцип последовательного охлаждения, последовательного затвердевания.

Самым популярным методом литья металла в машиностроении является метод литья в песок. Литье песка, обычно используемое в клапанной промышленности. В зависимости от связующего его можно разделить на: влажный песок, сухой песок, песок из жидкого стекла и самозатвердевающий песок из фурановой смолы (холоднотвердеющая формовочная смесь) и т. д.

Наиболее эффективной с точки зрения их качества и эффективности для литья является холоднотвердеющая формовочная смесь. Эту технологию можно сравнить с традиционным литьем из песчаной глины, поскольку в обоих процессах используются металлические опоки и стержневые ящики.

Основное различие между этими двумя методами заключается в том, что синтетические смолы в ХТС используются в качестве связующих для песчаных смесей и их не нужно нагревать в печах после их формирования. Высокая скорость отверждения смеси обеспечивает высокую прочность смеси.

Преимущества ХТС: возможность быстрого формования, получение необходимой точности и шероховатости поверхности, изготовление деталей сложной геометрии, низкая вероятность получения брака: газоотводы, эрозия и т.д. Недостатки: высокие требования к качеству необработанного песка, легкий раздражающий запах производства, высокая стоимость смолы.

## Последовательность изготовления отливки

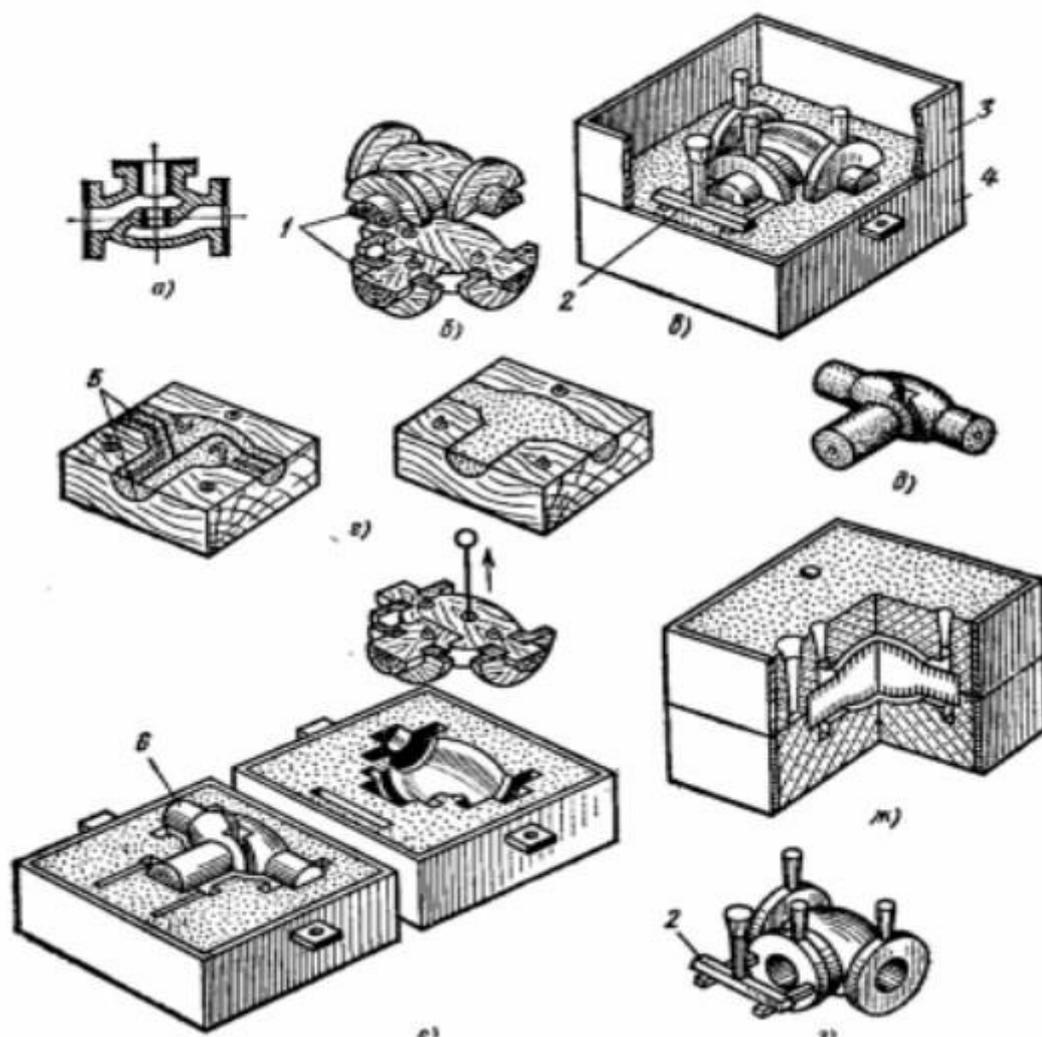


Рисунок 4 - Последовательность изготовления отливки

а – чертёж отливки; б – деревянная модель; в – модель отливки, заформованная нижней полуопоку; г – разъёмный стержневой ящик; д – изготовленный стержень; е – две полуформы с извлечёнными полумоделями и установленными стержнем; ж – собранная форма; з – отливка;

На рисунке 4 показана последовательность изготовления пресс-формы. Полуопоку помещается на панель полумодели, а на полуопоку устанавливаются заполняющая рама. Наполнительная рамка устанавливается, чтобы получить дополнительное количество смеси до уплотнения опоки. Нижнюю полумодель устанавливают на подмодельную плиту (в случае разъёмной), после этого в опоку и рамку засыпают формовочную смесь,

уплотняют её. уплотнение формовочной смеси осуществляется вручную и машинами. Уплотнения с помощью машин может проводиться встряхиванием, прессованием, сбрасыванием комков пескомётом и в случае при изготовлении больших форм пескоструйной машиной. Подобным образом трамбуются и стержни.

Рамку снимают, половину опоку с утрамбованной формовочной смесью переворачивают на 180 градусов и устанавливают верхнюю половину модели и модель литниковой системы на нижнюю половину модели. После этого разделительный песок посыпают на поверхность разъёма нижней полуформы чтобы разделить их после утрамбовки без их разрушения. Затем вторую полуопоку и наполнительную рамку устанавливают. Предыдущие процессы также повторяются здесь. Далее, удаляют модель литниковой системы из уплотнённой формовочной смеси. Затем разъединяют полуопоки, выводят полмодели, если после этого дефекты возникнут, их исправляют, и устанавливают стержни. Стержни изготавливаются отдельно в стержневых ящиках из стержневых смесей. Процесс затвердевания длится всего секунд 5 – 10. При изготовлении отливки надо предусматривать по возможности минимальное количество стержней, потому что на изготовление стержней уходит до 80% рабочего времени. Верхнюю полуформу устанавливают на нижнюю, их скрепляют между собой. Собранный форму высушивают. В данное время используют быстротвердеющие смеси. Их высушиваются пропусканием углекислого газа через форму. После этого заливают расплавленный металл в высушенную форму.

В плавильных печах расплавляют литейный сплав. Приблизительно принимается следующая температура заливки расплава: 1500 – 1600 °С сталь, 1380 – 1450 °С чугун, 1260 – 1400 °С серый чугун, 1100 – 1150 °С бронзы, 700 – 780 °С алюминиевые сплавы, 680 – 780 °С магниевые сплавы. От толщины стенок изделия зависит температура заливки, чем выше температура, тем меньше толщина стенки. Процесс заливки выполняется с

помощью ковша. Во время процесса литья используются дополнительные крепления и грузы так как давление жидкого металла стремится приподнять верхнюю опоку. После затвердевания сплава его вынимают из формы, а форму разрушают. Затем выбивают стержни, это делают с помощью струёй воды под высоким давлением или вибрационных установках.

Наиболее трудоемким этапом в производстве отливок является изготовление пресс-форм для песка. Поэтому изготовление однотипных изделий (отливок) требует механизации и автоматизации производства пресс-форм для песка. На рисунке 5 показано, как выполняются методы механического уплотнения формовочной смеси, а на рисунке 6 показана схема этого метода, установленная в автоматической системе

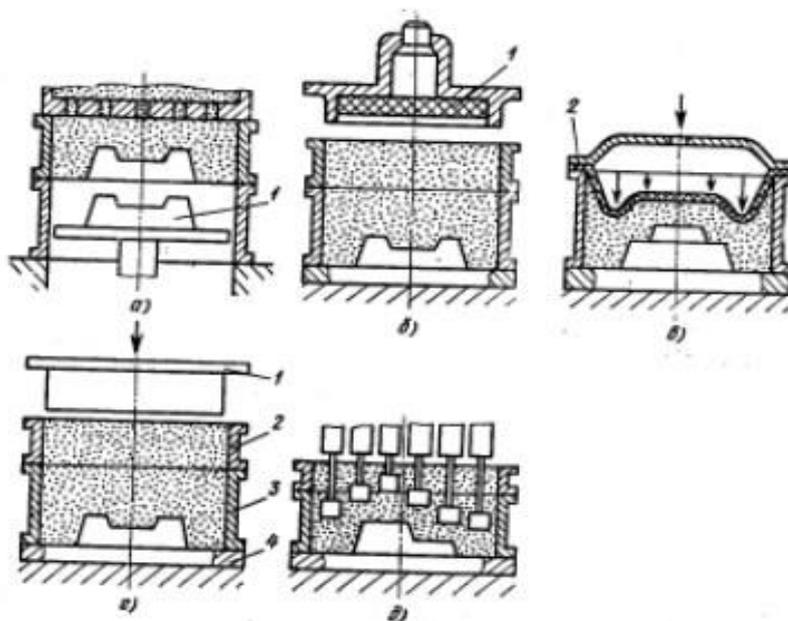


Рисунок 5 – Методы механического уплотнения формовочной смеси.  
 а – уплотнение моделью снизу; 1 – модель; б – уплотнение резиной; 1 - резина  
 в – уплотнение диафрагмой; 2 - диафрагма г – уплотнение колодкой сверху; 1 – колодка; 2 – наполнительная рамка; 3 – опока; 4 – модельная плита; д – дифференциальное уплотнение

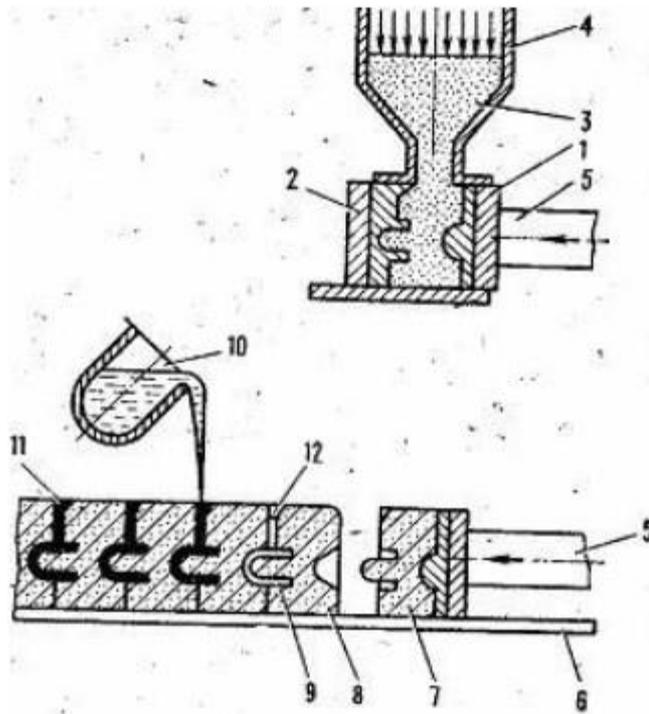


Рисунок 6 - Формовочная автоматическая линия

Для формовки крупногабаритных деталей используется опоки большого размера (рисунок 7). Они изготавливаются из чугуна или стали или их делают из стальных листов (сваривая). Поскольку они очень тяжелые, их можно перемещать только с помощью подъёмного крана, поэтому такие опоки называют крановыми.

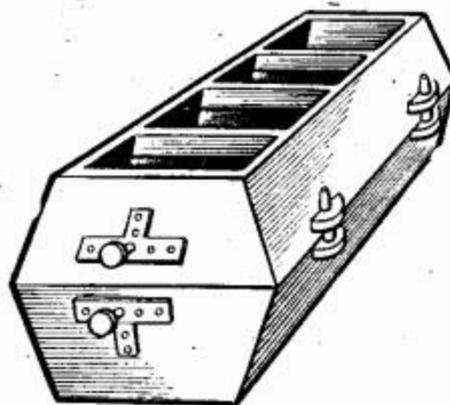


Рисунок 7 – Чугунная крановая опока

Для изготовления крупногабаритных форм используют пескомёты консольного типа, который имеет возможность обслуживать несколько трудящихся пространств, находящихся в ряд. Схема консольного пескомёта показана на рисунке 8. При изготовлении крупногабаритных отливок используют формовку в кессонах – бетонированных ямах. Бетон гарантирует гидроизоляцию, а форму выкладывают из кирпича. Вес отливки, полученной данным способом, может превышать 100 тонн.

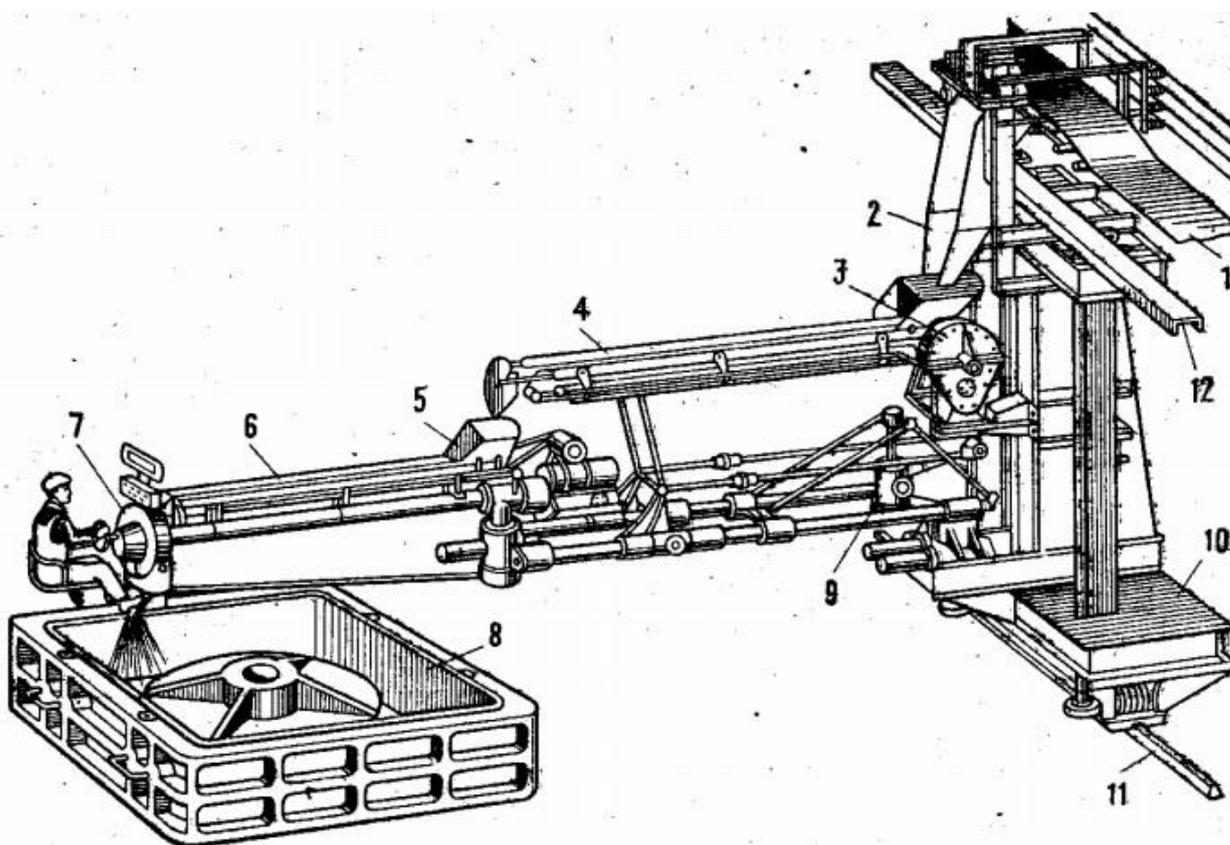
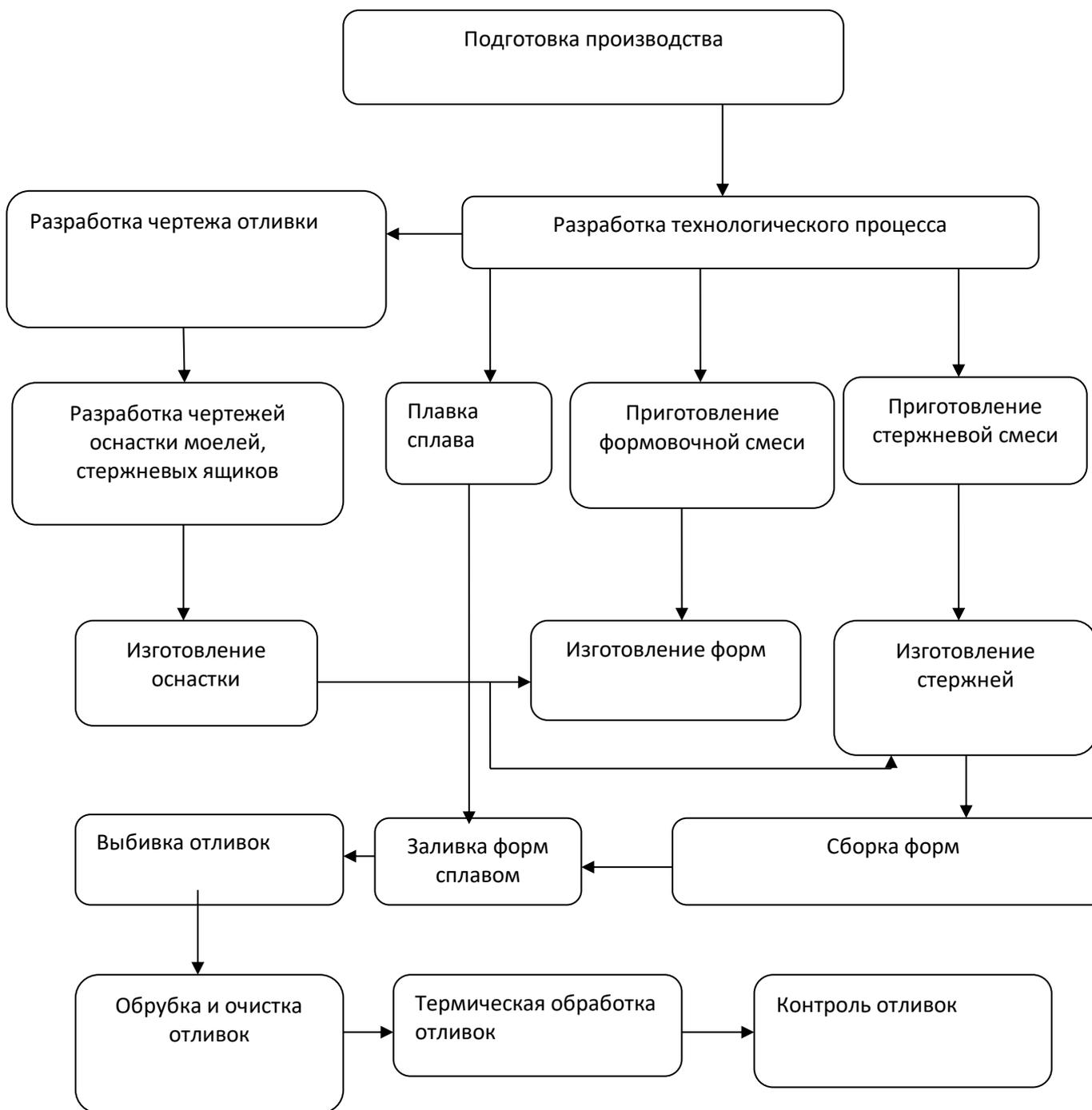


Рисунок 8 – Консольный пескомёт.

1 – цеховой транспортёр для подачи формовочной смеси; 2 – ковш; 3, 5 – воронки; 4, 6 – транспортёры; 7 – головка пескомёта; 8 – опока; 9 – гидравлический цилиндр для перемещения головки пескомёта; 10 – вертикальная тележка; 11 – рельс; 12 – подкранный путь

При формировании изделия и стержневых ящиков присматривают технологию формовки, изготовления стержня и механические свойства сплава. Технология изготовления изделия путем литья показана на внизу в схеме



### **1.3. Режимы термообработки для отливок из стали 20Л и 20ГЛ**

Стали с низким содержанием марганца широко используются из-за их относительно низкой стоимости при достаточно высоком пределе текучести, низком температурном пороге, хорошей свариваемости и деформируемости. Такие стали также используются в литейном производстве. Например, ответственные детали в железнодорожной промышленности отлиты из стали 20ГЛ. Для обеспечения надежности особенно важны следующие параметры: механические свойства, такие как предел текучести, предел выносливости, ударопрочность при нормальных и минусовых температурах. Механические свойства сталей регулируются действующим ГОСТом; для стали 20ГЛ это ГОСТ 977-88. Считается, что ферритно-перлитная структура с достаточным уровнем тонкости подходит для нормализованных отливок. Однако действующий ГОСТ 977-88 предъявляет минимальные требования к характеристикам сталей, не всегда обеспечивающие достаточную надежность отливок. Требования национальных стандартов некоторых стран и спецификаций компаний-производителей и групп являются более строгими. В России некоторые компании также стараются соблюдать специальные правила. Однако эти требования не всегда связаны с рациональным управлением структурой металла, которое зависит от многих факторов, таких как химический состав, содержание вредных примесей и неметаллических включений, методы воздействия на жидкий и кристаллизованный металл, методы и режимы термической обработки отливок и т. д. [78].

Эксплуатация в северных широтах предполагает устойчивость к низким температурам. В частности, для нефтепроводов и газопроводов требуется морозостойкое оборудование. Безопасность эксплуатации таких трубопроводов требует высококачественных компонентов. Большинство фитингов для труб представляют собой большие отливки из стали с низким содержанием перлита (20Л, 20ГЛ и т.д.). В такой стали трудно обеспечить высокую ударопрочность и устойчивость к хрупкому разрушению при низких температурах. Известно, что качество литья существенно зависит от

качества деталей литья, в частности от количества и структуры и размеров неметаллических включений, содержания ядовитых примесей, газов, отсутствия пор в литье, макроструктурных и химико-химических неоднородностей, унаследованных от состояния металла литья. [108]

Для повышения свойств литой стали, особенно ударопрочности и морозостойкости, выполняются процессы плавления, модификации и уточнения стали, чтобы уменьшить количество и размер неметаллических включений, обеспечить их сферическую форму, минимизировать содержание вредных примесей и газов и создать однородную, мелкозернистую структуру [89,106]. Несмотря на эффективность таких методов, они не всегда обеспечивают морозостойкость низкоуглеродистых трубных фитингов 20Л и 20ГЛ. Низкая прочность на разрыв стального литья может быть объяснена тем, что ферритно-перлитная и ферритно-перлитная конструкции, образованные из стали, недостаточно прочны. Для повышения прочности на разрыв стальных литых деталей используется термическая обработка, чтобы повысить однородность и уменьшить размер элементов конструкции. Используемые методы лечения включают нормализацию, нормализацию отпуска, двойную нормализацию, термоциклирование и термическое улучшение [89,99,108].

На многих сталелитейных заводах нормализация с последующим высоким отпуском чаще всего используется для изделия из стали 20Л и 20ГЛ. Промышленный опыт показывает, что нормализация с отпуском во многих случаях не обеспечивает требуемую ударопрочность при низких температурах в литых стальных деталях из стали 20Л и 20ГЛ. Это может быть связано, прежде всего, с неправильным выбором режимов термической обработки, что приводит к формированию неоптимальной концевой структуры стальных деталей. Для повышения качества литья арматуры и трубопроводов из стали 20Л и 20ГЛ в лабораторном центре АО "Выксунский металлургический завод" было проведено исследование влияния режимов

термической обработки на механические свойства и микроструктуру стали 20Л и 20ГЛ [108].

Для повышения качества литых деталей арматуры и трубопроводов из сталей 20Л и 20ГЛ в лаборатории инженерного центра АО «Выксунский металлургический завод» было исследовано влияние режимов термообработки на механические свойства и микроструктуру стали 20Л и 20ГЛ [9].

