

На правах рукописи

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Факультет

промышленных технологий,
электроэнергетики и транспорта
(наименование)

Кафедра

Сварочное, литейное производство и
материаловедение
(наименование)

Направление подготовки

22.04.01 «Материаловедение и
технологии материалов»
(код и наименование)

Профиль

«Материаловедение и технологии
новых материалов»
(наименование)

Магистерская диссертация

на тему

«Исследование влияния параметров термической обработки на свойства
легированных сталей, применяемых в запорной и регулирующей арматуре»

Студент

Сермин 17.06.24
(подпись, дата)

Сермин Вадим
Геннадьевич
(фио полностью)

Научный руководитель
к.т.н., доцент

Логин О.Н.
(подпись, дата)

Логин О.Н.
(фамилия, инициалы)

Рецензент
к.т.н., инженер-технолог
АО ФНПЦ «ПО «Старт» им.
М.В. Проценко»

Чижова 18.06.24
(подпись, дата)

Чижова Е.В.
(фамилия, инициалы)

Нормоконтролёр
к.т.н., доцент

Хорин 19.06.24
(подпись, дата)

Хорин А.В.
(фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от 08.06.2024 № 9)
Заведующий кафедрой

Розен 19.06.24
(подпись, дата)

Розен А.Е.
(фамилия, инициалы)

Работа защищена с отметкой отлично (протокол заседания ГЭК от 20.06.2024 № 8)

Секретарь ГЭК
к.т.н., доцент

Гуськов 20.06.2024
(подпись, дата)

Гуськов М.С.
(фамилия, инициалы)

Пенза 2024

**ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

Факультет промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта
Кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

«Утверждаю»

Заведующий кафедрой СЛПиМ
д.т.н., профессор А. Е. Розен

подпись

« 20 » сентября 2023 г.

**ЗАДАНИЕ
на магистерскую диссертацию**

Студента гр. 22МТм1 Факультет промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта Политехнического института ПГУ, очной формы обучения по направлению подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Сермина Вадима Геннадьевича.

Научный руководитель работы: к.т.н., доцент Логинов О.Н.

Время выполнения магистерской диссертации: с 20.09.23 г. по 03.07.2024 г.

Место преддипломной практики: кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение» ПГУ

Тема работы: Исследование влияния параметров термической обработки на свойства легированных сталей, применяемых в запорной и регулирующей арматуре

Тема утверждена приказом ректора ПГУ № 958/о 20.09.23 г.

Техническое задание на работу: исследование механических свойств стали 30ХМА и коррозионной стойкости стали 20Х13 после термической обработки.

Объём и содержание основной части работы:

Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, расчетов, обоснований, описаний):

- введение, обоснование актуальности темы исследования, установления объекта и предмета, постановкой цели и задач исследования;
- литературно-патентный обзор с выявлением патентной и научно-технической информации, исследованием технического уровня и тенденций развития в повышении эксплуатационных свойств стальных крепёжных изделий при помощи термической обработки;
- рассмотрение основных видов и способов термической обработки стали, определение влияния легирующих элементов на свойства стали
- обоснование выбора исследуемого материала, анализ нормотехнической документации по термической обработке стали 30ХМА;

- определение методов исследования;
- подготовка образцов и определение оборудования для исследования, проведение исследования;
- заключение – выводы и обоснования по теме работы и полученным результатам.

Презентация магистерской диссертации (перечень и содержание плакатов)