В работе [9] исследовали литые и термообработанные образцы из стали 20Л и 20 ГЛ (таблица 3, таблица 4)

Таблица 3– Химический состав (мас. %) стали 20Л и 20ГЛ для трубопроводных компонентов

Сталь	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	Mo	Cu	V
20Л	0,19	0,41	0,53	0,014	0,006	0,08	0,22	0,02		0,12	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20ГЛ	0,22	0,60	0,74	0,018	0,009	0,23	0,36	0,12		0,19	
	0,15	1,16	1,16	0,014	0,004	0,07	0,21	0,03	0,07	0,13	0,01
20ГЛ	-	-	-	-	-0,01	-	-	-	-	-	-
	0,19	1,76	1,74	0,022		0,16	0,29	0,11	0,11	0,19	0,02

Таблица 4 – Режимы термообработки для литых деталей из стали 20Л и 20ГЛ

Стали	Температура, °С	Время, выдержки, ч
20Л	880-900/630-650	4,5/4,0
20ГЛ	920-940/600-620	4,5/4,5

Перед влиянием термической обработки на структуру и свойства стали 20Л и 20ГЛ, определяют критические точки при нагреве и охлаждении с помощью Дилатометр DIL 805А/Д, а затем определяют термокинетический графи диаграмм распада аустенита при непрерывном охлаждении. Для

дилатометрических исследований используются цилиндрические образцы (диаметр 4 мм, длина 10 мм), которые подвергаются двухступенчатому нагреву высокочастотным током в вакууме: до 900°C для стали 20 л и 850°C для стали 20 гл. Образцы нагревают до 650 °С при 5 °С /с, а затем нагревают до температуры аустенитизации при 0,5 °С/с. После нагревания до температуры аустенитизации и 1 мин для выравнивание температуры, образцы охлаждают до 0,5–20 °С/с. на рисунке 9 и к 10 показана диаграмма распада аустенита в образцах стали. Пунктирные линии показывают критические температуры  $A_{c1}$  и  $A_{c2}$ , определяемые нагревом: 737 и 878 °С для стали 20 л и 726 и 835 ° С для стали 20 ГЛ. При каждой скорости охлаждения на этих термокинетических диаграммах средняя твердость Виксеру  $HV$  изменяется при нагрузке 1 кг.

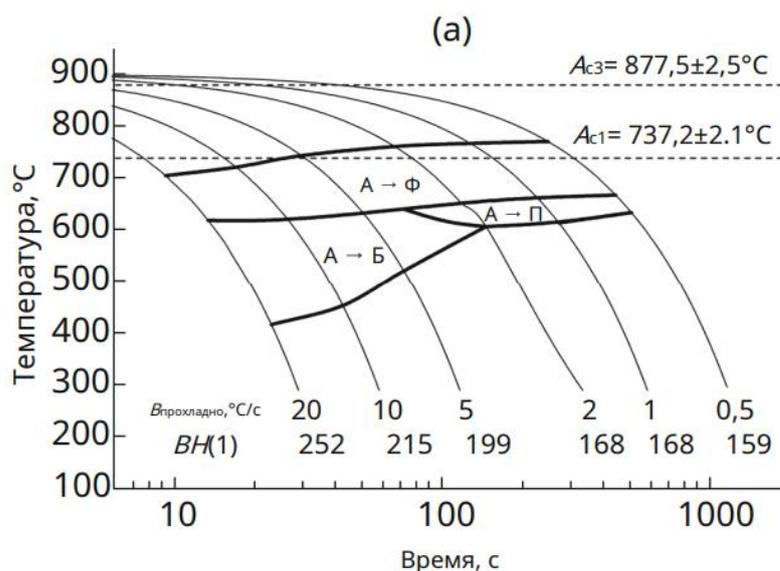


Рисунок 9 - Термокинетическая диаграмма аустенита при непрерывном охлаждении стали 20Л

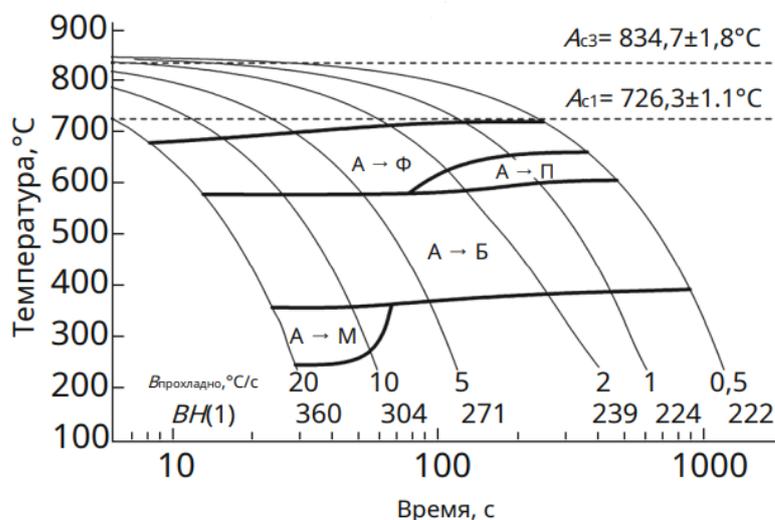


Рисунок 10 – Термокинетическая диаграмма аустенита при непрерывном охлаждении стали 20 ГЛ

При моделировании термической обработки использовался камерная лабораторная печь LN 60/12. Всего было протестировано четыре термические обработки (таблица 5): 1) нормализация (Н); 2) нормализация + отпуск (Н + О); 3) двойная нормализация из аустенитного диапазона и из критического интервала с последующим отпуском (Н + НК + О); 4) двойная закалка из аустенитной области и из критического интервала с последующим отпуском (З + ЗК + О).

При термической обработке используются отливки, которые уже прошли промышленную нормализацию. Деталь для термообработки представляет собой цилиндрическую отливку (диаметр 30-50 мм, длина 150-180 мм). Их загружают в печь, уже нагретую до нужной температуры, и выдерживают в течение необходимого времени (таблица 5). 1-3 образца охлаждают на воздухе (при комнатной температуре) между ступенями нагрева. При обработке 4 образца после первых двух фаз нагрева до аустенитного диапазона и до критического интервала образцы охлаждают в воде до комнатной температуры; после нагрева для закалки их охлаждают на воздухе. На этапах каждой термической обработки температура выбирается по соответствующей формуле (таблица 5), а критические температуры определяются дилатометрически.

Таблица 5 - Параметры термической обработки сталей 20Л и 20ГЛ

Термическая обработка			Выбранный параметр	t <sub>n</sub> для стали, °С		Выдерживание в печи	Охлаждение
№	Вид обработки	Этап		20Л	20ГЛ		
1 2 3 4	Н Н+О Н+НК+О З+ЗК+О	Н	Ac <sub>3</sub> + (20-30)	900	850	60 60 30 60 60 120	Воздух  Вода Воздух
		Н	Ac <sub>3</sub> + (20-30)	-	850		
		О	Ac <sub>1</sub> + (20-30)	-	700		
		Н	Ac <sub>3</sub> + (20-30)	900	860		
		НК	Ac <sub>1</sub> + (20-30)	770	750		
		О	Ac <sub>1</sub> + (20-30)	720	700		
		З	Ac <sub>3</sub> + (20-30)	920	880		
		ЗК	Ac <sub>1</sub> + (20-30)	770	750		
	О	Ac <sub>1</sub> + (20-30)	650	650			

После термической обработки из термообработанных отливок вырезается металлографическое поперечное сечение для оценки структурного состояния и измерения твердости. Кроме того, острый концентратор напряжений используется для вырезания образца размером 10×10×55 мм из отливки для определения ударной вязкости KCV соответственно ГОСТ9454. Структуру изучали с помощью инвертированного оптического микроскопа Axio Observer 1m и сканирующего электронного микроскопа Ultra-55 с использованием энергетического спектрометра INCA Energy450X-MAX [9].

#### **1.4. Влияние термической обработки на изменение свойств литейных малоуглеродистых сплавов**

Стали средно содержащий Mn, обеспечивают превосходное сочетание прочности и пластичности, подпадают под категорию усовершенствованных высокопрочных сталей. Аустенит образуется в стали со средним содержанием марганца при методе межкритического отжига. В этом методе в основном происходит разделение углерода и марганца в мартенсите с образованием обратного аустенита. Это разделение помогает стабилизировать обратный аустенит за счет образования остаточного аустенита. Для марганцевые стали относительно более высокая температура выше 900 К является межкритической температурой отжига для обратного аустенита [79]. Благодаря этому межкритическому способу нагрева отпуск происходит в среде стали Mn. В результате происходит значительное снижение твердости из-за уменьшения содержания углерода в твердом растворе и плотности дислокаций. Следовательно, согласно предположениям исследователя, существуют некоторые трудности в улучшении механических свойств для метода термической обработки при межкритическом отжиге с поддержанием требуемого количества остаточного аустенита [83]. В последнее время в случае марганцевой стали исследователи в основном концентрируются на сталях с низким или средним Mn с 3-12 мас.% Mn. Эти стали относятся к третьему поколению современных высокопрочных сталей. Текущие исследования третьего поколения сосредоточены на применении метода закалки-перегородки термической обработки на средней стали Mn для выполнения зазора свойств первого и второго поколения высокопрочных сталей [8], [55]. Для этих сталей элементарное разделение происходит во время отжига, который изменяет микроструктуру при горячей прокатке, охлаждении, отжиге и межкритическом отжиге [6]. Процесс закалки-секционирования состоит из трех этапов, таких как начальная закалка между начальной и финишной температурой мартенсита ( $M_S$ - $M_F$ ), затем вторичное разбиение, а третий этап является окончательным закалкой [47]. Метод

закалки-перегородки термической обработки в целом полезен для улучшения механических свойств легированных средних сталей Mn [54]. Применение закалочно-секционного метода термообработки на средней стали Mn дает лучшие механические свойства, чем межкритикальный отжиг, который в основном зависит от стабильности удерживаемого аустенита. Легирующие элементы (C, Mn, Al, Si и Ni) способствуют повышению стабильности аустенита и доли удержанного аустенита в объеме. Количество удержанного аустенита должно быть высоким для улучшения скорости упрочнения в низкоуглеродистой легированной средней стали Mn [46]. Следовательно, текущая обзорная работа дает четкое представление о влиянии метода закалки-разделения термической обработки на Al, Si, Ni и Cr добавленную низкоуглеродистую среднюю сталь Mn.

#### *Закалка-перегородка (. Quenching-partitioning)стали*

Метод закалки-перегородки полезен для автомобильной промышленности для повышения прочности и пластичности наряду с экономией топлива и безопасностью пассажиров для автомобильных сталей. Speer и другие впервые попробовали процесс закалки-разделения для улучшения механических свойств стали. Микроструктура с низкоуглеродистым мартенситом и удерживаемым аустенитом способствует повышению прочности и пластичности стали [28,51]. Результаты прошлых исследований показали, что высокая прочность закалочно-перегородочной стали обусловлена мартенситными планками. Однако хорошая пластичность обусловлена эффектом пластичности, индуцированной трансформацией [77], [64,17,50,27]. В последнее время исследователи пытаются использовать новую технику термообработки, такую как закалка-перегородка, которая улучшает механические свойства. Процесс закалки-секционирования обычно происходит в три этапа. Первым этапом является начальная закалка, за которой следует секционирование с закалкой в качестве последней стадии. Полная или частичная аустенитизация происходит на начальных этапах

закалки. Температура закалки находится между  $M_S$  и комнатной температурой, который контролирует количество первичного мартенсита [13]. На этапе разделения термическая обработка до более высоких температур приводит к диффузии углерода. В комнатной температуре, происходит обогащение углеродом в аустените, что приводит к его стабилизации. Недостаточное обогащение углерода способствует превращению мартенсита в конечной стадии закалки в комнатной температуре [53,75]. Наличие углерода и марганца улучшает стабильность аустенита. Добавление легирующих элементов, таких как Al, Si и Ni, создает путь для разделения углерода в аустените путем снижения осаждения карбида [34]. Температура закалки (QT), перегородка-температура (PT) и время разбиения — это три параметра, которые улучшают механические свойства стали путем изменения микроструктуры [21].

#### Закалка-перегородка из средней Mn стали

На Рисунок 11 показан график термической обработки закалки-перегородки, используемый для средней стали Mn.



Рисунок 11 - График термической обработки закалки-перегородки, применяемый для средней Mn стали.

Стали со средним содержанием марганца демонстрируют свою неспособность к образованию бейнита, низкую прокаливаемость при разделительной обработке [46,11]. S. S. Ауемапуди и др. заметили, что более высокая температура разделения, т.е. от 450 до 600°C по сравнению с 400°C,

способствует инициированию осаждения цементита. Перлит также образуется на объемном аустените, что приводит к меньшему количеству остаточного аустенита. Согласно их исследованию, они показали, что более высокая температура разделения на стали со средним содержанием марганца дает представление о том, как избежать или снизить реакции [74]. Межкритический отжиг с последующим закалочным разделением приводит к образованию нестабильного нетрансформированного аустенита. Однако разделение марганца помогает стабилизировать недавно разработанный реверсивный аустенит. Этот аустенит с различной стабильностью улучшает механические свойства стали со средним содержанием марганца. Для метода термической обработки с разделением на закалку стали со средним содержанием Mn содержание углерода составляет от 0,1 до 0,3 мас.%. Когда содержание углерода составляет более 0,3 мас.%, образуются двойники, которые могут создавать закалочные трещины и снижать ударную вязкость [58]. Н.Рап и другие применили закально-разделительную обработку к стали со средним содержанием марганца. Они заметили, что процесс закалки-разделения при термической обработке повышает предел текучести [39].

## 1.5. Особенности стали 20 ГМЛ

Трубопроводная инфраструктура чрезвычайно важна для того, чтобы помочь нашей стране функционировать. В России протяжённость магистральных трубопроводов составляет около 250тыс.км [43]. Всем нам известно, что в северной части Российского государства в зимний период температура будет крайне низкой. Эксплуатация в северных широтах влечет за собой устойчивость к низким температурам. В частности, для нефти и газопроводов требуется морозостойкое оборудование. Эксплуатационная надежность таких трубопроводов требует высококачественных компонентов. Поэтому в низкоуглеродистые низколегированные стали применяются в наземных и подводных трубопроводах для транспортировки нефти и газа [108].

При добыче нефти в скважинах наиболее распространенными методами борьбы с коррозией являются химическое ингибирование коррозии и выбор материалов. Углеродистая сталь традиционно использовалась для производства труб нефтепромыслового назначения в присутствии ингибиторов коррозии[2]. Однако эта стратегия снижения коррозии влечет за собой значительные эксплуатационные расходы для поддержки протоколов ингибиторов. Альтернативой является использование сплава с более высокой коррозионной стойкостью для достижения баланса между капитальными и эксплуатационными затратами. [5].

Для достижения этой цели выбран распространенный подход: улучшение химического состава основного сплава с точки зрения элементов, который в определенной степени придает коррозионную стойкость, трещиностойкость, ударную вязкость и т.д при сохранении той же структуры[7].

Для улучшения свойств стального литья, в частности ударной вязкости и хладостойкости проводятся процессы выплавки, модифицирование и рафинирование стали направленные на уменьшение количества и размеров неметаллических включений, обеспечивающий их глобулярной формы,

минимизацию содержания вредных примесей и газов, а также для создания однородной мелкозернистой структуры [106].

Сталь 20ГМЛ является модифицированной версией стали 20ГЛ. Основным отличием этих двух сплавов является химический состав. Легирующий металл в составе сплава 20ГМЛ придает ему своеобразные физико-механические особенности. На

В таблице 6 показана химический состав стали 20ГЛ И 20ГМЛ. В составе стали 20ГМЛ присутствуют легирующие элементы Cr, Mn, Ni, Mo, Ca, Ce, которые придают стали такие механические свойства как ударная вязкость, трещина стойкость, коррозионная стойкость и т.д при значительно низких температурах.

Таблица 6- Химический состав в ;% стали 20ГЛ по ГОСТ977-88 и ГМЛ по ТУ 4 112-091-00220302-2006

Элементы	20ГМЛ	20ГЛ
Углерод – С	0,12 – 0,2	0,15-0,25
Кремний – Si	0,2 – 0,4	0,2-0,4
Марганец – Mn	0,8 – 1,2	1,2-1,6
Хром – Cr	До 0,5	
Никель – Ni	До 0,5	
Молибден - Mo	0,25 – 0,35	
Кальций – Ca	0,05 – 0,15	
Церий - Ce	0,05 – 0,1	
Алюминий - Al	0,08	
Сера – S	До 0,03	До 0,04
Фосфор– P	До 0,03	До 0,04
Железо - Fe	остаток	остаток

Сталь 20ГМЛ используется в основном для формирования 1,2,3 групп корпусов и деталей трубопроводной арматуры, работающих при довольно низких условиях погоды (от -60 до +450 °С). Ударная вязкость детали из стали 20 ГМЛ –  $KCU^{-60} \geq 500$  кДж/м<sup>2</sup> (3,0 кгс·м/см<sup>2</sup>).

Таблица 7 – Механические свойства стали 20ГЛ по ГОСТ 977-88 и 20ГМЛ по ТУ 4 112-091-00220302-2006

Марки стали	20 ГМЛ	20ГЛ
Термическая обработка, при температуре	Нормализация при 900÷920 °С (воздух), отпуск при 600÷650 °С (воздух)	Закалка в воду с 920-940 °С + отпуск при 600-620 °С, охлаждение на воздухе
Временное сопротивление разрыву (не менее), МПа	450	530
Предел текучести (не менее), МПа	300	334
Относительное удлинение, %	25	14
Относительное сужение, %	50	25
Ударная вязкость при температуре не менее +20 °С, кДж/м <sup>2</sup>	1000	383
Ударная вязкость при температуре не менее -70 °С, кДж/м <sup>2</sup>	500	

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### 2.1. Методики исследования

Иследуемый материал представляет собой корпус КСР (клапан сегментный регулирующий) изготовленный из стали 20ГМЛ на заводе «ТЭМЗ».

Основной задачей данной работы является определение режимов термической обработки, с целью повышения механических свойств изделия из стали 20 ГМЛ, так как термические обработки, приведенные по ТУ 4 112-091-00220302-2006, не оказывали положительное влияние на структуру и механические свойства этого материала.

Поверхность образца шлифовали и полировали на станке для шлифовки и полировки, с помощью дисков разных размера абразива (2000,1000). Полировку проводили на сукне давая частицы окись хрома, затем травили с 4% азотной кислотой ( по соотношению:  $\text{HNO}_3$ , 5мл + этиловый спирт, 100мл). Металлографические исследования проводили на инверторном металлографическом микроскопе «Zeiss Axio Observer». Состав металла определяли с помощью мобильного оптико-эмиссионного анализатора PMI-MASTER. После того, как узнали, что этот сплав является сталь 20ГМЛ, измеряли твердость по Бриннелю и испытывали на ударную вязкость. Для измерения твердости по Бриннелю (ГОСТ 9012-59) использовали шарик диаметром 10 мм, нагрузка – 3000 кг,. Ударную вязкость измеряли по ГОСТ 9454-78.

Процесс термообработки проводился в муфельной печи с системой контроля температуры (микропроцессорный регулятор температуры РПН-4).

## 2.2. Подготовка образца к металлографическому анализу

Металлография - это прежде всего изучение микроструктуры материала. Анализ материалов направлен на изучение технических характеристик материала - обычно важного фактора при разработке материалов или приложений для контроля качества.

Материал обычно проходит несколько процедур, прежде чем к нему можно будет получить доступ к микроструктуре. Металлографическое шлифование и полировка имеют решающее значение в качестве последних шагов к механической подготовке образцов. Контраст часто необходим для того, чтобы микроструктура была видна после полировки. Иногда травление необходимо после металлографической полировки, но оно зависит от конкретных изучаемых деталей и чаще встречается при работе с металлами. Качественный анализ требует подготовки поверхности без царапин с хорошим расположением, что является ключевым фактором при анализе слоев, покрытий или электронных компонентов. Важно выбрать подходящие методы подготовки образцов, которые не будут слишком агрессивными, так как это может привести к исчерпанию жизненно важных признаков, представляющих интерес.

Шлифовка и полировка постепенно уменьшают шероховатость поверхности, чтобы получить доступ к недеформированной структуре. Этот процесс основан на использовании абразивных частиц с постепенно уменьшающимися размерами зерен. При металлографическом шлифовании эти абразивы связываются с полимерной или металлической матрицей, и наиболее часто используемыми абразивами являются частицы карбида кремния. Эти частицы часто используются при работе с более мягкими, средними или твердыми материалами, композитными материалами и электроникой. Частицы алмаза также могут использоваться для более твердых компонентов, таких как керамика, карбиды, стекло или камень. Операторы всегда должны выбирать абразивы, которые тверже, чем готовый материал.

Использование связанных абразивов обеспечивает высокую скорость истирания, которая идеально подходит для удаления деформации поверхности ржавчины во время процесса резки или материала, который блокирует интересующую область, и для достижения высокой ровности.

Металлографическое шлифование можно классифицировать как плоское шлифование, тонкое шлифование или сверхтонкое шлифование, и классификация зависит от размера абразивных частиц. При полировке используются свободные абразивы, которые катятся по поверхности. Он мягче и обеспечивает лучшую отделку поверхности, но также обеспечивает меньшую скорость удаления. Механическая полировка устраняет все оставшиеся неровности в процессе шлифования, создавая чистую поверхность для дальнейшего изучения. Наиболее часто используемыми абразивами при металлографической полировке и механическом удалении материалов являются мелкие частицы алмаза (используемые при предварительной или промежуточной полировке) или оксиды, такие как диоксид кремния или оксид алюминия (используемые при окончательной полировке).

Травление широко используется в различных технологиях обработки металла: для очистки поверхностей от оксидной пленки, для изготовления рельефов, для выполнения химического и электрохимического фрезерования, для измерения размеров и шлифования.[116]

Сталь обычно травят в солевых растворах или серной кислоте. Скорость травления в растворах эти кислоты достаточно высоки, чтобы обеспечить эффективную очистку и активацию поверхности перед нанесением покрытия, но это слишком маленький, если нужно нанести толстый слой металла. удаленный. Кроме того, в результате реакции образуется водород, который проникает в металл и тем самым ухудшает его механические свойства. Азотная кислота разъедает сталь с большей скоростью, не выделяя водород, что можно объяснить тем фактом, что она является более эффективным окислителем. Даже когда водород вытесняется

железом, он существует в атомной форме, участвующей в восстановлении азотных кислот в соединения с более низким содержанием кислорода азот, такой как гидроксилламин или аммиак (Нитрат аммония)[113] :



### **2.3. Металлографическое исследование образца**

Металлографическое исследование использует инвертированный оптический свет для проверки микроструктуры материала (рисунок 12), определения размера зерна и может дать ключ к разгадке происхождения разрушения металла. Металлографическое исследование обычно проводится на полированных поперечных сечениях, которые могут быть протравлены, чтобы выявить структуру материала путем выборочной коррозии границ зерен. Металлографическое исследование часто является важным инструментом для определения степени трещин и ямок. Кроме того, этот контроль используется для характеристики изменений после обработки, связанных с литьем, ковкой, механической обработкой, сваркой, термообработкой и нанесением покрытия.

Металлографическое исследование использует перевернутый оптический свет для проверки микроструктуры материала (рисунок 12), определения размера зерна и указания на происхождение разрушения металла. Металлографическое исследование обычно проводится на полированных поперечных сечениях, которые можно вытравить, чтобы сделать структуру материала видимой из-за селективной коррозии границ зерен. Металлографическое исследование часто является важным инструментом для определения размеров трещин и ям. Кроме того, этот элемент управления используется для характеристики изменений в после термообработки, связанных с литьем, ковкой, обработкой, сваркой, термической обработкой и нанесением покрытия.



Рисунок 12 - Инвертерной металлографический микроскоп  
«ZeissAxioObserver A1».

Проверка мягких металлов может быть затруднена из-за царапин, возникающих в процессе полировки, которые могут выглядеть как дефекты металла. Перевернутые металлургические микроскопы наблюдают за образцами снизу, позволяя пользователю исследовать толстые или тяжелые образцы, не регулируя ориентацию поверхности образца.

Металлургические микроскопы могут быть похожи на составные биологические микроскопы, но у них есть ряд отличий. Использование металлургического микроскопа позволяет пользователю просматривать образцы с большим увеличением (до 500x и 1000x), без прохождения света через образец, как в случае с биологическим образцом.

#### **2.4. Определение химический состав образца с помощью мобильного оптико-эмиссионного анализатора PMI-MASTER**

Оптическая эмиссионная спектроскопия или ОАЭ (рисунок 13) - это проверенный, а также обширно применяемый метод анализа для установления химико-элементного состава разных сплавов. Тип изделий, которые можно проверить с помощью химического анализатора, включает

изделия из сплавов первичной и вторичной металлургии и металлообработки, трубы, болты, стержни, провода, пластины и многие другие. Часть спектра электромагнитного излучения, применяемого в анализаторе, состоит из видимого спектра и ультрафиолета. Если говорить о длине волны, то длина волны – от 130 нанометра до примерно 800 нанометра.

ОЭА способен исследовать обширный диапазон компонентов с водорода вплоть до урана в жестких металлических изделиях, включающих обширный спектр концентраций, то что предоставляет весьма значительную достоверность а также невысокие пределы обнаружения элементов.

Определение элементов и концентраций, которые могут установить анализатор, зависит от объекта изделия и видом применяемого анализатора.



Рисунок 13 – Мобильный оптико-эмиссионный анализатор  
PMI-MASTER

### ***Принцип работы оптико-эмиссионной спектроскопии***

*Все виды анализаторы (ОЭС) состоит из три основных компонента:*

1. Генератор возбуждения
2. Оптический прибор (улавливает свет, разделяет его на спектральные линии и измеряет)
3. Компьютерная система со специальным программным обеспечением

1. Генератор возбуждения является источником тока, который создает электрический ток в виде искры или дуги, между наконечником

контрэлектрона и поверхности образца создается импульс высоковольтного напряжения, заставляя его стать проводниками. Между этими промежутками возникает постоянный ток с низким сопротивлением. Получившаяся плазма нагревает материал до нескольких тысяч градусов. Вследствие этого материал испаряется, ионизируется (рисунок 14).

Как уже было указано выше, использовать можно два типа электротока: дугообразное и дискообразное многозарядное тока возбуждение. Возбуждение тока дуги состоит в том, чтобы вызвать непрерывный ток в течение нескольких секунд. А при возбуждении искровой разряд создается ток с определенной частотой в пределах 100-1000Гц.

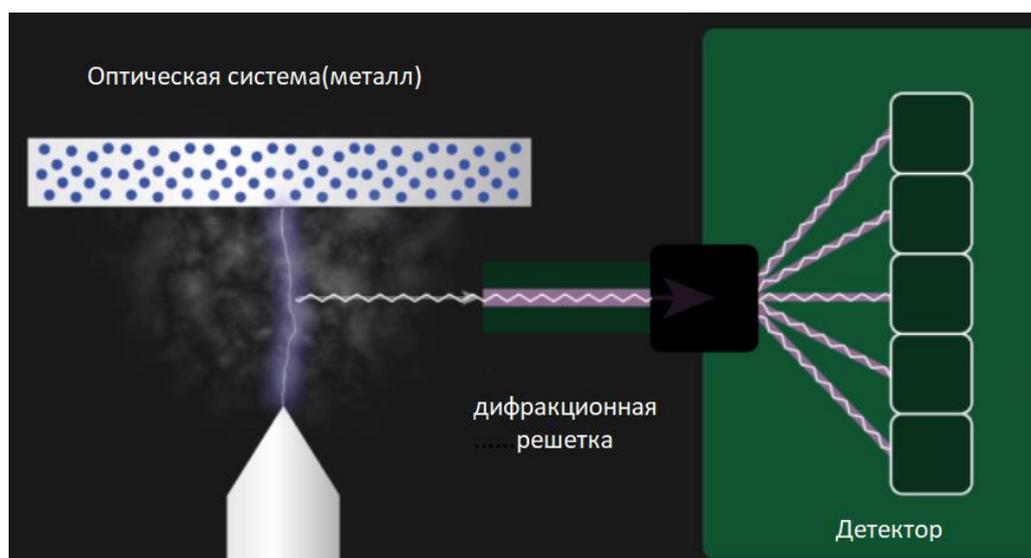


Рисунок 15 – Принцип работы оптико-эмиссионной спектроскопии

В зависимости от исследуемого образца и требуемой точности могут использоваться эти две режима работы

2. Второй составляющий элемент – оптический прибор, который поглощает свет и разделяет его на спектральным линиям и затем измеряет его. Для этой цели применяется специальная решетка высокого разрешения, которая разделяет зарегистрированный свет на длину волн. Каждый элемент имеет свою конкретную длину волн. После получения света специальный

датчик измеряет интенсивности света на каждую волну, которая уникальна для любого элемента.

3. Третий основной компонент – компьютерная система, который считывают и обрабатывает полученные данные от оптического прибора с помощью калибровки.

Пользовательский интерфейс позволяет минимизировать работа оператора и при этом результаты устанавливаются четко. Это можно в дальнейшем обработать, сохранить, распечатать.

Когда электрическая энергия взаимодействует с атомом, некоторые электроны внешнего атома высвобождаются и выбрасываются. Внешние электроны менее тесны, расположено и связано с атомным ядром, поскольку они расположено далеко от атомного ядра, поэтому для выброса требуется меньше энергии входа. Электроны которые выброшенные создают вакансию, это делает атома нестабильным.

Для восстановления стабильности электроны, высоко расположенные электроны отпускаются вниз, и заполняет место. При движении электродов высвобождается энергия которые испускает из себя свет или оптическую излучению.

В каждом элементе испускаются ряд спектральные линии, соответствующие различному электронному переходу между различными уровнями энергетического уровня или оболочек. Каждый переход производит определенную оптическую линию, имеющую фиксированную длину волны или энергетическую энергию.

Каждый из элементов излучает большое количество волн, что дает богатый спектр линий. Например, для железа излучается чуть больше 8000 различных волн, так что выбор оптимальных линий излучения этого элемента в рисунке является очень важным.

Характерное излучение атомов в образце передается к оптической системе, где его разделяют на спектральную длину волны с помощью

высоких технологий градации, в градации содержится до 3600 скважин на миллиметр.

Затем собираются отдельные пульсирующие сигналы спектральных линий детекторы и обработаны для того, чтобы создать спектр, который показывает пиковые колебания света в зависимости от их длины волн. Это значит, что ОЭС предоставляет качественные, точные данные о измеренных образцах, но нельзя отрицать что ОЭС количественный метод.

Пиковой длины волны определяет элемент, и его пиковой площадь или интенсификация позволяет представить его количество в виде образца. После этого анализатор использует данную информацию, чтобы рассчитывать элементный состав образца на калибровке на сертифицированном эталонном материале. Весь процесс с нажатием кнопки запуска или триггера до получения анализа может продолжаться до 3 секунд и может занимать до 30 секунд, в зависимости от использования анализатора, диапазона измеряемого элемента и концентрации этого элемента (рисунок 15).

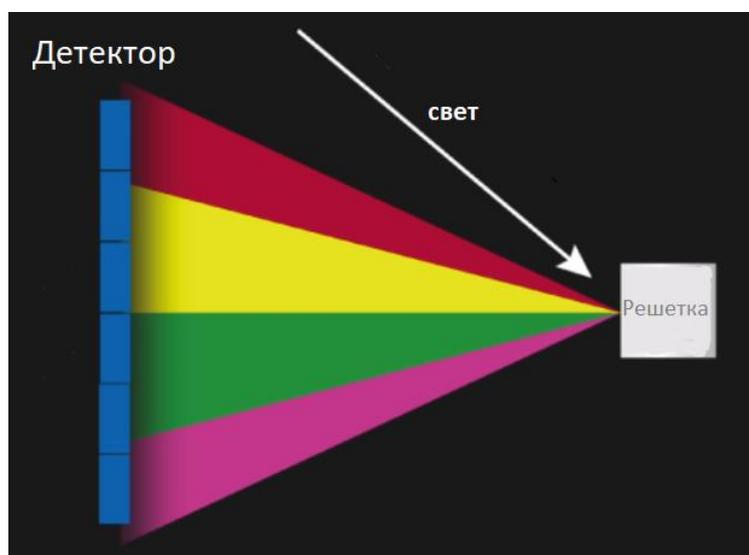


Рисунок 16 – Определение элемента по излучению

В отличие от других аналитических методов, ОЭС имеет множество преимуществ: быстрое и весьма простое использование, измеряет большой спектр и концентрации элементов во многих разных видах материала, в том числе важных элементов, например, углерода, серы, фосфора, бора и азота.

Он крайне точен в измерении низкого уровня следов и трещин, и достаточно недорого, чем в других методах.

### ***Измерение твердости по Бринеллю***

Тест Бринелла (рисунок 16) - это простой тест на вдавливание. Как и при любом металлургическом методе определения твердости, поверхность стали должна быть подготовлена соответствующим образом. Это потребует шлифования поверхности, чтобы она была ниже уровня обезуглероживания поверхности и поверхностного окисления. Золотое правило при испытании на твердость заключается в подготовке поверхности стали к переходу в первичную сталь, то есть сталь, на которую не влияет поверхностное окисление и обезуглероживание.



Рисунок 17 – Измерение твердости по Бринеллю

Метод испытания по Бринеллю состоит в вдавливании закаленного стального шарика под заданным давлением в испытуемый материал (рисунок 17). Число твердости по Бринеллю получается путем деления давления на сферическую поверхность отпечатка в килограммах, которое выражается в квадратных миллиметрах.

Число твердости НВ (кгс/мм<sup>2</sup>) – это отношение приложенной нагрузки к площади поверхности отпечатка, его вычисляют по формуле (10)

$$HB = \frac{2P}{\pi D \sqrt{D - D^2 - d^2}} \quad (10)$$

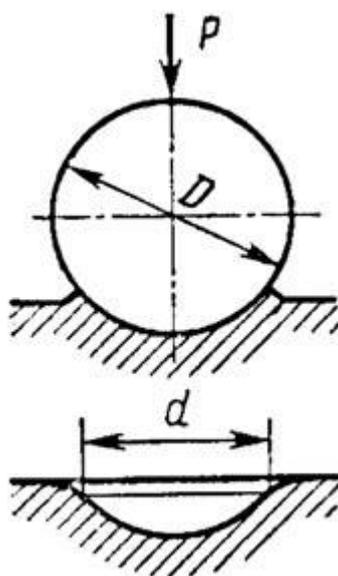


Рисунок 18 - Схема измерения отпечатка твердости по Бринеллю

Испытательная машина оснащена шариком из вольфрамовой стали. Диаметр шарика и нагрузку выбирают так, чтобы соблюдалось соотношение  $d = (0,25 \dots 0,5)D$ , т.е. для разных материалов эти параметры различны. Выбор нагрузки производится в зависимости от толщины испытываемого образца стали. В нашем случае диаметр шарика составляет 10 мм, нагрузка – 3000кг. Образцы который подвергались измерению твердости по Бринелли показана на рисунке 18. Чем меньше отпечаток индентора, тем выше твердость сплава.



Рисунок 19 – Отпечатка индентора на исследуемых образцах

## 2.5. Испытания образца на ударную вязкость

Полимерные материалы иногда подвергаются быстрому стрессовому нагружению или ударным нагрузкам. Для оценки способности материалов выдерживать такие нагрузки предложен ряд методов испытаний. Двумя наиболее распространенными методами являются так называемые испытания на удар по *Изоду* и *Шарпи* (маятниковые). Тест Изода является более популярным методом для пластиковых материалов, а тест Шарпи очень распространен для металлов. Маятниковое испытание на ударную вязкость описано в стандарте ГОСТ9454-78. Этот метод требует как минимум пяти, а предпочтительно десяти или более отдельных показаний, чтобы получить хорошее среднее значение ударопрочности материала. Суммарная энергия удара зависит как от размера испытываемого образца, так и от формы и длины надреза. Стандартный образец обычно используется для сравнения различных материалов.

Испытание на удар маятником включает измерение энергии, необходимой для разрушения испытываемого образца, который зажимается на концах, а затем ударяется в центре маятниковым грузом. Энергия,

необходимая для разрушения образца, получается за счет потери энергии маятника.

Эта энергия представляет собой просто разницу потенциальной энергии молота до и после удара, например

$$E = mg(h - h) \quad (11)$$

Где  $m$  — масса молотка,  $h$  — его высота,  $g$  — ускорение свободного падения ( $9,81 \text{ м/с}^2$ ). Значения представлены в единицах поглощенной энергии на единицу толщины надреза (например, Дж/м или фут·фунт/дюйм). В качестве альтернативы результаты могут быть выражены как поглощенная энергия на единицу площади поперечного сечения надреза.

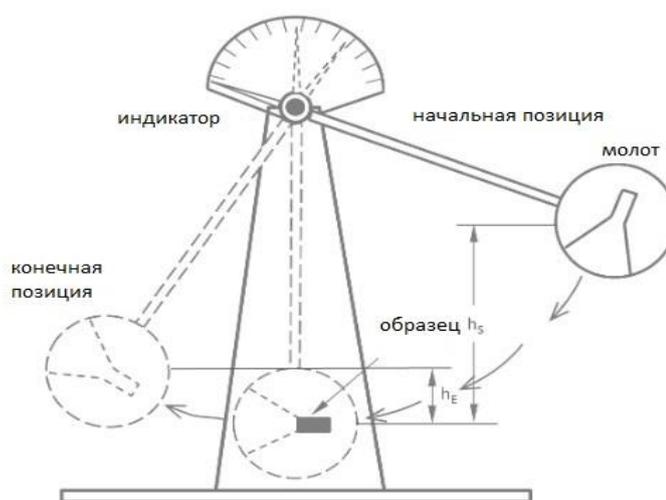


Рисунок 20 – Маятниковый тестер удара

Энергия, поглощаемая при разрушении, имеет две составляющие. Это работа пластической деформации за счет образования зоны пластичности вокруг вершины надреза и работа, необходимая для создания поверхностей разрушения, равная энергии когезии, которую необходимо преодолеть, чтобы разделить атомы и молекулы по обе стороны надреза. Путь к трещине. Энергия вязкого разрушения намного больше, чем энергия хрупкого разрушения, потому что пластичные материалы претерпевают сильную пластическую деформацию до и во время разрушения, которая

поглощает гораздо больше энергии удара, чем разрыв физических и химических связей (поверхностная энергия разрушения).

Все материалы претерпевают переход от пластичного поведения при более высоких температурах к хрупкому поведению при более низких температурах (рисунок 20). При более высоких температурах энергия удара сравнительно велика, поскольку излом пластичен. Но при понижении температуры поглощенная энергия удара в узком интервале температур резко уменьшается, так как разрушение становится более хрупким. Хрупко-пластический переход можно наблюдать и по поверхностям излома; образец пластичного излома имеет волокнистую или тусклую поверхность, тогда как хрупкий образец имеет зернистую и блестящую поверхность излома.

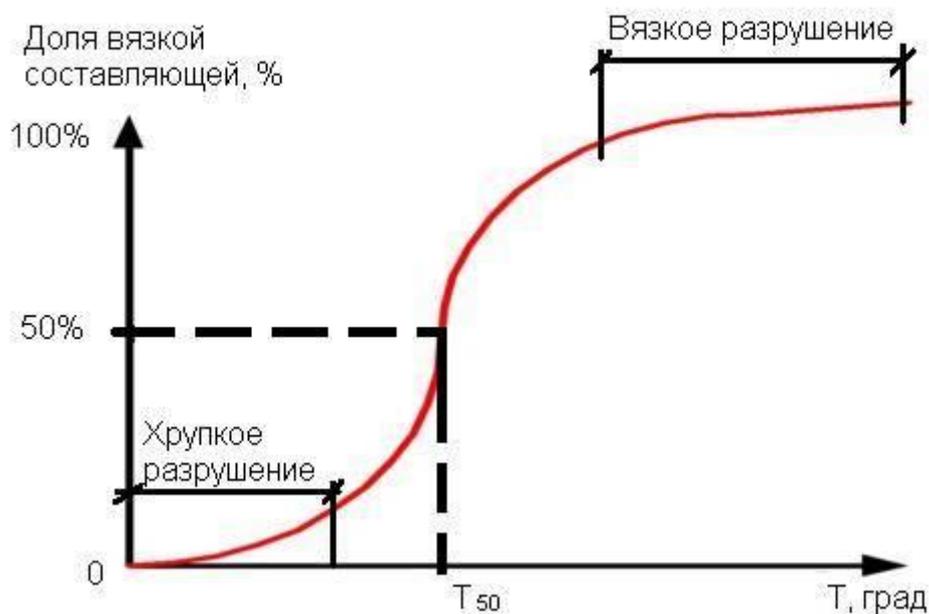


Рисунок 21– Влияние температуры на ударную вязкость

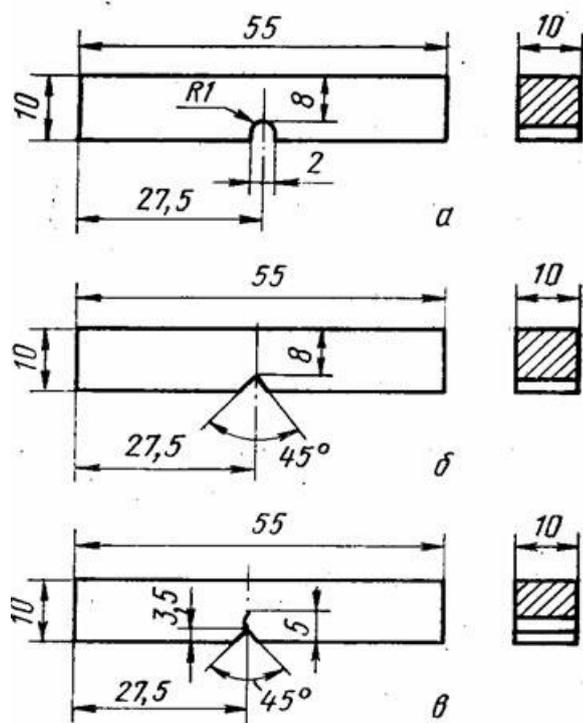


Рисунок 22 – Образцы для испытания на ударную вязкость  
 U – образный надрез, V – образный надрез, Т – надрез с трещиной

### ***Процесс термообработки в муфельной печи***

Процесс термической обработки проводили в муфельной печи, который позволяет производить термообработку изделий при температуре превышающей 1000 °С.( рисунок 22)



Рисунок 23 - Муфельная печь

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

#### 3.1. Результаты исследование

Для исследования была взята отрезки сегментного регулирующего клапана из стали 20 ГМЛ, химический состав который приведен в таблице 8. Химический состав сплава определяли с помощью химического анализатора РМІМАСТЕР.

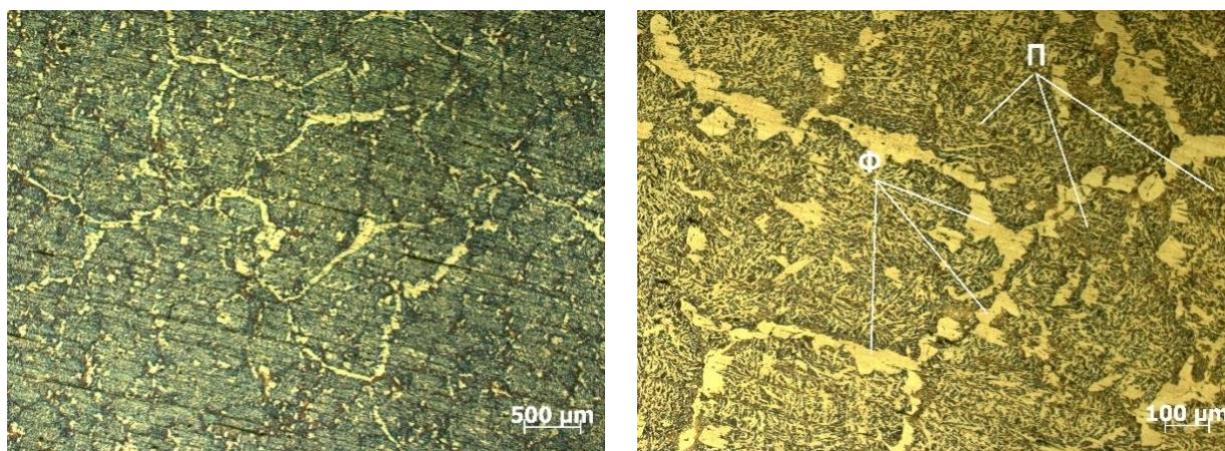
Таблица 8 – Химический состав исследуемый стали

Элементы	Химический состав стали, %	
	экспериментальной	По ТУ 4 112-091-00220302-2006
Углерод – С	0,14	0,12 – 0,2
Кремний – Si	0,2	0,2 – 0,4
Марганец – Mn	1,11	0,8 – 1,2
Хром – Cr	0,4	До 0,5
Никель – Ni	0,12	До 0,5
Молибден - Mo	0,3	0,25 – 0,35
Кальций – Ca	0,063	0,05 – 0,15
Церий - Ce	0,067	0,05 – 0,1
Алюминий - Al	0,08	0,08
Сера – S	0,002	До 0,03
Фосфор– P	0,03	До 0,03

После стандартного метода шлифования и полирования образца, отлитого на заводе ТЭМЗ, травили азотной кислотой (HNO<sub>3</sub>(4%) 5 мл этиловый спирт 100 мл) и исследовали микроструктуру на микроскопе АХІО Observert A1m подключенным к персональному компьютеру.

Результаты исследования микроструктуры литой стали представлен на рисунке 23 разным увеличением. Анализируя микроструктуру литой стали

можно сказать что материал представляет собой феррито-перлитную, дендритную структуру, которые обозначены буквами Ф и П (рисунок 23).



*a*

*б*

Рисунок 24 - Микроструктура стали 20ГМЛ до термообработки при разных увеличениях

Ударная вязкость стали напрямую зависит от ее микроструктуры, в нашем случае образование перлита в сетчатый структуре является главной причиной снижения вязкости.

В процессе образцы из 20 ГМЛ была подвержена термической обработке: отжиг при 900 °С согласно требования СТЦКБА 014-2004. Режим отжига: медленный нагрев до 900°С за 40 минут и выдержка 4 ч, с последующим медленным охлаждением в печи. Скорость охлаждения в печи 120°С/ч (рисунок 24).

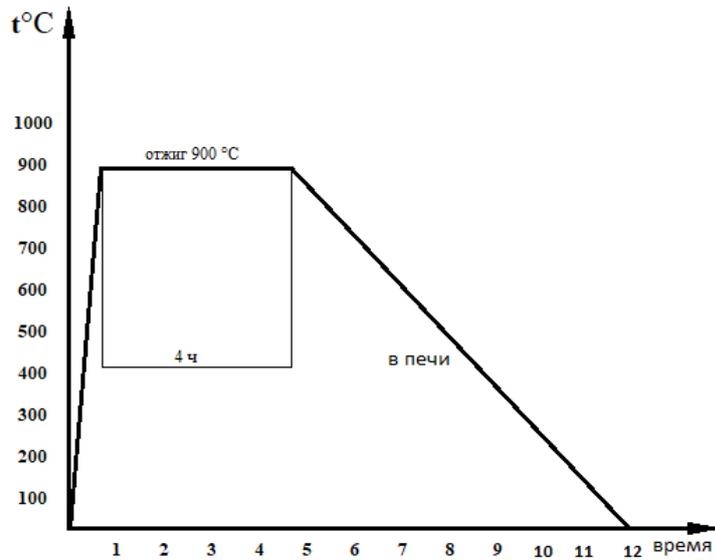
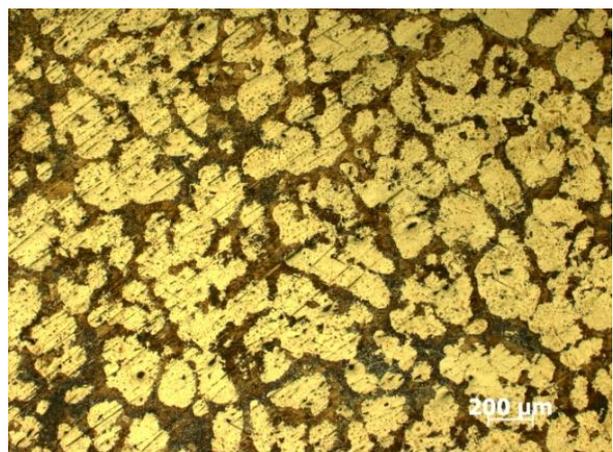


Рисунок 25 - Режим отжига

После отжига измеряли ударную вязкость на маятниковом копером (U образным надрезом) , ударная вязкость стали при комнатной температуре составила 29,5 КСУ, Дж/см<sup>2</sup>, твердость по Бринеллю – 229НВ. Результаты металлографического исследования стали после отжига показан на рисунке 25.



а



б

Рисунок 26 - Микроструктура стали 20ГМЛ после отжиг в 900 4ч при разных увеличении

Режим отжига дал положительный результат на микроструктуру стали. Микроструктура стали становилась более однородной в сравнении с исходным сплавом. Но значение вязкости стали не сильно возросло т.к. в стали присутствует дендриты, оказывающие отрицательное влияние на механические свойства металла.

Следующие реализованный режим термообработки – отжиг при нагреве до 900°C в течение 40 минут и выдержка 4 часа, затем медленное охлаждение в печи. Скорость охлаждения в печи составляет 120 °C/ч, как и в предыдущей обработке. После того, как образец полностью остыл, его подвергали обработке нормализации при 920 °C, её выдерживали при этой температуре в течение 60 минут, а затем охлаждали на воздухе (рисунок 26).