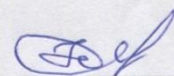
- | | |
|--|-------|
| - слайд 1 «Тема выпускной квалификационной работы» | 1л А4 |
| - слайд 2 «Цель и задачи исследования» | 1л А4 |
| - слайд 3 «Арматуростроение» | 1л А4 |
| - слайд 4 «Нормотехническая документация (1-ая часть)» | 1л А4 |
| - слайд 5 «Нормотехническая документация (2-ая часть)» | 1л А4 |
| - слайд 6 «Патентное исследование» | 1л А4 |
| - слайд 7 «Выбор материала» | 1л А4 |
| - слайд 8 «Исследуемый материал» | 1л А4 |
| - слайд 9 «Режимы термической обработки стали 30ХМА» | 1л А4 |
| - слайд 10 «Методы исследования (микроструктурное исследование)» | 1л А4 |
| - слайд 11 «Методы исследования (испытание на равноосное растяжение)» | 1л А4 |
| - слайд 12 «Методы исследования (исследование ударной вязкости)» | 1л А4 |
| - слайд 13 «Методы исследования (исследование твёрдости)» | 1л А4 |
| - слайд 14 «Результаты исследования свойств после закалки» | 1л А4 |
| - слайд 15 «Результаты исследования свойств после отпуска (ГОСТ 4543 – 2016)» | 1л А4 |
| - слайд 16 «Результаты исследования свойств после отпуска (микроструктуры)» | 1л А4 |
| - слайд 17 «Результаты исследования свойств после отпуска (ГОСТ 20700-75)» | 1л А4 |
| - слайд 18 «Результаты исследования свойств после отпуска (микроструктуры)» | 1л А4 |
| - слайд 19 «Результаты исследования свойств стали 20Х13» | 1л А4 |
| - слайд 20 «Исследование коррозионной стойкости стали 20Х13 (исследуемые образцы)» | 1л А4 |
| - слайд 21 «Результаты исследования коррозионной стойкости стали 20Х13» | 1л А4 |
| - слайд 22 «Заключение» | 1л А4 |
| - слайд 23 «Список авторских публикаций» | 1л А4 |
| - слайд 24 «Схема выбора стали в зависимости от направления в арматуростроении» | 1л А4 |
| - слайд 25 «Технологическая карта термической обработки стали 30ХМА» | 1л А4 |
| - слайд 26 «Технологическая карта термической обработки стали 20Х13» | 1л А4 |

Рекомендуемая литература:

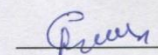
1. Лахтин, Ю.М. Материаловедение [Текст]: учеб. для вузов / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – М.: Высш. образование. – 2006. – 528 с.
2. Гелин, Ф.Д. Металлические материалы [Текст]: справочник / Ф.Д. Гелин, А.С. Чаус. – Мн.: Высшая школа, 1987. – 368 с.
3. НП-089-15 Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок [Текст]: Введ. 2016-02-23. – 71 с.
4. ГОСТ 20700 – 75 Болты, шпильки, гайки и шайбы для фланцевых и анкерных соединений, пробки и хомуты с температурой среды от 0 до 650 °С [Текст]: Введ. 1975-03-28. – Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР, 1975. – 23 с.
5. СТ ЦКБА 026 – 2005 Термическая обработка заготовок из углеродистых и легированных конструкционных сталей [Текст]: Введ. 10.06.2005. – АО НПФ ЦКБА, 2005. – 22 с.
6. ГОСТ 33260 – 2015 Арматура трубопроводная [Текст]: Введ. 2015-05-26. – Росстандарт, 2015. – 72 с.
7. Новиков, И.И. Теория термической обработки металлов [Текст]: учеб. для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. – 1986. – 480 с.

Руководитель магистерской диссертации:

к.т.н., доцент

 Логинов О.Н.**Задание к исполнению принял студент**

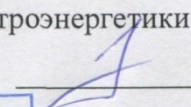
гр. 22МТм1

 Сермин В.Г.20 сентября 2023 г.

Магистерскую диссертацию к защите допустить

Декан факультета промышленных технологий электроэнергетики и транспорта

Политехнического института ПГУ

 С.Ю. Киреев

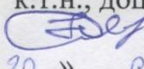
ОПОП освоена в полном объеме.
К государственной итоговой
аттестации допустить

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ
И ТРАНСПОРТА
кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

«Утверждаю»

Руководитель ВКР

к.т.н., доцент Логинов О.Н.

 подпись
« 20 » сентября 2023 г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

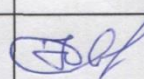
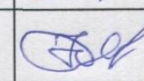
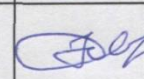
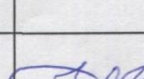
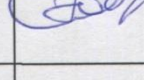
на выпускную квалификационную работу

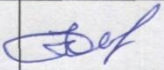
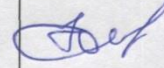
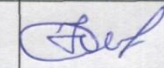
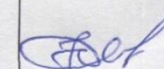
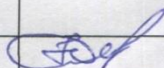
Студенту гр. 22МТм1 Факультета промышленных технологий
электроэнергетики и транспорта

Политехнического института ПГУ, очной формы обучения по направлению
подготовки 24.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»

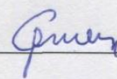
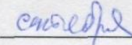
Сермину Вадиму Геннадьевичу.