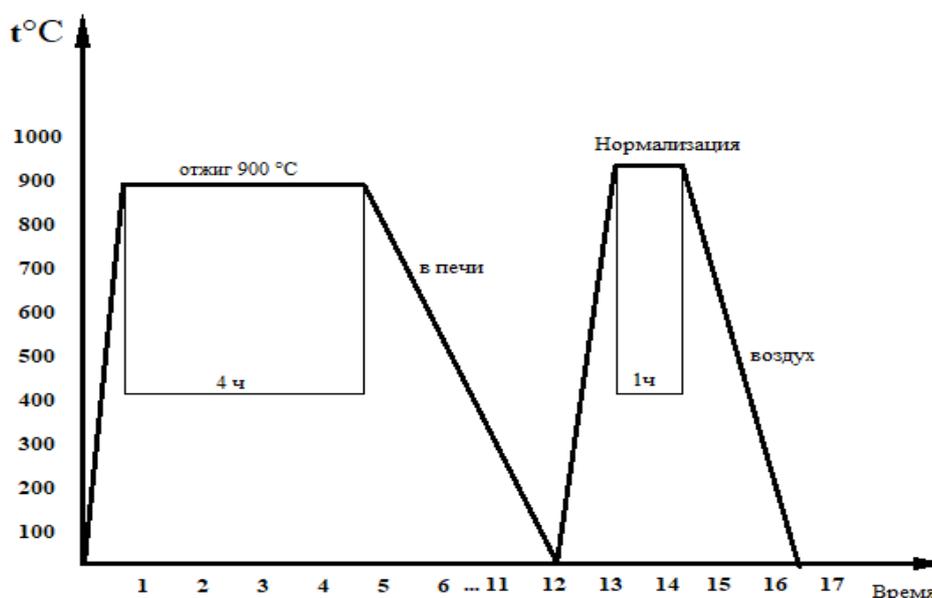
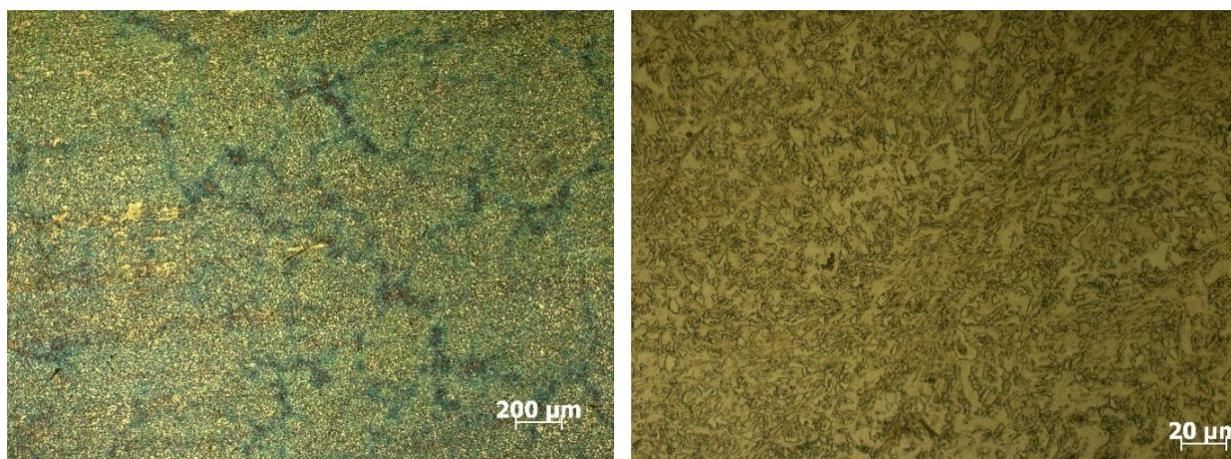


Рисунок 27 - Режим термообработки, отжиг 900 °C, 4ч + нормализация 920 °C, 1 ч

Микроструктура стали после термообработки стала мелкозернистой состоявший из ферритной основой и мелких карбидов железо легирующих элементов(Cr, Mo, Mn и т.д) Твердость по Бринеллю уменьшилась на 22

единиц за счет устранения перлитной составляющей. Соответственно ударная вязкость увеличилась до значения 70 Дж/см<sup>2</sup>.



*a*

*б*

Рисунок 28 - Микроструктура стали 20ГМЛ после отжиг при 900 °С , 4 ч + нормализация при 920 °С, 1 ч, при разных увеличениях

Следующая режим термообработки: медленный нагрев вместе с печью до 900°С в течение 40 минут при отжиге и выдержка 4 часа, затем медленное охлаждение в печи. Скорость охлаждения в печи составляет 120 °С/мин. После того, как образец полностью остыл, его подвергали обработке для нормализации при 920 °С, выдерживали при этой температуре в течение 60 минут, а затем охлаждали на воздухе. После полностью остывания подвергали обработке отпуск при 650°С (рисунок 28).

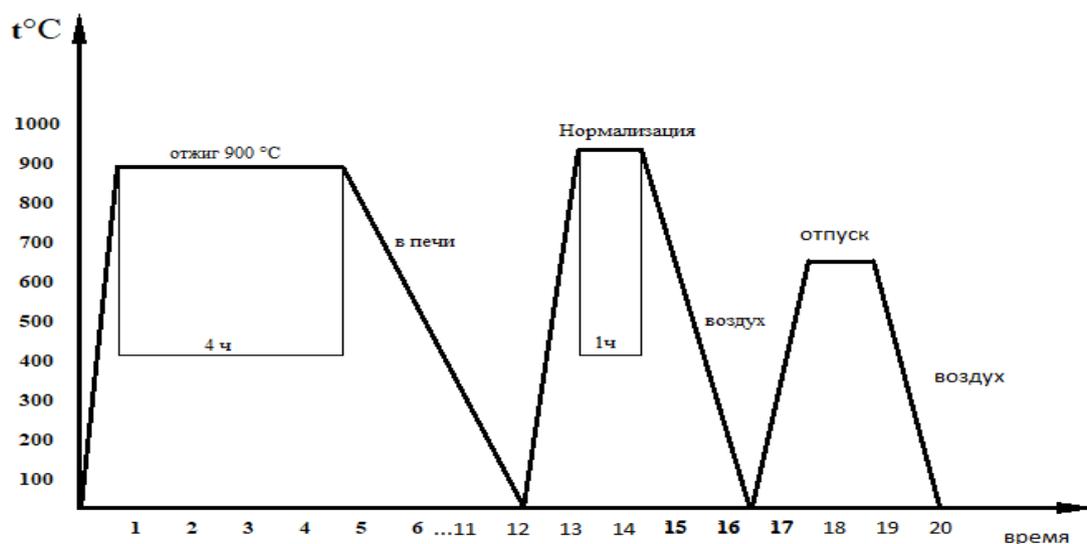
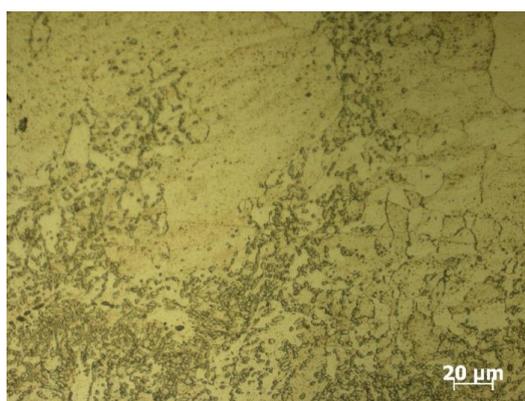
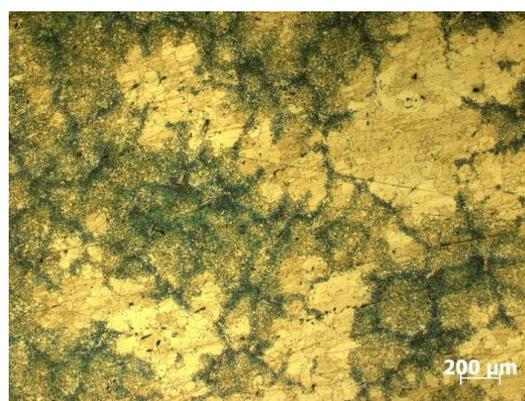


Рисунок 29 - Режим термообработки, отжиг+нормализация+отпуск 650°C

Микроструктура имеет мелкозернистую непольностью сформированный феррито-перлитную структуру, в результате недостаточного температура нагрева и времени прогрева (рисунок 29). Неравномерная феррито-перлитная структура при механической испытаниях, ударная вязкость стали при комнатной температуре составила 22,5 КСУ, Дж/см<sup>2</sup>, твердость по Бринеллю –187Н, что не соответствует с эксплуатационными свойствами изделия.



*а*



*б*

Рисунок 30 - Микроструктура стали 20ГМЛ после отжиг при 900 °C , 4 ч + нормализация при 920 °C, 1 ч + отпуск 650 °C, 1ч, при разной увеличени

Режим отжига: медленный вместе с печью до 920°C за 40 минут и выдержка 6ч, с последующим медленным охлаждением в печи. Скорость охлаждения в печи 120°C/ч (рисунок 30).

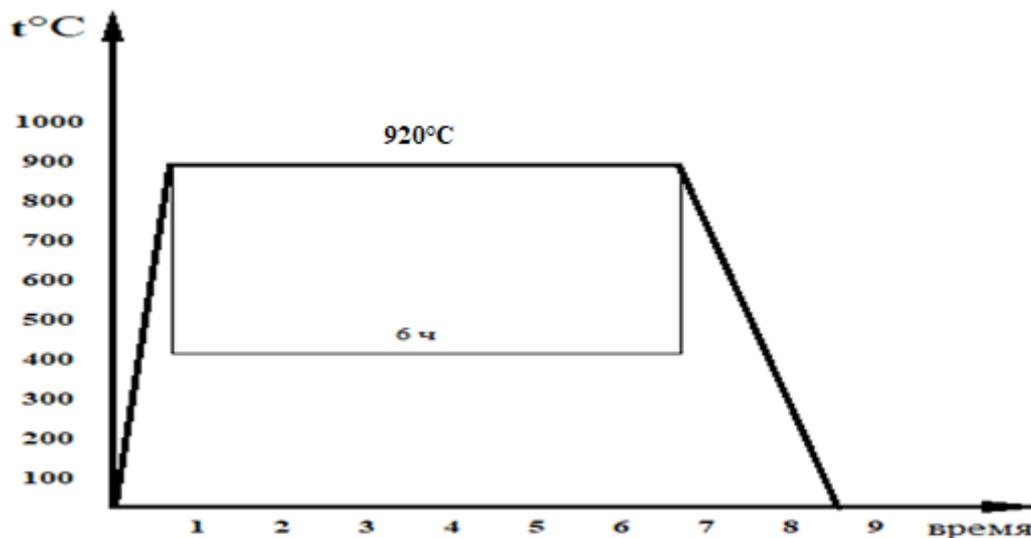


Рисунок 31 – Режим термообработки, отжиг при 900°C, 6ч

Микроструктура имеет однородную зеренную, феррито-перлитную структуру. Средний размер зерна составляет 150-200 мкм, что соответствует структуре отожженной стали (рисунок 31). Ударная вязкость стали при комнатной температуре составила 54,2 КСД, Дж/см<sup>2</sup>, твердость по Бринеллю –159 НВ .

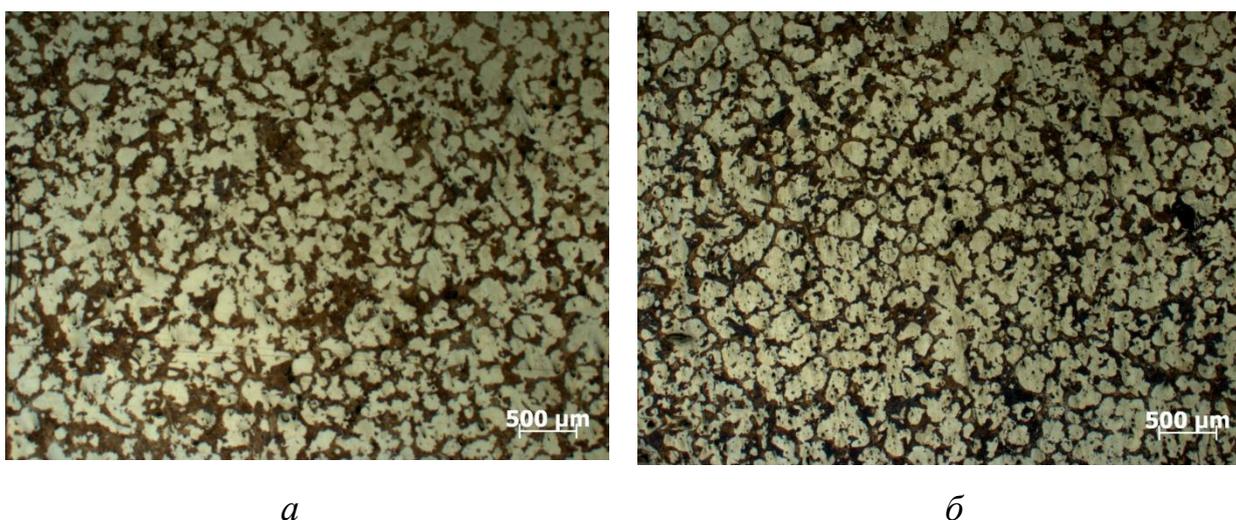


Рисунок 32 - Микроструктура стали 20ГМЛ после отжиг при 920 °С при разной увеличении

В ходе исследования было измерено ударная вязкость и твердость по Бринеллю после каждой термообработки. Результаты показаны в таблице 9

Таблица 9 - Результаты испытаний

<b>Вид термической обработки</b>	<b>Ударная вязкость, КСУ, Дж/см<sup>2</sup></b>	<b>Твердость по Бринеллю</b>
Литая сталь	-	207
Отжиг 900°C	29,5	229
Отжиг 900°C , 4 часа Нормализация 920°C , 1 час	70	207
Отжиг 90°C , 4 часа Нормализация 920°C, 1 час Отпуск 650°C , 1 час	25,8	187
Отжиг 920°C , 6 часа	54,2	159

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования для корпуса сегментного регулирующего клапана из стали 20 ГМЛ, оптимальное сочетание значения ударной вязкости  $KCU=54,2$  Дж/см<sup>2</sup>, твердость по Бринеллю 159 НВ и сформированной зерённой ферритно-перлитной структуры было достигнуто при термической обработке: отжиг при  $t=920^{\circ}\text{C}$ , 6 часов.

Результаты исследования структуры свойств стали 20 ГМЛ, формирующиеся в результате литья и последующей термической обработки свидетельствуют о ее работоспособности в средах, содержащих сероводород при высоких внутренних давлениях (более 200-300 атт). Стойкость стали к сероводородному растрескиванию объясняется малым содержанием углерода и микролегированием молибденом, карбиды которого более стойкие к водороду, чем карбид железа. Оптимальное сочетание микроструктуры и значений ударной вязкости делают ее более востребованной, по сравнению с другими сплавами.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4БМОИ	Кайратулы Шымболат

<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОАР</b>
Уровень образования	Магистрант	Направление/специальность	22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Бюджет – 1 100 000 руб. Затраты на заработную плату – 849 883 руб. Прочие расходы – 668 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Тариф на электроэнергию 5,8 кВт/ч</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Налог во внебюджетные фонды – 107 724 руб. Районный коэффициент – 1,3 Накладные расходы – 321 736 руб.</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)</i>	<i>Оценка потенциальных потребителей исследования, SWOT – анализ,</i>
2. <i>Формирование плана и бюджета инженерного проекта (ИП)</i>	<i>Планирование этапов работ, определение трудоемкости и построение календарного графика, формирование бюджета.</i>
3. <i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков</i>	<i>Оценка сравнительной эффективности исследования. Интегральный показатель ресурсоэффективности – 4.2 Интегральный показатель эффективности – 4.55 Сравнительная эффективность проекта – 0.63</i>

**Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей)

1. <i>Оценка конкурентоспособности НТИ</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>График разработки</i>
4. <i>Бюджет НТИ</i>
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</i>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Меньшикова Екатерина Валентиновна	к.ф.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4БМОИ	Кайратулы Шымболат		

## **ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

### **Введение**

Главная задача этого раздела является оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской работы.

Важно понимать, что коммерческая привлекательность разработки определяется не только техническими параметрами, превосходящими предыдущие разработки, но и тем, насколько быстро разработчик сможет найти ответы на такие вопросы - нужен ли продукт потребителям рынка, какова будет его цена, каков бюджет исследовательского проекта, сколько времени потребуется для выхода на рынок и т. д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения; планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

1. Оценка коммерческого потенциала разработки;
2. Оценка готовности проекта к коммерциализации;

3. Проработка методов коммерциализации и инициацию проекта;
4. Планирование научно-исследовательской работы;
5. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Целью магистерской диссертации является изучение влияние термической обработки на структуру и свойства отливок из стали 20 ГМЛ.

#### **4.1. Предпроектный анализ**

##### **4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования**

Сталь 20ГМЛ применяется: для изготовления отливок 1, 2 и 3-й групп деталей трубопроводной арматуры, работающих при низких температурах (от -60 до +450 °С) в нейтральных средах, для литосварных конструкций с испытанием ударной вязкости  $KCU-60 \geq 300$  кДж/м<sup>2</sup> (3,0 кгс•м/см<sup>2</sup>); отливок деталей трубопроводной арматуры, работающих в средах, содержащих сероводород (H<sub>2</sub>S) при температурах от -40 до +80 °С с испытанием ударной вязкости  $KCU-40 \geq 300$  кДж/м<sup>2</sup> (3,0 кгс•м/см<sup>2</sup>). Поэтому сталь 20ГМЛ получил широкое применение. В частности, они получили распространение в качестве арматуры в трубопроводной магистрали для увеличения его срока службы.

В настоящее время производство трубопроводной арматуры в России динамично развивается. Наряду с внутренним рынком российская продукция пользуется большим спросом в зарубежных странах (Авангард, Also, Армагус, МЗТА (Муромский Завод Трубопроводной Арматуры, Водоприбор, и др.)).

Основными потребителями трубопроводной арматуры являются очень небольшое количество сверхкрупных нефтегазовых предприятий, таких как Газпром, Роснефть, Транснефть. А так же крупные энергетические предприятия ГК «Росатом» и генерирующие компании.

#### **4.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Эксплуатация в северных широтах влечет за собой устойчивость к низким температурам. В частности, для нефте и газопроводов требуется морозостойкое оборудование. Эксплуатационная надежность таких трубопроводов требует высококачественных компонентов. Для улучшения свойств стального литья, в частности ударной вязкости и хладостойкости проводятся процессы выплавки, модифицирование и рафинирование стали направленные на уменьшение количества и размеров неметаллических включений, обеспечивающий их глобулярной формы, минимизацию содержания вредных примесей и газов, а также для создания однородной мелкозернистой структуры. Несмотря на эффективность таких методов, они не всегда обеспечивают хладостойкость деталей арматуры для трубопроводов. Для повышения трещиностойкости литых стальных деталей применяется термическая обработка для повышения однородности и уменьшения размеров элементов конструкции. Применяемые обработки включают нормализацию, нормализацию с отпуском, двойную нормализацию, термоциклирование и термическое улучшение.

Термическая обработка применяется в металлургии, машиностроении, и других важных отраслях промышленности. Она является неотъемлемым элементом технологического процесса полуфабрикатов, изделий и инструмента, определяет их надежность и долговечность в условиях эксплуатации. Для получения качественных продукции, металл обрабатывается термическими обработками как закалка, отпуск, отжиг, нормализация. В рамках реализации настоящего проекта, предлагается использовать все эти методы термической обработки.

К1 –Изготовление деталей трубопроводной арматуры из низкоуглеродистой стали 20 ГЛ. Сталь 20ГМЛ является модифицированной версией стали 20ГЛ. Легирующий металл в составе сплава 20ГМЛ придает

ему своеобразные физико-механические особенности, которые ее делают лучше в рынке.

К2 –Изготовление деталей трубопроводной арматуры из нержавеющей стали 12Х18Н10Т обойдется дороже, чем в нашем методе. Кроме того, такие стали не подходят для работы в северных широтах, это связано с тем, что сталь начинает терять свои механические свойства при низких температурах.

Таблица 10 - Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Актуальность исследования	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
2. Точность исследований	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
3. Срок службы инструмента	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3
4. Энергоэкономичность производства	0,1	5	3	5	0,5	0,3	0,5
5. Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
6. Частота полученных данных	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
2. Затраты на разработку	0,1	4	3	2	0,4	0,3	0,2
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	3	2	0,4	0,3	0,2
4. Финансирование научной разработки	0,1	4	3	5	0,4	0,3	0,5
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>45</b>	<b>38</b>	<b>30</b>	<b>4,5</b>	<b>3,8</b>	<b>3,8</b>

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B<sub>i</sub> – вес показателя (в долях единицы); B<sub>i</sub> – балл i-го показателя.

### 4.1.3. SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Матрица составляется на основе анализа рынка и конкурентных технических решений, и показывает сильные и слабые стороны проекта, возможности и угрозы для разработки.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Матрица SWOT представлена в таблице 11.

Таблица 11 - Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>
	<p>С1. Относительная простота метода</p> <p>С2. Относительная дешевизна сырья и низкая стоимость производства;</p> <p>С3. Использование отечественных коммерчески доступных российских материалов;</p> <p>С4. Изготовление деталей, стабильно работающих при низких температурах.</p>	<p>Сл1. Отсутствие бизнес-плана коммерциализации;</p> <p>Сл2. Вероятность получения брака;</p> <p>Сл3. Не проработаны вопросы выхода на международный рынок.</p>
<b>Возможности:</b>		
<p>В1. Появление потенциального спроса на новые разработки;</p> <p>В2. Быстрое внедрение в производство;</p> <p>В3. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ;</p> <p>В4. Повышение</p>	<p>Наилучший исход событий это вывод продукции на рынок, получение дополнительных ресурсов как трудовых так и материальных в случае если технология окажется интересна каким либо</p>	<p>Главные проблемы разработки это вероятность получения брака и необходимость дальнейшего исследования металла с целью увеличения срока службы инструмента;</p>

стоимости конкурентных разработок;	инвесторам/покупателям;	
<b>Угрозы:</b> В1. Отсутствие спроса на новые технологии производства В2. Развитая конкуренция технологий производства В3. Ограничения на экспорт технологии В4. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции В5. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства	Все сильные стороны проекта, а также специфика работы компенсируют угрозы, которые влияют извне;	Данные результаты НИР, можно применять для дальнейших исследований.

В результате SWOT-анализа показано, что преимущества разрабатываемой технологии преобладают над ее недостатками.

Данные недостатки, которые на данный момент на практике не устранены, но в теории уже есть возможности для их устранения.

#### **4.1.4. Оценка готовности проекта к коммерциализации**

Оценим готовность проекта к коммерциализации, заполнив соответствующую таблицу (таблица 12).

Необходимо оценить степень готовности к коммерциализации НИР и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения. Для этого заполняется специальная форма, которая содержит показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта, таблица 12.

Таблица 12 - Бланк оценки готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний разработчика у
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	5
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	5	5
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	4
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	4
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	4
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	4
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	5
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	2
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	4
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	5
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	3

15.	Проработан механизм реализации научного проекта	4	5
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	51	64

Итоговые значения проработанности научного проекта и знания у разработчика лежат в диапазоне от 51 до 64, из чего следует, что разработка считается перспективной.

Некоторые аспекты вывода продукта на рынок не были учтены, а также проявляется недостаток знаний в некоторых областях. В связи с этим, необходимы консультации у соответствующих специалистов по разработке проекта.

#### **4.1.5. Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования**

При коммерциализации научно-технических разработок продавец, преследует вполне определённую цель, которая во многом зависит от того, куда в последующем он намерен направить полученный коммерческий эффект. Это может быть получение средств для продолжения своих научных исследований и разработок, одноразовое получение финансовых ресурсов для каких-либо целей или накопление, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания.

Для данной разработки наиболее подходит инжиниринг, т.е комплекс инженерно-консультационных услуг коммерческого характера по подготовке и обеспечению непосредственно процесса производства, обслуживанию сооружений, эксплуатаций хозяйственных объектов и реализации продукции.

Возможна следующая схема коммерциализации: между НИ ТПУ и предприятием-заказчиком инжиниринговых услуг заключается хозяйственный договор. Исполнитель предоставляет аппарат, собранный на средства предприятия-заказчика с использованием производственной базы НИ ТПУ и услуги диагностики для предприятия заказчика.

## 4.2. Инициация проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

### 4.2.1. Цели и результаты проекта

Перед определением целей необходимо перечислить заинтересованные стороны проекта. Информация по заинтересованным сторонам представлена в таблице 13.

Таблица 13 - Заинтересованные стороны проекта

<b>Заинтересованные стороны проекта</b>	<b>Ожидание заинтересованных сторон</b>
Потенциальный потребитель	Удовлетворенность в выполнении заказа и соответствие заявленных требований
Разработчик	Получение прибыли со своего продукта
Научный руководитель, студент	Выполненная выпускная квалификационная работа

Цели и результат проекта в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения представлены в таблице 14:

Таблица 14 - Цели и результат проекта

<b>Цели проекта</b>	Улучшение структуры и повышение прочностных свойств отливок 20ГМЛ
<b>Ожидаемые результаты проекта</b>	Получение технологии термической обработки для улучшения структуры и повышение прочности стали 20ГМЛ
<b>Критерии приемки результата проекта</b>	Отчет о проделанной работе, в котором содержится анализ и выводы о выявленных закономерностях.
<b>Требования к результату проекта</b>	<b>Требование:</b>
	1) Численная оценка увеличения срока службы при эксплуатации стали 20ГМЛ.

	2) Представлены выбранные оптимальные режимы термической обработки
--	--

#### 4.2.2. Организационная структура проекта

Исполнителей и их роли в создании проекта сведем в таблицу 15.

Таблица 15 - Список исполнителей проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, Час.
1	Стрелкова Ирина Леонидовна	Руководитель проекта	1. Анализ имеющихся технических решений и результатов. 2. Проведение экспериментов.	312
2	Кайратулы Шымболат НИ ТПУ Студент группы 4БМ0И	Исполнитель проекта	Подготовка и проведение экспериментов. Анализ результатов экспериментов.	1112
				1424

В результате определения рабочей группы проекта, были определены функции и трудозатраты руководителя и исполняющих.

#### 4.2.3. Ограничения и допущения проекта

Ограничения и допущения сведем в таблицу 16.

Таблица 16 - Ограничение проекта

Фактор	Ограничения
1.2.3.1 Бюджет проекта	1100000 рублей
1.2.3.1.1 Источник финансирования	НИТПУ
1.2.3.2 Сроки проекта	01.11.2021 – 30.05.2022

1.2.3.2.1	Фактическая дата утверждения плана управления проектом	01.11.2021
1.2.3.2.2	Плановая дата завершения проекта	30.05.2022

В результате проведения инициализации проекта сформулированы цели и предлагаемые результаты, определены заинтересованные стороны проекта и финансовые рамки, что очень важно для успешного завершения проекта и его реализации.

### 4.3. Планирование управления

Особенность НИР в энергетической области это ее неповторимость, сложность и уникальность.

Последовательность выполнения научно-исследовательской работы, а также ее содержание зависят от предмета исследования, сложности научно-исследовательской работы, актуальность и новизны темы.

#### 4.3.1. План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта.

Линейный график представляется в виде таблицы

Номер работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1.	Составление и утверждение технического задания	3	01.11.2021	03.11.2021	Стрелкова И.Л., Кайратулы Ш.
2.	Изучение научной литературы по	11	08.11.2021	22.11.2021	Кайратулы Ш

	теме				
3.	Изучение актуальных статей по теме	8	01.12.2021	10.12.2021	Кайратулы Ш.
4.	Составление схемы экспериментальной установки	5	13.12.2021	17.12.2021	Стрелкова И.Л., Кайратулы Ш
5.	Подбор образцов	9	20.12.2021	30.12.2021	Стрелкова И.Л., Кайратулы Ш.
6.	Подбор и изучение объекта исследований	15	10.01.2022	28.01.2022	Кайратулы Ш.
7.	Проведение серии первичных экспериментов	18	01.02.2022	25.02.2022	Кайратулы Ш
8.	Обработка полученных данных	8	01.03.2022	11.03.2022	Кайратулы Ш
9.	Анализ полученных результатов, формулировка выводов	14	14.03.2022	31.03.2022	Кайратулы Ш.
10.	Оценка эффективности и анализ результатов	11	01.04.2022	15.04.2022	Стрелкова И.Л., Кайратулы Ш..
11.	Составление пояснительной записки	33	16.05.2022	30.06.2022	Кайратулы Ш
Итого:		Руководитель проекта			28
		Исполнитель проекта			135

Таблица 17 - Календарный план-график проведения научно-исследовательской работы

Вид работ	Исполнитель и	Т <sub>к</sub> , дни	Продолжительность выполнения работ																							
			Нояб			декабрь			Янв.			Февр.			Март			Апр.			Май.			Июнь		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Составление и утверждение технического задания	Руководитель	2	■																							
	Исполнитель		■																							
Изучение научной литературы по теме	Исполнитель	18	■	■	■																					
Изучение актуальных статей по теме	Исполнитель	3				■																				
Составление схемы экспериментальной установки	Руководитель	17				■	■																			
	Исполнитель					■	■																			
Подбор образцов	Руководитель	17					■	■																		
	Исполнитель						■	■																		
Подбор и изучение объекта исследований	Исполнитель	18								■	■															
Проевдение серии первичных экспериментов	Исполнитель	26										■	■	■												
Обработка полученных данных	Исполнитель	12													■											
Анализ полученных результатов, формулировка выводов	Исполнитель	11														■	■									
Оценка эффективности и анализ результатов	Руководитель	16																■	■							
	Исполнитель																	■	■							
Состование пояснительной записки	Исполнитель	42																				■	■	■	■	■



- Руководитель



- Исполнитель (студент)

Таким образом, запланированный комплекс работ может быть разделен на 11 этапов. На выполнение поставленных задач требуется порядка восемь месяцев.

#### **4.3.2. Бюджет научного исследования**

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- 1) материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- 2) затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- 3) основная заработная плата исполнителей;
- 4) дополнительная заработная плата исполнителей;
- 5) отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- 6) накладные расходы НИР.

*Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)*

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3–5 % от цены). Результаты по данной статье представлены в таблице 18.

Таблица 18 - Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Заготовки из сплава 20ГМЛ	20ГМЛ	1	600	600
Тара для бразуов	AND НТ-120	1	8600	8600
Засыпка противоокислительная (чугунная стружка)	1 кг	2	300	600
Окись хрома(порошок)	30 г	10	120	1200
Этильнитрат	1 л	1	750	750
Полотно	M42	1	1090	1090
Термостойкие перчатки	1	1	1200	1200
Всего за материалы				14040
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				421
Итого по статье С <sub>м</sub>				14461

***Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ***

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Таблица 19 - Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц	Общая стоимость оборудования, руб.
-------	---------------------------	---------------	------------------------------------

		оборудования	
1.	Муфельная печь LOIP LF- 5/11-V1	1	138312
2.	Металлографический микроскоп Olympus BX53M	1	1040000
3.	Ленточная пила по металлу JET J-349V 50000333M	1	63009
4.	Металлографическое оборудование: Шлифовка и полировка.	1	632000

Расчет амортизационных отчислений осуществляется исходя из базовой стоимости оборудования и утвержденных норм амортизации.

Расчёт амортизационных отчислений  $H$  осуществлялся по формуле:

$$H = \sum_{i=1}^n \frac{T_{\text{исп}}}{365} \cdot K_i \cdot H_{ai} \quad (12)$$

Где  $n$  – число единиц оборудования;

$T_{\text{исп}i}$  – время использования  $i$ -ой единицы оборудования;

$K_i$  – стоимость  $i$ -ой единицы оборудования;

$H_{ai}$  – норма амортизации  $i$ -ой единицы оборудования.

Норма амортизации является величиной, обратной сроку службы оборудования  $T_{\text{сс}}$ :

$$H_a = \frac{1}{T_{\text{сс}}} \quad (13)$$

Результаты расчета оборудования представлен в таблице

Таблица 20 - Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Цена	Срок службы, лет	Срок использования в НТИ, кал. дни	Н <sub>а</sub> , %	Н, руб.
1.	Муфельная печь LOIP LF- 5/11-V1	138312	10	6	10	227
2.	Металлографический микроскоп Olympus BX53M	1040000	10	5	10	1425
3.	Ленточная пила по ме-таллу JET J-349V 50000333M	63009	10	10	10	173
4.	Металлографическое оборудование: Шлифов-ка и полировка	632000	20	15	5	1299
Итого						3124

### ***Основная заработная плата***

В данном разделе рассчитывается заработная плата исполнителей и руководителя, помимо этого рассчитываются расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

$$C_{zn} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (14)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} + T_{раб} \quad (15)$$

,

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_{р}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 21);

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (16)$$

Таблица 21 - Баланс рабочего времени

<b>Показатели рабочего времени</b>	<b>Руководитель</b>	<b>Магистрант</b>
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней <i>Выходные дни и праздничные</i>	118	118
Потери рабочего времени: <i>Отпуск и невыходы по болезни</i>	28	24
Действительный фонд рабочего времени	219	223

Месячный должностной оклад:

$$Z_m = Z_b \cdot (\kappa_{пр} + \kappa_d) \cdot \kappa_p \quad (17)$$

Где  $Z_b$  – базовый оклад, руб.

$\kappa_{пр}$  0,3 – премиальный коэффициент (определяется положением об оплате труда);

$k_d = 0,2$  – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);

$k_p = 1,3$  – районный коэффициент для г. Томска.

Расчет основной заработной платы показан в таблице 13.

Таблица 22 - Расчёт основной заработной платы

Исполнитель и	$Z_{д,руб./мес.}$	$k_p$	$Z_{м,руб./мес.}$	$Z_{дн,руб./день}$	$T_p, раб.дни.$	$Z_{осн, руб.}$
Исполнитель	19200	1,3	37440	1880	135	253800
Руководитель	37700	1,3	73515	3760	28	105280
Итого:						359080

По результатам расчета основной заработной платы было выявлено, что заработная плата участников проекта составляет 359080 руб.

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.). Определение величины дополнительной заработной платы  $Z_{доп}$  ведется по формуле:

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot K_{доп} \quad (18)$$

где  $K_{доп} = 0,12$  – коэффициент дополнительной заработной платы;

Таблица 23 представляет форму расчета основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 23 - Заработная плата исполнителей НТИ

	Зосн, руб.	Здоп, руб.	Ззп, руб.
Руководитель	105280	12634	117914
Магистрант	253800	30456	284256
Итого:	359080	43090	402170

По результатам расчета дополнительной заработной платы было выявлено, что дополнительная заработная плата участникам проекта составляет 43090 руб.

### ***Накладные расходы***

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (19)$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = 0,8 \cdot (359080 + 43090) = 321736$$

По результатам расчета сумма накладных расходов составляет 321736 руб.

### ***Отчисления во внебюджетные фонды***

Данная статья расходов содержит обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Размер выплат находится по формуле:

$$Z_{\text{внеб}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) K_{\text{внеб}} \quad (20)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений во внебюджетные фонды.

Общая ставка взносов составляет в 2022 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ)., откуда  $k_{внеб}=0,3$ .

$$Z_{внеб}=359080 \cdot 0,3=107724$$

По результатам расчета отчислений во внебюджетные фонды было выявлено, что отчисления составляют 107724 руб.

В ходе исследования мы использовали муфельную печь и другое оборудование, потребляющее много электроэнергии. Израсходованная электроэнергия составляет 115.2 кВт. Если считать 5,8 рублей за кВт, потраченная средства составляет 668 рублей.

### ***Бюджетная стоимость НИР***

Определение бюджета затрат на НИР приведет в таблице 15.

Таблица 24 - Стоимость НИР

№	Наименование статьи	Сумма, руб.
1	Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты	14461
2	Специальное оборудование для научных (экспериментальных)	3124
3	Трата на электроэнергию	668
4	Основная заработная плата	359080
5	Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала	43090
6	Накладные расходы	321736
7	Отчисления во внебюджетные фонды	107724
<b>Итого:</b>		849883

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основной для формирования бюджета затрат проекта, который при

формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Таким образом, расчетные затраты не превышают запланированную сумму в 1100000 руб. Согласно таблице, наибольшие затраты по проведению НИР формируются за счёт затрат на заработную плату, накладные расходы, а также на сырьё и материалы.

#### **4.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования**

##### **4.4.1. Оценка сравнительной эффективности**

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} \quad (22)$$

где  $I_{\phi}^p$  - интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость i-го варианта исполнения;

$\Phi_{\max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 849883 \text{руб.}$ ,  $\Phi_{\text{исп2}} = 1034987 \text{руб.}$ ,  $\Phi_{\max} = 1334758 \text{руб.}$

$$I_{\Phi}^{\text{тек.пр.}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр.}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{849883}{1334758} = 0,63;$$

$$I_{\Phi}^{\text{исп.2.}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2.}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{1034987}{1334758} = 0,77;$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по двум вариантам разработки проектируемый вариант считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (21)$$

где  $I_m$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта (по данным в таблице 25):

$$I_{p1} = 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 = 4,55;$$

$$I_{p2} = 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 3 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 = 3,95;$$

$$I_{p3} = 0,3 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 = 4,2;$$

Таблица 25 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя		0,10	4	5	3
2. Энергосбережение		0,20	4	3	4
3. Надежность		0,20	5	5	3
4. Материалоемкость		0,15	5	3	3
5. Срок реализации проекта		0,15	4	4	5
6. Стоимость продукции		0,20	5	4	5
<b>ИТОГО</b>		<b>1</b>	<b>27</b>	<b>24</b>	<b>23</b>

## **Заключение по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»**

Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

Был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей.

Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 849215 руб.

Значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,63, что является показателем того, что ИР является относительно выгодной по сравнению с аналогами.

Значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,55, что выше, чем у аналогов что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
4БМ0И		Кайратулы Шымболат	
<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Отделение материаловедение</b>
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР:

Влияние термической обработки на структуру и свойства отливок из стали 20 ГМЛ

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

#### Введение

- Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.
- Описание рабочей зоны (рабочего места) при эксплуатации

*Объект исследования:* Сталь 20ГМЛ

*Область применения:* производство трубопроводной арматуры

*Рабочая зона:* лаборатория

*Размеры помещения:* 20\*30 м

*Количество и наименование оборудования рабочей зоны:* Ленточная пила для металла, шлифовальный станок, индукционная печь, растровый электронный микроскоп, микротвердометр

*Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:* Резка металла по частям, шлифовка и полировка металла, исследования металла с помощью электронного микроскопа, термическая обработка в индукционной печи, измерение микротвердости.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

#### 1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:

- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;
- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее место при выполнении работ стоя

ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

СН-245-71. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий

#### 2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:

- Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов
- Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора

#### Опасные факторы:

1. движущиеся твердые объекты, наносящие удар по телу работающего (в том числе движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки, материалы;

2. неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие (например, острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования) части твердых объектов, воздействующие на работающего при соприкосновении с ним, действие силы тяжести в тех случаях, когда оно может вызвать падение твердых, сыпучих, жидких объектов на работающего;

3. повышенное значение напряжения в электрической сети, замыкание которой может произойти через тело

	<p>человека;</p> <p>4. производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги (обморожения) тканей организма человека;</p> <p><b>Вредные факторы:</b></p> <p>1. повышенный уровень шума и вибрации;</p> <p>2. производственные факторы, обладающие свойствами химического воздействия на организм работающего человека</p> <p>3. производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания, то есть с аномальным физическим состоянием воздуха</p> <p><b>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</b> респираторы, использование защитных костюм, перчатки, наушники, защитные ограждения.</p> <p><b>Расчет:</b> расчет системы искусственного освещения .</p>
<p><b>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения</b></p>	<p><b>Воздействие на селитебную зону:</b> заряджение территории тяжелыми металлами (Fe, Mn, Al, Ni)</p> <p><b>Воздействие на литосферу:</b> загрязнение почвы тяжелыми металлами</p> <p><b>Воздействие на гидросферу:</b> потребление воды, сбросы загрязненных и нагретых вод, жидких отходов</p> <p><b>Воздействие на атмосферу:</b> выбросы углекислого газа, влаги и твердых частиц металла</p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения</b></p>	<p>Возможные ЧС на объекте: техногенного характера - производственные аварии и пожары; природного характера – сильный мороз, сильный снегопад, биолого-социального характера – вспышки инфекционных заболеваний;</p> <p>Наиболее типичной ЧС для лаборатории считается пожар.</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	канд. биол. наук.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ0И	Кайратулы Шымболат		

## ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

### Введение

В основных положениях экономического и социального развития наряду с увеличением работ по созданию высокоэффективного оборудования и материалов, новых технологических процессов особое внимание уделяется вопросам охраны труда, улучшению условий труда.

Работа инженера-исследователя связана с огромной умственной и нервно-психологической нагрузкой, хотя согласно ГОСТ 12.1.005 – 88 по характеру физической нагрузки работа инженера-исследователя является легкой (категория 1) с энергозатратами до 174ВТ. Долговременное нахождение в рабочем помещении при плохой вентиляции, повышенной или пониженной влажности воздуха и температуре, слабом освещении отрицательно влияет на состояние здоровья работающего. Это может привести к снижению производительности работы.

Исследования проводились в лаборатории отделения материаловедения. Рабочая зона представляла собой лабораторное помещение площадью 120 м<sup>2</sup>, включающее 2 персональных компьютера, растровый электронный микроскоп, микротвердометр, ленточную пилу, шлифовальный станок и индукционную печь. Так как работа осуществлялась в различных пунктах рабочей зоны, то постоянным рабочим местом является вся рабочая зона. (ГОСТ 12.1.005 – 88).

В данном разделе рассмотрены вредные и опасные факторы, действующие на сотрудника лаборатории, разработаны требования безопасности и комплекс защитных мероприятий на рабочем месте. Также этот раздел включает подразделы охраны окружающей среды и чрезвычайных ситуаций.

## **5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Организация рабочего места играет важную роль для создания комфортной рабочей зоны.

Рабочее место в нашем случае – это часть помещения организации, имеющая площадь и объем, достаточный для размещения инженера и необходимого оборудования для исследования (рабочего стола, стула, контрольно-измерительных приборов, станков, а также справочных и рабочих материалов, инструментов, вычислительной техники и т.д.).

Работа инженера-исследователя связана с огромной умственной и нервно-психологической нагрузкой, хотя согласно ГОСТ 12.1.005 – 88 по характеру физической нагрузки работа инженера-исследователя является легкой (категория 1) с энергозатратами до 174Вт. Долговременное нахождение в рабочем помещении при плохой вентиляции, повышенной или пониженной влажности воздуха и температуре, слабом освещении отрицательно влияет на состояние здоровья работающего. Поскольку основная работа делается с аппаратами находящейся в лаборатории, безопасность и комфортность рабочего места очень важна.

Согласно ГОСТ 12.2.032-78 [96]:

- Рабочий стол должен быть устойчивым, иметь равномерное изолированное покрытие, не имеющие электрические свойства;
- Стул рабочего должен иметь специальный дизайн, устраняющий онемение тела из-за нарушения кровообращения при длительной работе на рабочем месте;
- Рабочее место должно соответствовать техническим требованиям и стандартным нормам;

По санитарным нормам СН-245-71 в помещении должен быть стабильный обмен воздуха. Для улучшения воздухообмена необходимо

выполнить следующие технические и санитарно-гигиенические требования [104]:

- Общий объем притока воздуха в помещении должен соответствовать объему вытяжки;
- Правильное размещение приточной и вытяжной вентиляции.

Расчет достаточного воздухообмена проводится по следующим факторам: согласно числу работающих, тепло избыткам, влаговыведению, поступлению вредных газов в воздух рабочей зоны, паров и пыли.

Исходя из того, что последние три фактора, не особо влияют на микроклимат лаборатории, то расчет воздухообмена проводится исходя из количества работающих:

$$L = n \cdot L_0,$$

где  $n$  – число работников;

$L_0$  - расход воздуха на одного работающего, принимаемый в зависимости от объема помещения на одного работающего.

Рекомендуются следующие цвета окраски помещений:

- Потолок - белый или светлый цветной;
- Стены - сплошные, светло-голубые;
- Пол - темно-серый, темно-красный или коричневый.

Применение указанной палитры цветов обусловлено ее успокаивающим воздействием на психику человека, способствующим уменьшением зрительного утомления. При выполнении интерьера, обычно выбирают не более трех основных цветов небольшой насыщенности. Окраска оборудования и приборов, в основном, имеет светлые цвета с высококонтрастными органами управления и надписями к ним.

## 5.2. Производственная безопасность

В условиях труда инженера-исследователя, находящегося на рабочем месте, влияют следующие вредные производственные факторы [92]:

- Отклонение температуры и влажности воздуха от нормы.
- Недостаточная освещенность рабочего места.
- Повышенный уровень электромагнитных излучений.

Таблица 26 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работы			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Отклонение температуры и влажности воздуха от нормы	+	+	+	Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
2. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение
3. Нервно-психические перегрузки, монотонность трудового процесса	+	+	+	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)
4. Повышенный уровень электромагнитных излучений	+	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 О введении в действие санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

## *Микроклимат*

Главными факторами, описывающими микроклимат производственной сферы, считаются: температура, влажность и вентиляция воздуха.

Несоответствие предоставленных параметров от общепризнанных мерок приводит к ухудшению здоровья сотрудника, уменьшению производительности работы ко появлению разных заболеваний.

Повышенная температура воздуха приводит к утомляемости работника, перегреву его организма и даже может стать причиной теплового удара. Пониженная температура воздуха способствует охлаждению организма, что приводит к простудным заболеваниям либо обморожениям.

Повышенная относительная влажность в сочетании с высокой температурой воздуха может привести к перегреву организма, а в сочетании с низкой температурой – к увеличению теплоотдачи с поверхности кожи, что ведет к переохлаждению. Пониженная влажность вызывает ощущение сухости слизистых оболочек дыхательных путей работника .

При нормировании метеорологических условий в производственных помещениях учитывают категорию выполняемых работ, сезон, а также количество избыточного тепла в помещении . Оптимальные и допустимые метеорологические условия температуры и влажности устанавливаются согласно ГОСТ 12.1.005-88 (Таблица 2).

Таблица 27 - Комплекс требований для нормального протекания трудового процесса [93]

Характеристика помещения и категория работ	Период года	Оптимальные		Допустимые	
		Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %
Помещения характеризуются незначительными избытками явной теплоты	Холодный период года (температура наружного воздуха меньше 10оС)	20-22	60-30	17-22	Не более 75
Категория работ легкая	теплый период года (температура наружного воздуха выше 10оС)	22-25	60-30	Не более чем на 3°С выше средней температуры наружного воздуха в 13 часов самого жаркого месяца, но не более 25 °С	При 28 °С не более 55; при 27 °С- не более 60; при 24 °С- не более 75.

### ***Освещенность***

Среди технических требований к рабочему месту инженера особенно важным является требование к освещенности, которая значительно влияет на эффективность трудового процесса. Недостаточная освещенность способствует возрастанию нагрузки на органы зрения и приводит к утомляемости организма. Поэтому необходимо обеспечить оптимальное сочетание общего и местного освещения.

Нормы естественного освещения установлены с учетом обязательной регулярной очистки стекол световых проемов не реже двух раз в год (для помещений с незначительным выделением пыли, дыма и копоти). Учитывая, что солнечный свет оказывает благоприятное воздействие на организм

человека, необходимо максимально продолжительно использовать естественное освещение.

В соответствии с характером выполняемых работ, освещенность рабочего места по СП 52.13330.2016 должна быть 400 Лк – общая освещенность [109].

Таблица 28 - Требования к освещению помещений жилых и общественных зданий

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд и подразряд зрительной работы	Относительная продолжительность зрительной работы при направлении и зрения на рабочую поверхность, %	Искусственное освещение Средняя освещенность на рабочей поверхности от системы общего освещения, лк, не менее	Естественное освещение	
					КЕО, %, при	
					Верхнем или комбинированном	Боковом
Высокой точности	От 0,30 до 0,50	Б1	не менее 70	400	3,0	1,0

### ***Нервно-психические перегрузки***

Нервно-психические перегрузки приводят к временному уменьшению продуктивности работника и труда. Такая состояния работника характеризуется некоторыми показателями и ощущениями.

Нервно-психические перегрузки подразделяются на следующие: умственное перенапряжение; перенапряжение анализаторов; монотонность труда; эмоциональные перегрузки.

При первых симптомах психического перенапряжения необходимо: дать нервной системе расслабиться; рационально чередовать периоды отдыха и работы; начать заниматься спортом; ложиться спать в одно и то же время; в тяжелых случаях обратиться к врачу.

Естественно, что полностью исключить провоцирующие факторы из жизни вряд ли удастся, но можно уменьшить их негативное воздействие, давая нервной системе необходимый отдых.

### *Электромагнитное излучение*

Дипломная работа выполнялась с применением персональных компьютеров (ПЭВМ) типа IBM PC. Основным вредным фактором, воздействию которого подвергается инженер-исследователь при работе за компьютером, является электромагнитное излучение. Оно пагубно влияет на костные ткани, ухудшает зрение, повышает утомляемость, а также способствует ослаблению памяти и возникновению онкологических заболеваний.

Безопасные уровни излучений регламентируются нормами СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 и представлены в таблице 29.

Таблица 29 - Временные допустимые уровни (ВДУ) электромагнитных полей создаваемых ПЭВМ на рабочих местах [102]

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц — 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 Гц — 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц — 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц — 400 кГц	25 нТл
Напряженность электрического поля		15 кВ/м

С целью снижения вредного влияния электромагнитного излучения при работе с компьютером необходимо соблюдать следующие общие гигиенические требования:

- Длительность работы без перерыва взрослого пользователя должна быть не более 2 ч, ребенка – 10÷20 мин, в зависимости от возраста. В процессе работы следует менять содержание и тип деятельности (чередовать ввод данных и редактирование). Согласно требованиям санитарных норм необходимы обязательные перерывы при работе за компьютером, во время которых рекомендовано делать упражнения для глаз, рук и опорно-двигательного аппарата.

- Рабочее место с компьютером должно располагаться по отношению к окнам таким образом, чтобы лучи света падали слева. Если в помещении находится несколько компьютеров, то расстояние между экраном одного монитора и задней стенкой другого должно быть не менее 2 м, а расстояние между боковыми стенками соседних мониторов – 1,2 м. Оптимальным расстоянием между экраном монитора и глазами работника является 60÷70 см, но не ближе 50 см.

- Для ослабления влияния рассеянного рентгеновского излучения от монитора ПК рекомендуется использовать защитные фильтры (экраны).

### ***Электробезопасность***

Основными причинами воздействия тока на человека являются:

- Случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям;

- Появление напряжения на металлических частях оборудования в результате повреждения изоляции или ошибочных действий персонала;

- Шаговое напряжение на поверхности земли в результате замыкания провода на землю;

- Появление напряжения на отключенных токоведущих частях, на которых работают люди, вследствие ошибочного включения установки;

- Освобождение другого человека, находящегося под напряжением;

- Воздействие атмосферного электричества, грозových разрядов.

Согласно ГОСТ 12.1.038-82 предельно допустимые уровни напряжения прикосновения и токов, воздействию которых человек может подвергаться в процессе работы с электрооборудованием, составляют для установок в нормативном режиме: для постоянного тока – не более 0,8 В и 1мА соответственно, для переменного тока (частота 50 Гц) - не более 2,0 В и 0,3 мА соответственно [95].

Настоящая инструкция распространяется на всех лиц, выполняющих работы с установками и приборами:

- К работе с электроустановками допускаются лица, имеющие третью либо четвертую группы допуска, устанавливаемые квалификационной комиссией.

- Лица, не имеющие непосредственного отношения к обслуживанию электроустановок, к работе с ними не допускаются.

- Все питающие части должны быть заземлены. Сопротивление заземления должно не превышать 4 Ом.

- Перекоммутацию кабелей, соединяющих периферийные устройства с ЭВМ, а также установку плат дополнительных устройств (модемов, портов ввода-вывода и т.д.) в слоты шины расширения компьютера необходимо осуществлять только при отключенном питании.

- При замене (установке) плат расширения необходимо пользоваться браслетом заземления, либо перед осуществлением этой операции избавиться от накопленного на теле статического заряда посредством прикосновения к зануленной части компьютера, в противном случае возможно повреждение чувствительных к статике микроэлементов ЭВМ.

- При приближении грозы необходимо оперативно закончить работу на компьютере и отключить его от сети во избежание повреждения последовательного порта и исключения сбоев при возможных скачках напряжения в сети, характерных в подобных случаях.

Меры первой помощи зависят от состояния, в котором находится пострадавший после освобождения его от электрического тока.

Для определения этого состояния необходимо немедленно произвести следующие мероприятия:

- Уложить пострадавшего на спину на твердую поверхность.
- Проверить наличие у пострадавшего дыхания (определяется по подъему грудной клетки или каким-либо другим способом).
- Проверить наличие у пострадавшего пульса на лучевой артерии у запястья или на сонной артерии, на переднебоковой поверхности шеи.
- Выяснить состояние зрачка (узкий или широкий); широкий зрачок указывает на резкое ухудшение кровоснабжения мозга.
- При признаках остановки сердца или отсутствии дыхания произвести непрямой массаж сердца и искусственное дыхание.

Во всех случаях поражения электрическим током вызов врача является обязательным независимо от состояния пострадавшего.

С точки зрения электробезопасности (ГОСТ 12.1.030-81), оборудование, запитываемое напряжением выше 42 В, должно быть заземлено или занулено. Зануление – более эффективная мера, чем защитное заземление, поскольку в критическом случае ток короткого замыкания при занулении больше, чем при заземлении, следствием чего является более быстрое срабатывание предохранительных устройств. Во многих случаях это позволяет сберечь дорогостоящее оборудование от повреждений. Соединяющие проводники электрооборудования изготавливают из медного провода сечением 1,5 мм<sup>2</sup>, покрытым изоляционным слоем лака для защиты от окисления. Кроме того, обязательно должна быть предусмотрена возможность быстрого отключения напряжения с разделительного щита [94].

### 5.3. Экологическая безопасность

История влияния человека на биосферу показывает, что технический прогресс агрессивно воздействует на окружающую среду, создавая предпосылки для возникновения экологических кризисов. В то же время он расширяет возможности устранения создаваемых человеком ухудшений природой среды. Защита окружающей среды - это комплексная проблема, требующая усилий всего человечества. Наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий является полный переход к безотходным и малоотходным технологиям и производствам. Это потребует решения целого комплекса сложных технологических конструкторских и организационных задач, основанных на использовании новейших научно-технических достижений.

Под понятием “безотходная технология” следует понимать комплекс мероприятий в технологических процессах от обработки сырья до использования готовой продукции, в результате которых сокращается до минимума количество вредных примесей в выбросах и уменьшается воздействие отходов на окружающую среду до приемлемого уровня. В этот комплекс мероприятий входят:

- Воссоздание и внедрение новых процессов получения продукции с образованием наименьшего количества отходов;
- Разработка различных типов бессточных технологических систем водооборотных циклов на базе способов очистки сточных вод;
- Разработка систем переработки отходов производства во вторичные материальные ресурсы;
- Создание территориально промышленных комплексов, имеющих замкнутую структуру материальных потоков сырья и отходов внутри комплекса.

Пассивные методы защиты окружающей среды включают комплекс мероприятий по ограничению выбросов промышленного производства с последующей утилизацией и захоронением отходов.

В охране окружающей среды важную роль играют службы контроля качества окружающей среды, призванные вести систематизированные наблюдения за состоянием атмосферы, воды и почв для получения фактических уровней загрязнения окружающей среды.

#### 5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации

Внутри зданий который находится лаборатория наиболее вероятно возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера. ЧС техногенного характера — это ситуации, которые возникают во следствии взрывов, пожаров, производственных аварий и катастроф на объектах, транспортных магистралях и трубопроводах; Катастрофы и аварии на объектах характеризуется неожиданным обрушением строений, построек, авариями на энергетических сетях, и т. д

На случай возникновения чрезвычайной ситуации (пожары, подземные толчки, химическое или радиоактивное заражение и т.п) должен быть предусмотрен следующий совокупность мероприятий:

- Рассредоточение и эвакуация;
- Укрытие людей в защитных сооружениях;
- Обеспечение индивидуальными средствами защиты;
- Организация медицинской помощи пострадавшим

Существует пять степеней огнестойкости зданий, построек. Здание лаборатории можно перечислить к первой уровню огнестойкости.

Предустановленные ресурсы пожаротушения (в соответствии с требованиям противопожарной безопасности СНиП 2.01.02-85): огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, противопожарный гидрокран с рукавом и ящик с песком (в коридоре). Помимо этого, каждое помещение оборудовано системой противопожарной сигнализации [105].

Главными мероприятиями, обеспечивающими удачную эвакуацию людей и собственности из горящего сооружения, является:

- Составление планов эвакуации;
- Назначение лица, ответственного за эвакуацию, которое должно следить за исправностью дверных проемов, окон, проходов и лестниц;
- Ознакомление работающих в лаборатории сотрудников с планом эвакуации, который должен висеть на видном месте.

План эвакуации приведен на рисунке 32

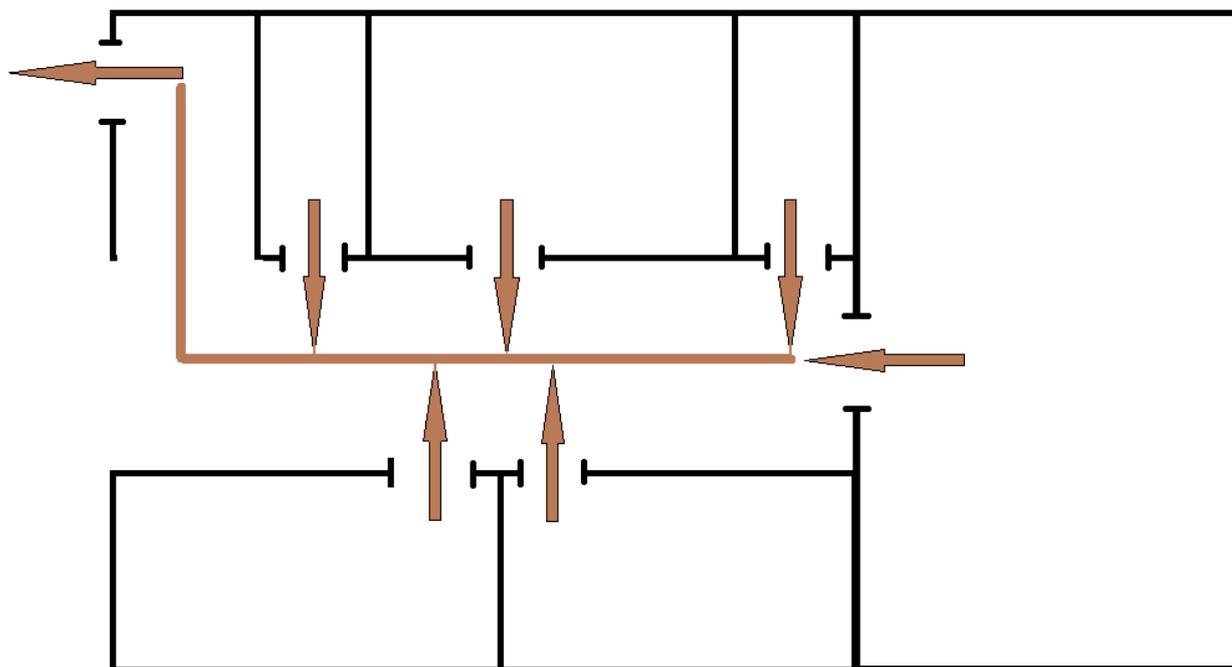


Рисунок 33 - План эвакуации при пожаре

## **Заключение по разделу «Социальная ответственность»**

Значение всех производственных факторов на изучаемом рабочем месте соответствует нормам, которые также были продемонстрированы в данном разделе, за исключением фактора, обладающего свойствами психофизиологического воздействия на организм человека. Для минимизации влияния данного фактора на организм человека, достаточно соблюдать меры, приведенные в МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности» [97].

Работа в лаборатории по (СанПиН 1.2.3685-21) категории тяжести относится к категории Иб (работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением) [101]. Работа в лаборатории является пыльной и шумной поэтому работнику который находится в лаборатории нужно пользоваться индивидуальными средствами защиты (респиратор, перчатка, костюм)

По категории пожарной и взрывопожарной опасности, помещения лаборатории относятся к категориям Г (умеренная пожара опасность. Внутри здания отсутствуют горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости и вещества и материалы. Электроприборы и электропроводы хорошо изолировано.

Так как здания лаборатории построен очень давно (приблизительно 100 лет назад) и туда не сделано хороший ремонт, есть вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. Fragiell, S. Serna, R. Pérez, Electrochemical study of two microalloyed pipeline steels in H<sub>2</sub>S environments, *Int. J. Hydrog. Energy* 30 (2005) 1303–1309.
2. A. Turnbull, A. Griffiths, Review: Corrosion and cracking of weldable 13 wt%Cr martensitic stainless steels for application in the oil and gas industry, *Corros. Eng. Sci. Technol.* 38 (2003) 21–50.
3. A.Q. Fu, Y.F. Cheng, Electrochemical polarization behavior of X70 steel in thin carbonate/bicarbonate solution layers trapped under a disbanded coating and its implication on pipeline SCC, *Corros. Sci.* 52 (2010) 2511–2518.
4. Anijdan S, Arab G, Sabzi M, Sadeghi M, Eivani A, Jafarian H. Sensitivity to hydrogen induced cracking, and corrosion performance of an API X65 pipeline steel in H<sub>2</sub>S containing environment: influence of heat treatment and its subsequent microstructural changes. *J Mater Res Technol* 2021;15:1e16.
5. API 5CRA. Specification for Corrosion-resistant Alloy Seamless Tubes for Use as Casing, Tubing and Coupling Stock, first ed., API, Washington, DC, 2010.
6. B. Wolfgang, H. Christian, *Metals.* 9 (10) (2019) 1–4.
7. B.A.R.S. Barbosa, S.S.M. Tavares, I.N. Bastos, M.R. Silva, M.C.S. de Macedo, Influence of heat treatments on microstructure and pitting corrosion resistance of 15%Cr supermartensitic stainless steel, *Corros. Eng. Sci. Technol.* 49 (2014) 311–315,
8. B.C. De Cooman, J.G. Speer, *Steel Res. Inter.* 77 (2006) 634–640.
9. Bagmet, O.A., Sokolova, M.Y. & Naumenko, V.V. Influence of Heat Treatment on the Microstructure and Low-Temperature Performance of Low-Carbon Steel. *SteelTransl.* 48, 463–471 (2018).

10. BP plc. Statistical review of world Energy- 70th edition. 2021 [Online]. Available: [bp.com/en/global/corporate/energyeconomics/statistical-review-of-world-energy](http://bp.com/en/global/corporate/energyeconomics/statistical-review-of-world-energy) [Accessed 2021].
11. C. Lawrence, E.J. Seo, B. De Cooman, *Scrip. Material.* 123 (2016) 69–72.
12. C. Zhao, C. Zhang, W.Q. Cao, Z.G. Yang, Y.Q. Weng, Observation on formation of fresh martensite from the reversed austenite during water-quenching process in Fe0.2C-5Mn steel, *Metall. Mater. Trans.* 46 (2015) 3789–3792, [https://doi.org/ 10.1007/s11661-015-2991-4](https://doi.org/10.1007/s11661-015-2991-4).
13. C.C. Casero, C. Kwakernaak, J. Sietsma, M.J. Santofimia, *Mater. Des.* 178 (2019) 1–12.
14. C.Q. Ren, D.X. Liu, Z.Q. Bai, T.H. Li, Corrosion behavior of oil tube steel in simulant solution with hydrogen sulfide and carbon dioxide, *Mater. Chem. Phys.* 93 (2005) 305–309.
15. C.S. Zhou, S.Q. Zheng, C.F. Chen, G.W. Lu, The effect of the partial pressure of H<sub>2</sub>S on the permeation of hydrogen in low carbon pipeline steel, *Corros. Sci.* 67 (2013) 184–192.
16. C.S. Zhou, X.Y. Chen, Z. Wang, S.Q. Zheng, X. Li, L. Zhang, Effects of environmental conditions on hydrogen permeation of X52 pipeline steel exposed to high H<sub>2</sub>S-containing solutions, *Corros. Sci.* 89 (2014) 30–37.
17. C.Y. Wang, J. Shi, W.Q. Cao, H. Dong, *Mater. Sci. Eng. A* 527 (2010) 3442–3449.
18. CEPA 1997 The CEPA Report on Circumferential Stress Corrosion Cracking Submitted to the National Energy Board. pp 4-10
19. Contreras A, Salazar M, Albiter A, Galván R and Vega O 2011 *Arc Welding*.pp. 143-144.
20. Craig B 1998 Calculating the lowest failure pressure for electric resistance welded pipe, *Welding Journal*77(1) 61-63.
21. D. De Knijf, E.P. Da Silva, C. Fojer, R. Petrov, *Mater. Sci. Tech.* 31 (2015) 817– 828.

22. D. Jansen, M. Gazzani, G. Manzolini, Ev. Dijk, M. Carbo, Pre-combustion CO<sub>2</sub> capture, *Int. J. Greenh. Gas Control.* 40 (2015) 167–187.
23. D.J. Kong, Y.Z. Wu, D. Long, Stress corrosion of X80 pipeline steel welded joints by slow strain test in NACE H<sub>2</sub>S solutions, *J. Iron Steel Res. Int.* 20 (2013) 40–46.
24. D.W. Shoesmith, P. Taylor, M.G. Bailey, D.G. Owen, The formation of ferrous monosulfide polymorphs during the corrosion of iron by aqueous hydrogen sulfide at 21 °C, *J. Electrochem. Soc.* 127 (1980) 1007–1015.
25. D.W. Suh, S.J. Kim, Medium Mn transformation-induced plasticity steels: recent progress and challenges, *Scripta Mater.* 126 (2017) 63–67, <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2016.07.013>.
26. E. De Moor, J.G. Speer, D.K. Matlock, J.H. Kwak, S.B. Lee, *ISIJ Inter.* 51 (2011) 137–144.
27. E. Moor, S. Lacroix, A. Clarke, J. Penning, J.G. Speer, *Metall. Mater. Trans. A* 39 (2008) 2586–2589.
28. E.J. Seo, L. Cho, B.C. De Cooman, *Metall. Mater. Trans. A* 46 (2015) 27–31.
29. F. Huang, J. Liu, Z.J. Deng, J.H. Cheng, Z.H. Lu, X.G. Li, Effect of microstructure and inclusions on hydrogen induced cracking susceptibility and hydrogen
30. F.H. Akbary, J. Sietsma, R.H. Petrov, G. Miyamoto, T. Furuhashi, M.J. Santofimia, *Scripta Material.* 137 (2017) 27–30.
31. Fallahmohammadi E, Bolzoni F, Fumagalli G, Re G, Benassi G, Lazzari L. Hydrogen diffusion into three metallurgical microstructures of a CeMn X65 and low alloy F22 sour service steel pipelines. *Int J Hydrogen Energy* 2014;13300e13.
32. Fang B, Eadie R, Elboudjaini M, Chen W, Han E-H 2008 The Effect of Microstructure on Pit-To-Crack Transition and Crack Growth in an X-52 Pipeline Steel in Near-Neutral pH Environment (7th International Pipeline Conference, vol IPC 2008-64112 (Calgary: ASME) Paper No. IPC2008-64112, pp 215-225.

33. G. Koch, J. Varney, N. Thompson, O. Moghissi, M. Gould, J. Payer, NACE 2016 Impact Study, 2016
34. G. Mandal, S.K. Ghosh, S. Bera, S. Mukherjee, Mater. Sci. Eng.A 676(2016)56-64.
35. G.A. Zhang, Y.F. Cheng, Localized corrosion of carbon steel in a CO<sub>2</sub>-saturated oilfield formation water, Electrochim. Acta 56 (2011) 1676–1685.
36. G.A. Zhang, Y.F. Cheng, Micro-electrochemical characterization and Mott–Schottky analysis of corrosion of welded X70 pipeline steel in carbonate/bicarbonate solution, Electrochim. Acta 55 (2009) 316–324.
37. G.M. Jiang, J. Keller, P.L. Bond, Determining the long-term effects of H<sub>2</sub>S concentration, relative humidity and air temperature on concrete sewer corrosion, Water Res. 65 (2014) 157–169.
38. Gorobets, S.V., Donchenko, M.I., Gorobets, O.Y. *et al.* Effect of a magnetic field on the etching of steel in nitric acid solutions. *Russ. J. Phys. Chem.* 80, 791–794 (2006). <https://doi.org/10.1134/S0036024406050219>
39. H. Pan, M. Cai, H. Ding, S. Sun, H. Huang, Y. Zhang, Mater. Sci. Technol. 35 (2019) 807–814.
40. H.B. Xue, Y.F. Cheng, Photo-electrochemical studies of the local dissolution of a hydrogen-charged X80 steel at crack-tip in a near-neutral pH solution, Electrochim. Acta 55 (2010) 5670–5676
41. H.H. Huang, W.T. Tsai, J.T. Lee, Electrochemical behavior of the simulated heat-affected zone of A516 carbon steel in H<sub>2</sub>S solution, Electrochim. Acta 41 (1996) 1191–1199.
42. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/194/4/042018>
43. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Трубопроводный\\_транспорт\\_России](https://ru.wikipedia.org/wiki/Трубопроводный_транспорт_России)
44. [https://www.researchgate.net/publication/343969922\\_Research\\_Progress\\_on\\_Corrosion\\_of\\_Oil\\_and\\_Gas\\_Field\\_Gathering\\_Pipeline\\_in\\_H\\_2\\_S-CO\\_2\\_-\\_Cl\\_-\\_System](https://www.researchgate.net/publication/343969922_Research_Progress_on_Corrosion_of_Oil_and_Gas_Field_Gathering_Pipeline_in_H_2_S-CO_2_-_Cl_-_System)
45. J. Han, S.J. Lee, J.G. Jung, Y.K. Lee, The effects of the initial martensite microstructure on the microstructure and tensile properties of

intercritically annealed Fe–9Mn–0.05C steel, *Acta Mater.* 78 (2014) 369–377, <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2014.07.005>.

46. J. Hidalgo, C. Celada-Casera, M.J. Santofimia, *Mater. Sci. Eng. A* 754 (2019) 766–777

47. J. Speer, D.K. Matlock, B.C. De Cooman, J.G. Schroth, *Acta Mater.* 51 (2003) 2611–2622.

48. J. Zhang, Z.L. Wang, Z.M. Wang, X. Han, Chemical analysis of the initial corrosion layer on pipeline steels in simulated CO<sub>2</sub>-enhanced oil recovery brines, *Corros. Sci.* 65 (2012) 397–404.

49. J.B. Murowchick, H.L. Barnes, Marcasite precipitation from hydrothermal solutions, *Geochim. Cosmochim. Acta* 50 (1986) 2615–2629.

50. J.G. Speer, E. De Moor, K.O. Findley, D.K. Matlock, B.C. De Cooman, D.V. Edmonds, *Metall. Mater. Trans. A* 42 (2011) 3591–3601.

51. J.G. Speer, F. Rizzo, D. Matlock, D.V. Edmonds, *Mater. Res.* 8 (2005) 417–423.

52. J.Q. Tang, J.M. Gong, X.C. Zhang, S.T. Tu, Comparison on the cracking susceptibility of different low alloy steel weldments exposed to the environment containing wet H<sub>2</sub>S, *Eng. Fail. Anal.* 13 (2006) 1057–1064.

53. K. Dorien, P. Roumen, F. Cecilia, K. Leo, *Mater. Sci. Eng. A* 615(2014) 107–115.

54. K. Kim, S.J. Lee, *Mater. Sci. Eng. A* 698 (2017) 183–190.

55. K. Steineder, D. Krizan, R. Schneider, C. Beal, C. Sommitsch, *Acta Mater.* 139 (2017) 39–50.

56. L. Wang, J.G. Speer, *Metal. Micro. Analy.* 2 (2013) 268–281.

57. Li T 2011 Research on Pitting Corrosion of L360 Steel in H<sub>2</sub>S/CO<sub>2</sub> Environment (Beijing: Beijing University of Chemical Technology)

58. Li, Xiao Gang, Ai Min Zhao, Hong Hong Zheng, Shao Heng Sun, and Hong Xiang Yin, *Mater. Sci. Forum* 850 (2016) 659–63

59. M. Alizadeh, S. Bordbar, The influence of microstructure on the protective properties of the corrosion product layer generated on the welded API X70 steel in chloride solution, *Corros. Sci.* 70 (2013) 170–179.
60. M. Al-Mansour, A.M. Alfantazi, M.E. Iboujdaini, Sulfide stress cracking resistance of API-X100 high strength low alloy steel, *Mater. Des.* 30 (2009) 4088–4094.
61. M. Liu, J.Q. Wang, W. Ke, E.H. Han, Corrosion behavior of X52 Anti-H<sub>2</sub>S pipeline steel exposed to high H<sub>2</sub>S concentration solutions at 90 °C, *J. Mater. Sci. Technol.* 30 (2014) 504–510. [23] S.Q. Zheng, C.S. Zhou, X.Y. Chen, L. Zhang, J.Y. Zheng, Y.Z. Zhao, Dependence of the abnormal protective property on the corrosion product film formed on H<sub>2</sub>S-adjacent API-X52 pipeline steel, *Int. J. Hydrog. Energy* 39 (2014) 13919–13925.
62. M.A. Lucio-Garcia, J.G. Gonzalez-Rodriguez, M. Casales, L. Martinez, J.G. Chacon-Nava, M.A. Neri-Flores, A. Martinez-Villafane, ~ Effect of heat treatment on H<sub>2</sub>S corrosion of a micro-alloyed C–Mn steel, *Corros. Sci.* 51 (2009) 2380–2386.
63. M.C. Zhao, K. Yang, Strengthening and improvement of sulfide stress cracking resistance in acicular ferrite pipeline steels by nano-sized carbonitrides, *Scr. Mater.* 52 (2005) 881–886.
64. M.J. Santofimia, L. Zhao, R. Petrov, J. Sietsma, *Mater. Charact.* 59 (2008) 1758–1764.
65. NEB 1996 Stress Corrosion Cracking on Canadian Oil and Gas Pipelines Report of the Inquiry
66. P.P. Bai, H. Zhao, S.Q. Zheng, C.F. Chen, Initiation and developmental stages of steel corrosion in wet H<sub>2</sub>S environments, *Corros. Sci.* 93 (2015) 109–119.
67. P.P. Bai, S.Q. Zheng, C.F. Chen, Electrochemical characteristics of the early corrosion stages of API X52 steel exposed to H<sub>2</sub>S environments, *Mater. Chem. Phys.* 149–150 (149) (2015) 295–301.

68. P.P. Bai, S.Q. Zheng, H. Zhao, Y. Ding, J. Wu, C.F. Chen, Investigations of the diverse corrosion products on steel in a hydrogen sulfide environment, *Corros. Sci.* 87 (2014) 397–406.
69. P.Y. Wang, Z.G. Lv, S.Q. Zheng, Y.M. Qi, J. Wang, Y.J. Zheng, Tensile and impact properties of X70 pipeline steel exposed to wet H<sub>2</sub>S environments, *Int. J. Hydrog. Energy* 40 (2015) 1–8.
70. Palmer AC, King RA. *Subsea pipeline engineering*. 2 ed. Oklahoma, USA: PennWell Corporation; 2008.
71. Popoola, L.T., Grema, A.S., Latinwo, G.K. et al. Corrosion problems during oil and gas production and its mitigation. *Int J Ind Chem* 4, 35 (2013). <https://doi.org/10.1186/2228-5547-4-35>
72. Q.Y. Sha, D.H. Li, Microstructure, mechanical properties and hydrogen induced cracking susceptibility of X80 pipeline steel with reduced Mn content, *Mater. Sci. Eng. A* 585 (2013) 214–221.
73. R.N.E. Huaman, T.X. Jun, Energy related CO<sub>2</sub> emissions and the progress on CCS projects: a review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 31 (2014) 368–385.
74. S. Ayenampudi, C. Celada-Casero, J. Sietsma, M.J. Santofimia, *Material*. 8 (2019) 1–11.
75. S. Ebner, C. Suppan, A. Stark, R. Schnitzer, C. Hofer, *Mater. Des.* 178 (2019) 1– 10.
76. S. Ya. Grilikhes, *Defatting, Etching, and Polishing of Metals* (Nauka, Moscow, 1994) [in Russian]
77. S.S. Nayak, R. Anumolu, R.D.K. Misra, K.H. Kim, D.L. Lee, *Mater. Sci. Eng.A* 498 (2008) 442–456.
78. Silman, G.I., Serpik, L.G. & Fedosyuk, A.A. Rational control of the structure and properties of manganese steels of type 20GL using hardenability parameter. Part 2. Rational control of the structure and properties of normalized steels of type 20GL. *MetSciHeatTreat* **53**, 103 (2011).

79. T. Tsuchiyama, T. Inoue, J. Tobata, D. Akama, S. Takaki, *Scrip. Material.* 122 (2016) 36–39.
80. T.-V.S. Chong, S.B. Kumar, M.O. Lai, W.L. Loh, Effects of wet H<sub>2</sub>S containing environment on mechanical properties of NACE grade C–Mn steel pipeline girth welds, *Eng. Fract. Mech.* 131 (2014) 485–503.
81. W.C. Zhu, W.H. Leng, J.Q. Zhang, C.N. Cao, Decreasing pitting susceptibility of passive films on X70 pipeline steel in NaCl solutions by illumination, *Acta Metall. Sin. Engl.* 19 (2006) 91–97.
82. Wei H 2011 Study on Corrosion Law of L360 Steel in H<sub>2</sub>S/CO<sub>2</sub> System (Beijing: Beijing University of Chemical Technology)
83. Y. Ma, *Mater. Sci. Tech.* 33 (15) (2017) 1713–1727.
84. Y. Xiang, Z. Long, C. Li, W. Yan, Neutralization and adsorption effects of various alkanolamines on the corrosion behavior of N80 steel in supercritical CO<sub>2</sub> with impurities, *Corrosion* 75 (2019) 999–1011
85. Y.D. Han, H.Y. Jing, L.Y. Xu, Welding heat input effect on the hydrogen permeation in the X80 steel welded joints, *Mater. Chem. Phys.* 132 (2012) 216–222.
86. Z. Dai, R. Ding, Z. Yang, C. Z. Hao Chen, *Acta Material.* 144(2018) 666-678.
87. Z.R. Hou, X.M. Zhao, W. Zhang, H.L. Liu, H.L. Yi, *Mater. Sci. Tech.* 34 (2018) 1168–1175.
88. Андреев А.К., Солнцев Ю.П. Технологические возможности повышения хладостойкости стальных отливок // *Литейное производство.* – 2008. – №3. – С. 7–11.
89. Андреев И.Д., Афонаскин А.В., Бажова Т.Ю. и др. Влияние технологических параметров модифицирования комплексными модификаторами на свойства отливок // *Литейное производство.* 2002. — № 6. — С. 13–15.

90. Голубцов В.А., Дынин А.Я., Рогожина Т.В., Рябчиков И.В., Усманов Р.Г. ПРИМЕНЕНИЕ ПРОДУКЦИИ КОМПАНИИ НПП ПРИ МОДИФИЦИРОВАНИИ СТАЛИ. *Литье и металлургия*. 2009;(3):245-253.

91. Гоник А.А. Предотвращение осаждения сульфида железа в иммерсионных электронасосах в результате сероводородной коррозии скважинного оборудования. *Защита металлов* 38, 184–190 (2002).  
<https://doi.org/10.1023/A:1014929502734>

92. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

93. ГОСТ 12.0.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

94. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.

95. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность.

96. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общее эргономические требования.

97. МР 2.2.9.2311-07. Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности.

98. Основы металловедения и теории коррозии Малахов А.И. Жуков А.П. - М. Высшая школа, 1978. - 192 с.

99. Примеров С.Н., Вельмисов В.В., Мурзин Е.С., Слепнев Г.М. ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СТАЛИ ДЛЯ ОТЛИВОК АРМАТУРЫ. *Литье и металлургия*. 2004;(1):96-97.

100. Рябчиков И.В. Сравнительная раскислительная и модифицирующая способность магния и щелочноземельных элементов при внепечной обработке стали / И.В. Рябчиков, А.Ю. Ахмадеев, Т.В. Рогожина, В.А.Голубцов // *Сталь*. 2008. № 12. С.51-54.

101. СанПиН 1.2.3685. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и безвредности для человека факторов среды обитания.
102. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. О введении в действие санитарно – эпидемиологических правил и нормативов.
103. Смирнова Ю.А. Андреев А.К. Пути повышения хладостойкости отливок // Современное машиностроение: наука и образование. - . - 6. - 2017. - С. 666-678.
104. СН-245-71. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий.
105. СНиП 2.01.02-85. Строительные нормы и правила. Противопожарные нормы.
106. Солдатов В.Г., Кульбовский И.К. Применение модифицирования для улучшения эксплуатационных свойств отливок из стали 20ГЛ.Заготовительные производства. Машиностр., 2004, вып. 4, стр. 5–7.
107. Солнцев Ю.П. Андреев А.К., Сердитов А.Е. Хладостойкие и износостойкие литейные стали: монография. - СПб.: Химиздат, 2007. - 336 с.
108. Солнцев Ю.П., Титова Т.И Стали для Севера и Сибири: учебное пособие. СПб.: Химиздат, 2002. 352 с.
109. СП 52.13330.2016 Свод правил. Естественное и искусственное освещение.
110. СТ ЦКБА 052-2008. Арматура трубопроводная. Требования к материалам арматуры, применяемой для сероводородсодержащих сред.

## Приложение I

### Experimental technique Results and discussion

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ0И	Кайратулы Ш		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Стрелкова И.Л	К.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
С.п. ОИЯ	Демидова О.М.			

## **EXPERIMENTAL TECHNIQUE**

The material under study is a CSR body (segmental regulating valve) made of 20GML steel at the TEMZ plant.

The main objective of this work is to determine the modes of heat treatment, with the aim of improving the mechanical properties of a 20 GML steel product, since the heat treatments given according to TU 4 112-091-00220302-2006 did not have a positive effect on the structure and mechanical properties of this material.

The surface of the sample was grinded and polished on a polishing machine, using discs of different sizes of abrasive (2000,1000). Polishing was carried out on broadcloth by adding chromium oxide particles, then etched with 4% nitric acid (in the ratio: HNO<sub>3</sub>, 5ml + ethanol, 100ml). Metallographic studies were carried out on an inverter metallographic microscope "Zeiss Axio Observer". The metal composition was determined using a mobile optical emission analyzer PMI-MASTER. After they found out that this alloy is 20GML steel, the Brinell hardness was measured and tested for impact strength. For Brinnell hardness measurement (GOST 9012-59), a ball with a diameter of 10 mm was used, the load was 3000 kg. The impact strength was measured according to GOST 9454-78. The heat treatment process was carried out in a muffle furnace with a temperature control system (microprocessor temperature controller).

### **2.2. Preparation of the sample for metallographic analysis**

The material usually goes through several procedures before it can be accessed by the microstructure. Metallographic grinding and polishing are crucial as the last steps to the mechanical preparation of samples. Contrast is often necessary in order for the microstructure to be visible after polishing. Sometimes etching is necessary after metallographic polishing, but it depends on the specific parts being studied and is more common when working with metals. Qualitative analysis requires the preparation of a scratch-free surface with a good place is a key factor in the analysis of layers, coatings or electronic components.

Etching is widely used in various metal processing technologies: for cleaning surfaces from oxide film, for making reliefs, for performing chemical and electrochemical milling, for measuring dimensions and grinding.

Steel is usually etched in saline solutions or sulfuric acid.

### **2.3. Metallographic examination of the sample**

Metallographic examination uses inverted optical light to check the microstructure of the material (Figure 12), determine the grain size and may provide a clue to the origin of metal destruction. Metallographic examination is usually carried out on polished cross sections, which can be etched to reveal the structure of the material by selective corrosion of grain boundaries. Metallographic examination is often an important tool for determining the extent of cracks and pits. In addition, this control is used to characterize post-processing changes related to casting, forging, machining, welding, heat treatment and coating.

Metallographic examination uses inverted optical light to check the microstructure of the material (Figure 12), determine the grain size and indicate the origin of the metal fracture. Metallographic examination is usually carried out on polished cross sections that can be etched to make the structure of the material visible due to selective corrosion of grain boundaries. Metallographic examination is often an important tool for determining the size of cracks and pits. In addition, this control is used to characterize changes in post-heat treatment related to casting, forging, machining, welding, heat treatment and coating.



Figure 12 - Inverter metallographic microscope «ZeissAxioObserver A1»

Checking soft metals can be difficult due to scratches that occur during the polishing process, which may look like metal defects. Inverted metallurgical microscopes observe samples from below, allowing the user to examine thick or heavy samples without adjusting the orientation of the sample surface.

Metallurgical microscopes may be similar to composite biological microscopes, but they have a number of differences. The use of a metallurgical microscope allows the user to view samples with a large magnification (up to 500x and 1000x), without light passing through the sample, as in the case of a biological sample.

#### **2.4. Determination of the chemical composition of the sample using the mobile optical emission analyzer PMI-MASTER**

Optical emission spectroscopy, or OES (Figure 13), is a reliable and widely used analytical method used to determine the elemental composition of a wide range of metals. The type of samples that can be tested using OEA includes samples from the melt of primary and secondary metal production, as well as in the metalworking industry, pipes, bolts, rods, wires, plates and much more. The part of the electromagnetic spectrum that is used by the OES includes the visible spectrum and part of the ultraviolet spectrum. In terms of wavelength, it's from 130 nanometers to about 800 nanometers.

The OES is able to investigate a wide range of components from hydrogen up to uranium in rigid metal products, including a wide range of concentrations, which provides very significant reliability as well as low limits of detection of elements.

The determination of the elements and concentrations that the analyzer can set depends on the object of the product and the type of analyzer used.



Figure 13 - Mobile optical emission analyzer PMI MASTER

***The principle of operation of optical emission spectroscopy***

*All kinds of analyzers (OES) consists of three main components:*

1. Excitation generator
2. Optical device (captures light, divides it into spectral lines and measures)
3. Computer system with special software

1. The excitation generator is a current source that creates an electric current in the form of a spark or arc, a high-voltage pulse is created between the tip of the counterelectron and the surface of the sample, causing it to become conductors. Between these intervals, a constant current with low resistance occurs. The resulting plasma heats the material up to several thousand degrees. As a result, the material evaporates, ionizes (Figure 14).

As already mentioned above, two types of electric current can be used: arc-shaped and disc-shaped multi-discharge current excitation. The excitation of the arc current is to cause a continuous current for several seconds. And when excited

with a spark discharge, a current is created with a certain frequency within 100-1000 Hz.

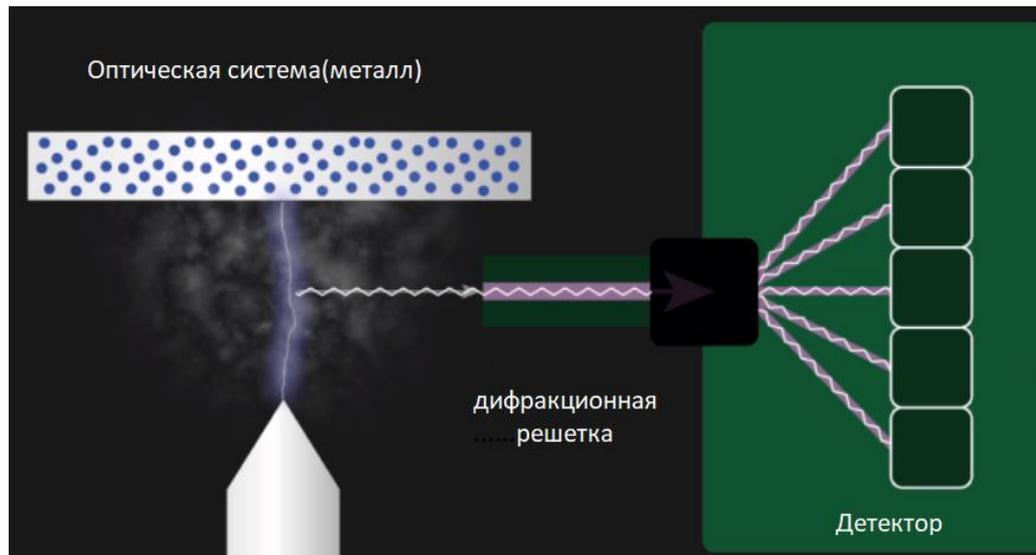


Figure 14 - The principle of operation of optical emission spectroscopy

Depending on the test sample and the required accuracy, these two modes of operation can be used

2. The second component element is an optical device that absorbs light and divides it into spectral lines and then measures it. For this purpose, a special high-resolution grating is used, which divides the registered light into wavelengths. Each element has its own specific wavelength. After receiving the light, a special sensor measures the light intensity for each wave, which is unique for any element.

3. The third main component is a computer system that reads and processes the received data from an optical device using calibration.

The user interface allows you to minimize the operator's work and at the same time the results are clearly set. This can be further processed, saved, printed.

When electrical energy interacts with an atom, some electrons of the outer atom are released and ejected. The outer electrons are less crowded, located and connected to the atomic nucleus, since they are located far from the atomic nucleus, so less input energy is required for ejection. The electrons that are ejected create a vacancy, this makes the atom unstable.

To restore the stability of the electrons, the high-placed electrons are released downwards, and fills the place. When the electrodes move, energy is released that emits light or optical radiation from itself.

In each element, a number of spectral lines are emitted corresponding to a different electronic transition between different levels of the energy level or shells. Each junction produces a specific optical line having a fixed wavelength or energy energy.

Each of the elements emits a large number of waves, which gives a rich spectrum of lines. For example, a little more than 8000 different waves are emitted for iron, so the choice of optimal radiation lines of this element in the figure is very important.

The characteristic radiation of atoms in the sample is transmitted to the optical system, where it is divided into spectral wavelengths using high-tech gradation, the gradation contains up to 3600 wells per millimeter.

Then individual pulsating signals of spectral line detectors are collected and processed in order to create a spectrum that shows peak fluctuations of light depending on their wavelength. This means that the ECO provides high-quality, accurate data on the measured samples, but it cannot be denied that the ECO is a quantitative method.

The peak wavelength determines the element, and its peak area or intensification allows you to represent its quantity as a sample. After that, the analyzer uses this information to calculate the elemental composition of the sample during calibration on a certified reference material. The whole process from pressing the start button or trigger to receiving the analysis can last up to 3 seconds and can take up to 30 seconds, depending on the use of the analyzer, the range of the element being measured and the concentration of this element (Figure 15).

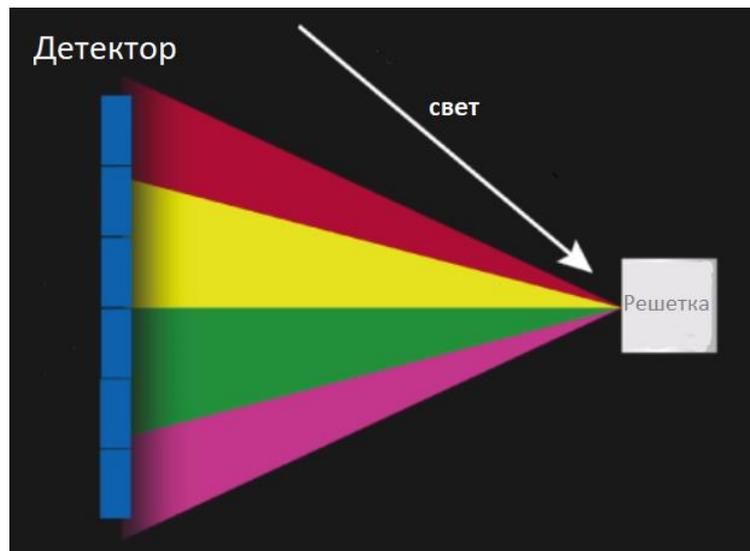


Figure 15 - Determination of the element by radiation

Unlike other analytical methods, ECO has many advantages: fast and very simple use, measures a large spectrum and concentrations of elements in many different types of material, including important elements, for example, carbon, sulfur, phosphorus, boron and nitrogen. It is extremely accurate in measuring the low level of traces and cracks, and is quite inexpensive than in other methods.

#### ***Brinell hardness measurement***

The Brinell test (Figure 16) is a simple indentation test. As with any metallurgical method of determining hardness, the surface of the steel must be prepared accordingly. This will require grinding the surface so that it is below the level of surface decarburization and surface oxidation. The golden rule in hardness testing is to prepare the surface of the steel for transition to primary steel, that is, steel that is not affected by surface oxidation and decarburization.



Figure 16 - Brinell hardness measurement

The Brinell test method consists of pressing a hardened steel ball under a given pressure into the test material (Figure 17). The Brinell hardness number is obtained by dividing the pressure on the spherical surface of the impression in kilograms, which is expressed in square millimeters.

The hardness number HB (kgf/ m<sup>2</sup>) is the ratio of the applied load to the surface area of the print, it is calculated by the formula (10)

$$HB = \frac{2P}{\pi D \sqrt{(D - D^2 - d^2)}} \quad (10)$$

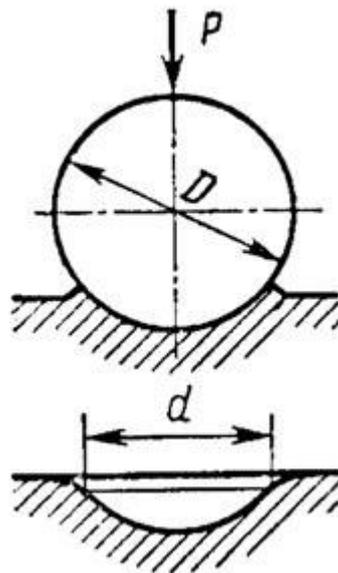


Figure 17 - Brinell hardness imprint measurement scheme

The testing machine is equipped with a tungsten steel ball. The diameter of the ball and the load are chosen so that the ratio  $d = (0.25 \dots 0.5) D$  is observed, i.e. these parameters are different for different materials. The choice of load is made depending on the thickness of the steel sample being tested. In our case, the diameter of the ball is 10 mm, the load is 3000kg. The samples that were subjected to Brinell hardness measurement are shown in Figure 18. The smaller the indenter imprint, the higher the hardness of the alloy.



Figure 18 - Indenter's imprint on the studied samples

## 2.5. Impact strength tests of the sample

Polymer materials are sometimes subjected to rapid stress loading or shock loads. A number of test methods have been proposed to assess the ability of materials to withstand such loads. The two most common methods are the so-called Izode and Sharpie impact tests (pendulum). The Izoda test is a more popular method for plastic materials, and the Sharpie test is very common for metals. The pendulum impact strength test is described in the GOST9454-78 standard. This method requires at least five, and preferably ten or more separate readings to obtain a good average value of the impact resistance of the material. The total impact energy depends both on the size of the test sample and on the shape and length of the incision. A standard sample is usually used to compare different materials.

The pendulum impact test involves measuring the energy required to destroy the test sample, which is clamped at the ends and then struck in the center by a pendulum load. The energy required for the destruction of the sample is obtained due to the loss of energy of the pendulum.

This energy is simply the difference in the potential energy of the hammer before and after impact, for example

$$E=mg(h-h) \quad (11)$$

Where  $m$  is the mass of the hammer,  $h$  – height,  $g$  is – acceleration of gravity ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ). The values are presented in units of absorbed energy per unit thickness of the incision (for example,  $\text{J/m}$  or  $\text{ft}\cdot\text{lb}/\text{inch}$ ). Alternatively, the results can be expressed as the absorbed energy per unit cross-sectional area of the incision.

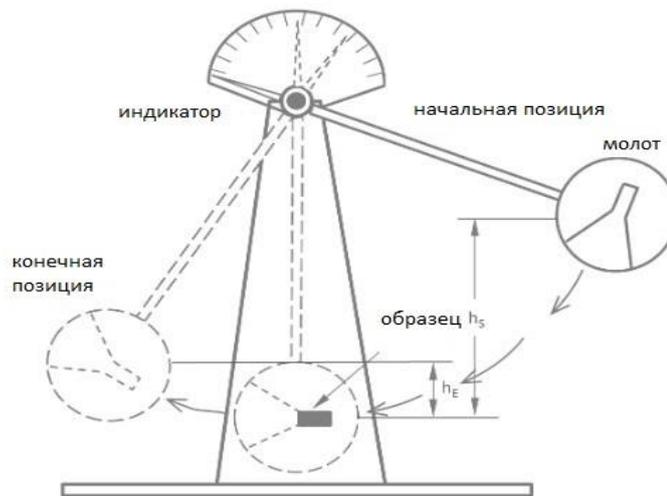


Figure 19 - Pendulum Impact Tester

The energy absorbed during destruction has two components. This is the work of plastic deformation due to the formation of a plasticity zone around the top of the incision and the work required to create fracture surfaces equal to the cohesion energy that must be overcome in order to separate atoms and molecules on both sides of the incision. The energy of viscous fracture is much greater than the energy of brittle fracture, because plastic materials undergo severe plastic deformation before and during fracture, which absorbs

much more impact energy than the rupture of physical and chemical bonds (surface fracture energy).

All materials undergo a transition from ductile behavior at higher temperatures to brittle behavior at lower temperatures (Figure 20). At higher temperatures, the impact energy is relatively high, since the fracture is plastic. But with a decrease in temperature, the absorbed impact energy in a narrow temperature range decreases sharply, as the destruction becomes more brittle. The brittle-plastic transition can also be observed on the fracture surfaces; a plastic fracture specimen has a fibrous or dull surface, whereas a brittle specimen has a granular and shiny fracture surface.

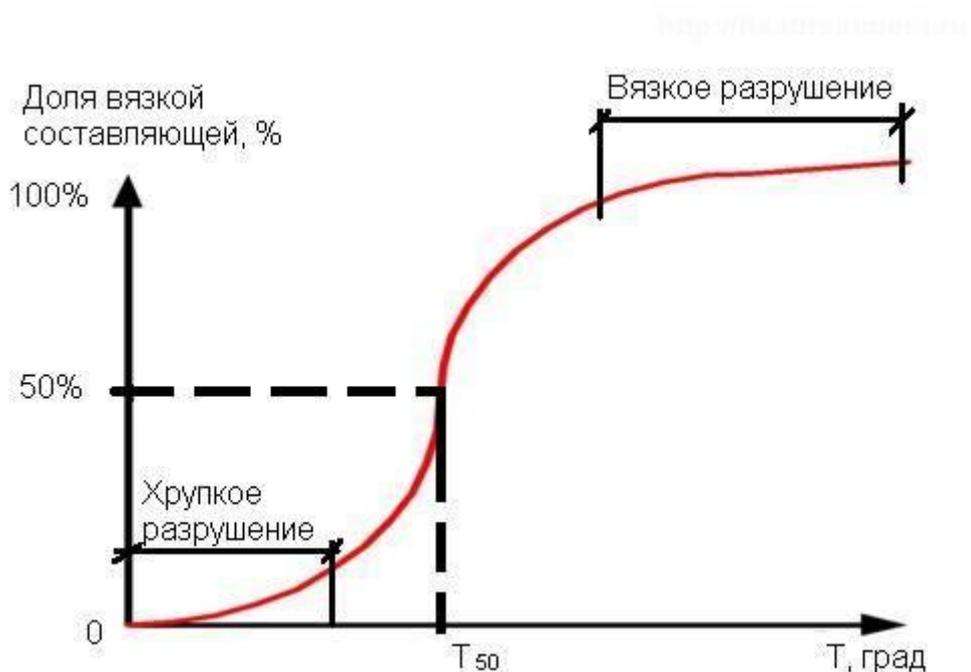


Figure 20 - Influence of temperature on impact strength

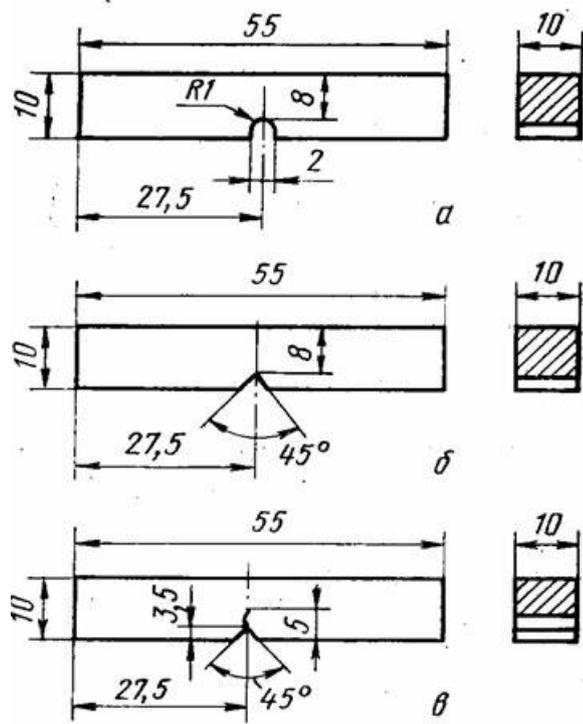


Figure 21 - Samples for impact strength testing  
 U – shaped incision, V – shaped incision, T – incision with crack

***The process of heat treatment in a muffle furnace***

The heat treatment process was carried out in a muffle furnace, which allows heat treatment of products at temperatures exceeding 1000 ° C.(figure 22)



Figure 22 - Muffle furnace

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1. Results of the study

For the study, segments of a segmental control valve made of 20 GML steel were taken, the chemical composition of which is given in Table 8. The chemical composition of the alloy was determined using a PMI MASTER chemical analyzer.

Table 8 – Chemical composition of the steel under study

Elements Chemical composition of steel, %

experimental According to TU 4 112-091-00220302-2006

Elements	Chemical composition of steel, %	
	Experimental	According to TY 4 112-091-00220302-2006
C	0.14	0.12 – 0.2
Si	0.2	0.2 – 0.4
Mn	1.11	0.8 – 1.2
Cr	0.4	До 0.5
Ni	0.12	До 0.5
Mo	0.3	0.25 – 0.35
Ca	0.063	0.05 – 0.15
Ce	0.067	0.05 – 0.1
Al	0.08	0.08
S	0.002	До 0.03
P	0.03	До 0.03

After the standard method of grinding and polishing, the sample cast at the TEMZ plant was etched with nitric acid (HNO<sub>3</sub>(4%) 5 ml

ethyl alcohol 100 ml) and the microstructure was examined using an AXIO Observert A1m microscope connected to a personal computer.

The results of the study of the microstructure of cast steel are presented in Figure 23 with different magnifications. Analyzing the microstructure of cast steel, we can say that the material is a ferrite-pearlite, dendritic structure, which are indicated by the letters F and P (Figure 23).

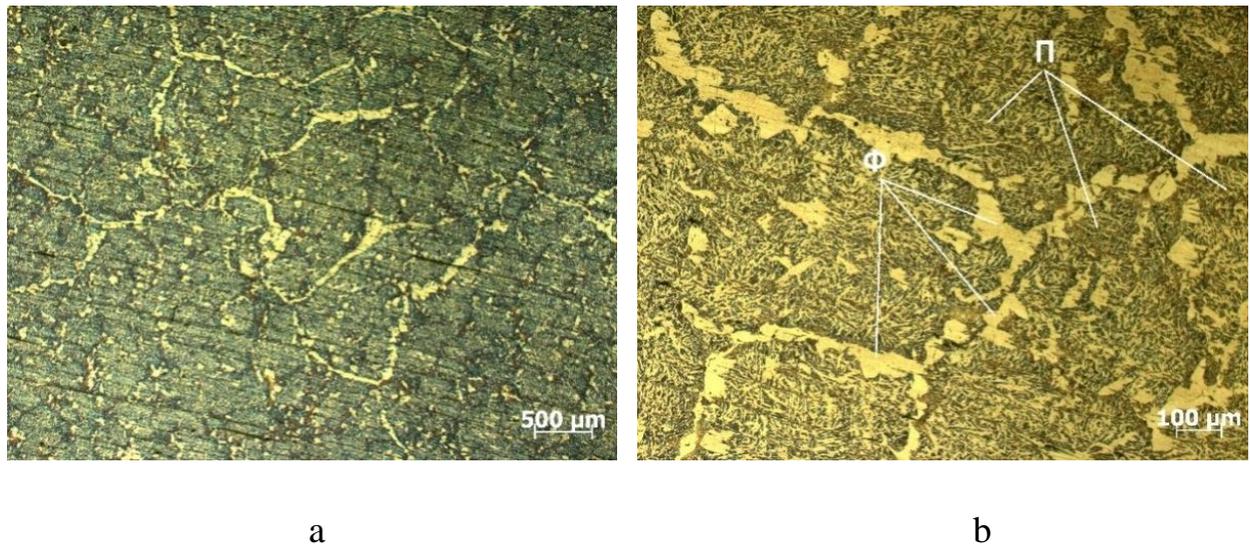


Figure 23 - Microstructure of 20GML steel before heat treatment at different magnifications

The impact strength of steel directly depends on its microstructure, in our case, the formation of pearlite in the mesh structure is the main reason for the decrease in viscosity.

In the process, samples from 20 GML were subjected to heat treatment: annealing at 900 ° C according to the requirements of STCCBA 014-2004. Annealing mode: slow heating up to 900 ° C in 40 minutes and exposure time of 4 hours, followed by slow cooling in the furnace. The cooling rate in the furnace is 120 °C/h (Figure 24).

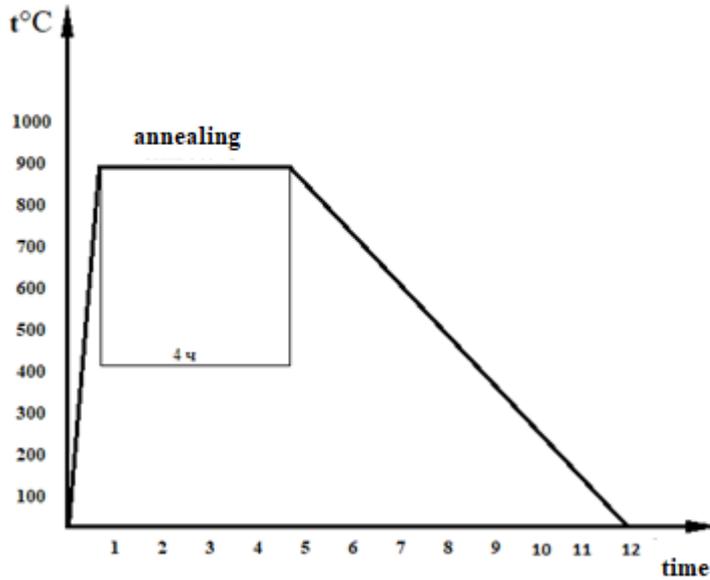


Figure 24 - Annealing mode

After annealing, the impact strength was measured with a pendulum coper (U-shaped incision), the impact strength of steel at room temperature was 29.5 KCU, J/cm<sup>2</sup>, Brinell hardness – 229 HV. The results of metallographic examination of steel after annealing are shown in Figure 25.

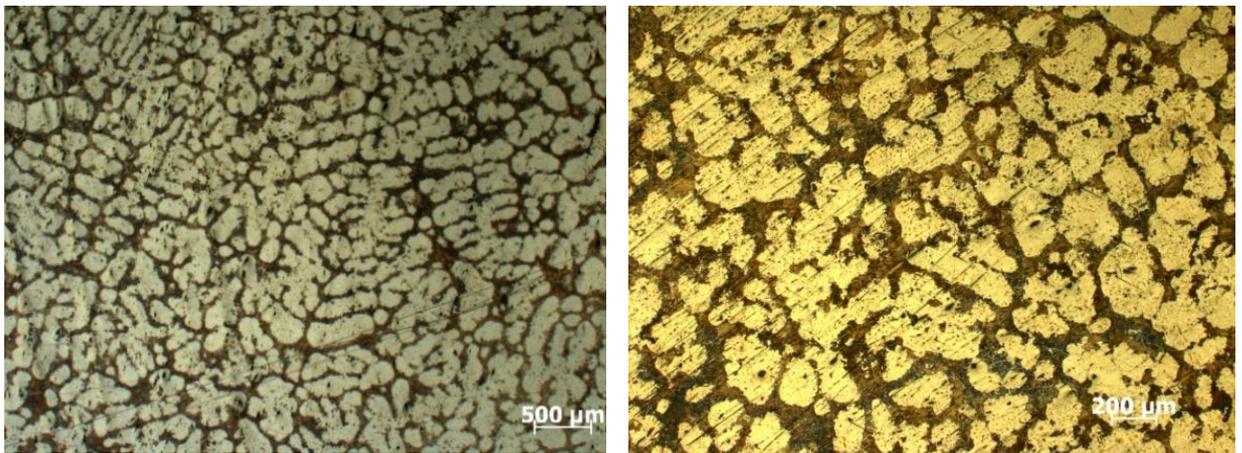


Figure 25 - Microstructure of 20GML steel after annealing at 900 4h at different magnifications

The annealing mode gave a positive result on the microstructure of the steel. The microstructure of the steel became more uniform in comparison with the original alloy. But the value of the viscosity of steel has not increased much

because dendrites are present in steel, which have a negative effect on the mechanical properties of the metal.

The next implemented heat treatment mode is annealing when heated to 900 °C for 40 minutes and holding for 4 hours, then slow cooling in the furnace. The cooling rate in the furnace is 120 °C/h, as in the previous treatment. After the sample had completely cooled down, it was subjected to normalization treatment at 920 °C, it was kept at this temperature for 60 minutes, and then cooled in air (Figure 26).

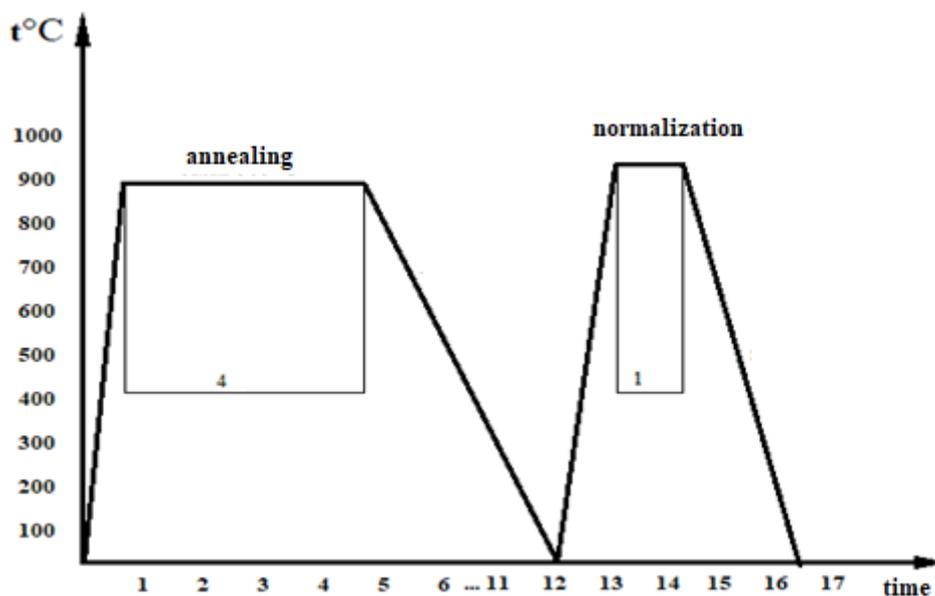


Figure 26 - Heat treatment mode, annealing 900 °C, 4h + normalization 920 °C, 1 h

The microstructure of steel after heat treatment became fine-grained consisting of a ferritic base and small carbides of iron alloying elements (Cr, Mo, Mn, etc.) Brinell hardness decreased by 22 units due to the elimination of the pearlite component. Accordingly, the impact strength increased to a value of 70 J/cm<sup>2</sup>.

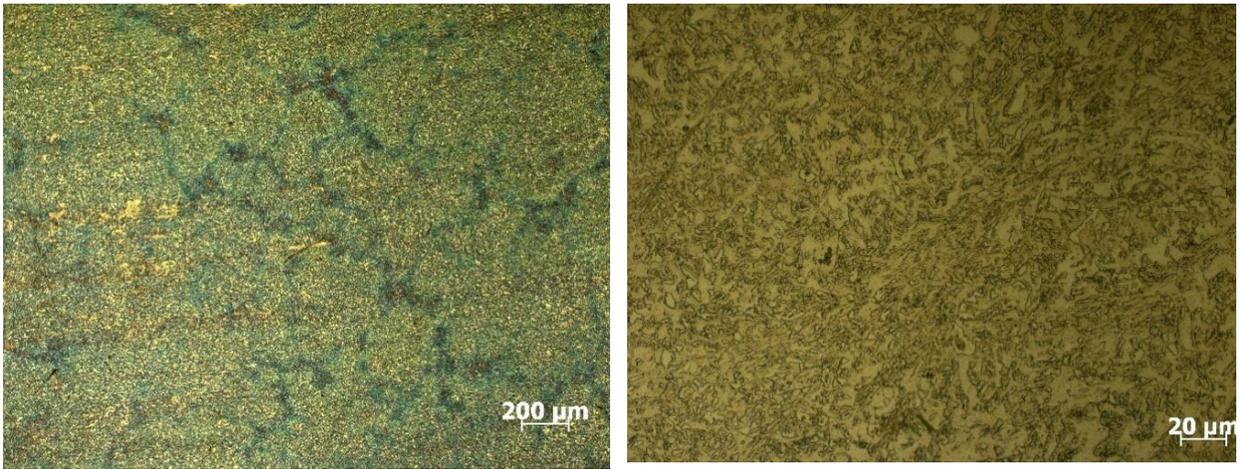


Figure 27 - Microstructure of 20GML steel after annealing at 900 °C , 4 h + normalization at 920 °C, 1 h, at different magnifications

The following heat treatment mode: slow heating together with the furnace to 900 °C for 40 minutes during annealing and holding for 4 hours, then slow cooling in the furnace. The cooling rate in the furnace is 120 °C/min. After the sample had completely cooled down, it was processed for normalization at 920 °C, kept at this temperature for 60 minutes, and then cooled in air. After completely cooling, the tempering was processed at 650 °C (Figure 28).

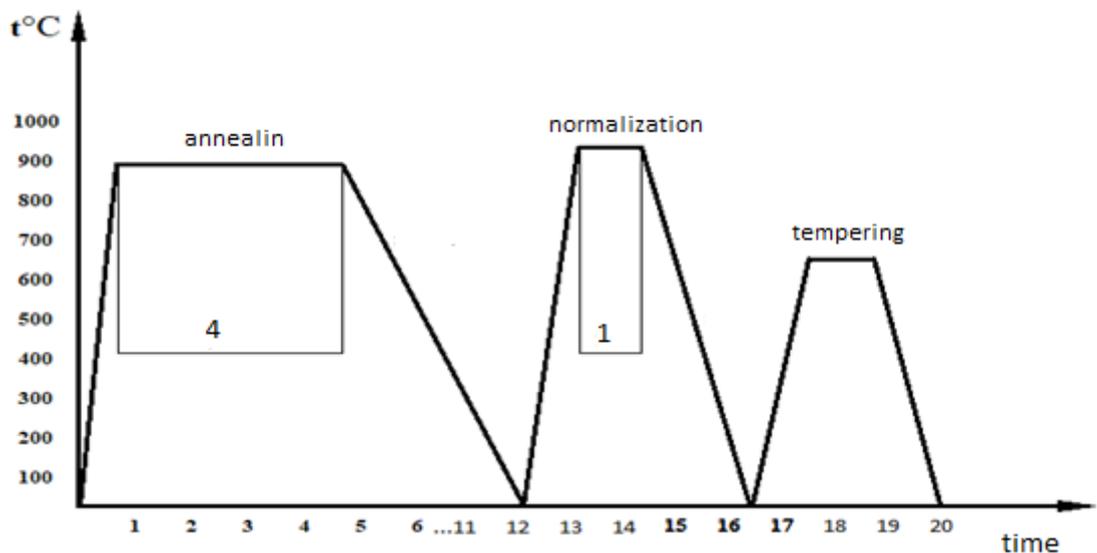


Figure 28 - Heat treatment mode, annealing + normalization + tempering 650 °C

The microstructure has a fine-grained incompletely formed ferrite-pearlite structure, as a result of insufficient heating temperature and warm-up time (Figure 29). Uneven ferrite-pearlite structure during mechanical testing, the impact

strength of steel at room temperature was 22.5 KCU, J/cm<sup>2</sup>, Brinell hardness – 187H, which does not correspond to the operational properties of the product.

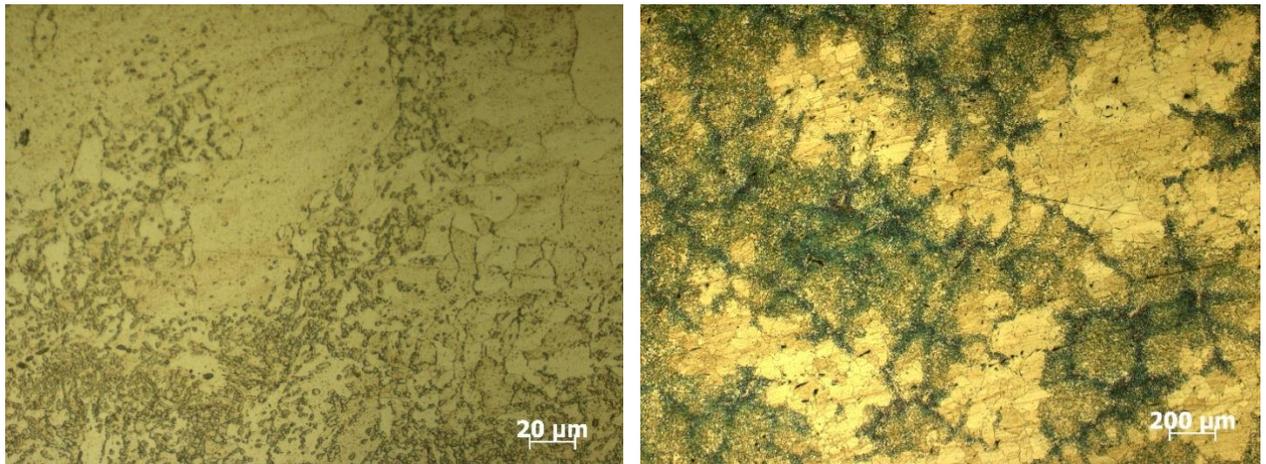


Figure 29 - Microstructure of 20GML steel after annealing at 900 °C, 4 h + normalization at 920 °C, 1 h + tempering 650 °C, 1 h, at different magnification

Annealing mode: slow with the furnace up to 920 °C in 40 minutes and 6h exposure, followed by slow cooling in the furnace. The cooling rate in the furnace is 120°C/h (Figure 30).

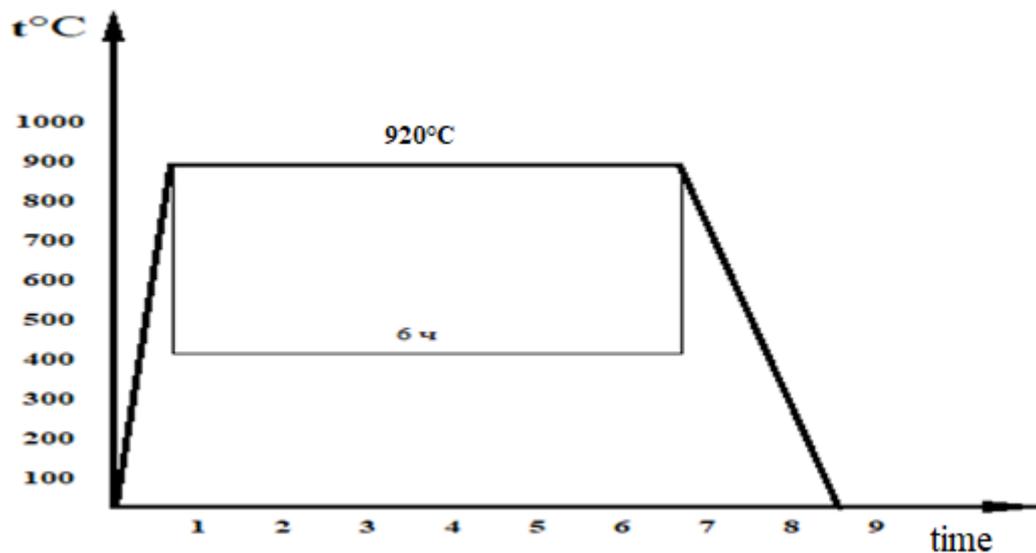


Figure 30 - Heat treatment mode, annealing at 900°C, 6h

The microstructure has a homogeneous granular, pheroite-pearlite structure. The average grain size is 150-200 mm, which corresponds to the structure of annealed steel (Figure 31). The impact strength of steel at room temperature was 54.2 KCU, J/cm<sup>2</sup>, Brinell hardness -159 HV.

a b

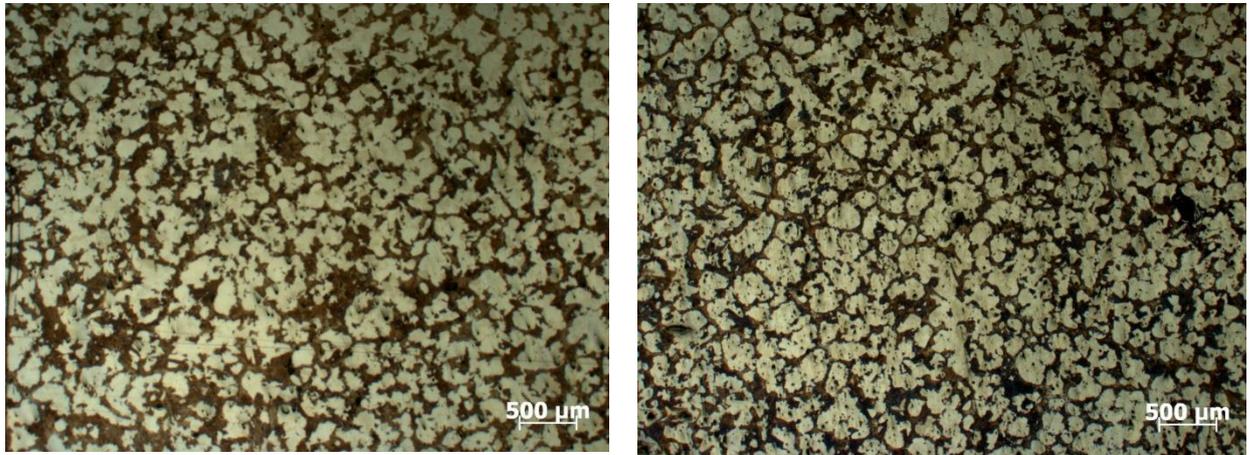


Figure 31 - Microstructure of 20GML steel after annealing at 920 °C at different magnification

During the study, the impact strength and Brinell hardness were measured after each heat treatment. The results are shown in Table 9

Table 9 - Test results

<b>Type of heat treatment</b>	<b>Impact strength, KCU, J/cm<sup>2</sup></b>	<b>Brinell hardness</b>
Cast steel	-	207
Annealing 900°C	29.5	229
Annealing 900°C , 4 hours Normalization of 920°C , 1 hour	70	207
Annealing 90°C , 4 hours Normalization of 920°C, 1 hour Vacation 650°C , 1 hour	25.8	187
Annealing 920°C , 6 hours	54.2	159

## CONCLUSION

As a result of the study for the body of the segmental control valve made of 20 GML steel, the optimal combination of the impact strength  $KCU = 54.2 \text{ J / cm}^2$ , Brinell hardness 159 *HV* and the formed grain ferrite-pearlite structure was achieved during heat treatment: annealing at  $t = 920 \text{ }^\circ \text{C}$ , 6 hours.

The results of the study of the structure of the properties of 20 GML steel formed as a result of casting and subsequent heat treatment indicate its operability in environments containing hydrogen sulfide at high internal pressures (more than 200-300 att). The resistance of steel to hydrogen sulfide cracking is explained by the low carbon content and microalloying with molybdenum, whose carbides are more resistant to hydrogen than iron carbide. The optimal combination of microstructure and impact strength values make it more in demand compared to other alloys.