Тема работы: Исследование влияния параметров термической обработки на
свойства легированных сталей, применяемых в запорной и
регулирующей арматуре

Наименование этапа работы	Срок исполнения		Отметка о выполнении
	начало	окончание	
1. Получение задания, его уяснение, беседа с руководителем. Подготовка к выполнению ВКР.	20.09.23	25.09.23	
2. Подбор и изучение рекомендованной литературы.	26.09.23	31.10.23	
3. Изучение объекта исследования, постановка цели и задачи работы. Написание введения.	01.11.23	12.11.23	
4. Проведение литературно-патентного обзора. Выбор основных нормативно-технических документов.	13.12.23	15.01.24	
5. Определение методов и оборудования для исследования и подготовка образцов. Оформление соответствующих разделов.	16.01.24	31.03.24	
6. Проведение исследования и анализ полученных данных. Оформление соответствующих разделов.	01.04.24	19.05.24	
7. Завершение оформления пояснительной записки, схем и рисунков.	19.05.24	04.06.24	

8. Предварительная защита магистерской диссертации	05.06.24	05.06.24	
9. Представление магистерской диссертации руководителю на просмотр и проверку на плагиат.	06.06.24	16.06.24	
10. Представление завершенной ВКР нормоконтролеру	17.06.24	18.06.24	
11. Представление научному руководителю на подпись пояснительной записки (совместно с протоколом проверки на плагиат и отзывом руководителя)	19.06.24	19.06.24	
12. Защита магистерской диссертации	20.06.24	03.07.24	

Прохождение каждого этапа подготовки ВКР подтверждается подписью руководителя.

Студент учебной группы 22МТм1  Сермин В.Г.
 "20"  2023 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

ОТЗЫВ

**РУКОВОДИТЕЛЯ О ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
МАГИСТРА**

Студент: Сермин Вадим Геннадьевич.

Тема: Исследование влияния параметров термической обработки на свойства легированных сталей, применяемых в запорной и регулирующей арматуре.

Направление подготовки – 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов».

Профиль подготовки – «Материаловедение и технологии новых материалов».

Магистерская диссертация содержит 83 с., 16 рис., 19 табл., 50 использованных источников, 4 приложения.

Объект исследования – механические свойства и коррозионная стойкость заготовок изделий для запорной и регулирующей арматуры, формируемые при термической обработке.

Предмет исследования – обоснование выбора технологии термической обработки для получения требуемых свойств крепёжных изделий применяемых в арматуростроении.

Целью магистерской диссертации является исследование влияния параметров термической обработки на механические свойства изделий из стали 30ХМА и коррозионную стойкость изделий из сталей и 20Х13 применяемых в запорной и регулирующей арматуре.

В ходе выполнения магистерской диссертации были решены задачи по: патентному обзору по способам повышения эксплуатационных свойств крепёжных изделий; литературному анализу нормотехнической документации; обоснованию выбора исследуемого материала; выбору методов исследования структуры и свойств; исследованию после термической обработки механических свойств стали 30ХМА и коррозионной стойкости стали 20Х13.

Результаты исследований допустимо применить при проведении термической обработки заготовок изделий из стали 30ХМА и 20Х13.

Сермин В.Г. относится к числу инициативных студентов, умеющих планировать время выполнения работы и способных самостоятельно проводить теоретические исследования и экспериментальные работы, принимать рациональные решения. Владеет методиками исследований материалов. Адекватен, с коллегами поддерживает хорошие отношения. Учился только на отличные оценки.

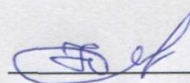
За время выполнения магистерской диссертации Сермин В.Г. показал себя технически грамотным студентом, обладающим современными методами решения профессиональных задач.

Выполненная работа соответствует требованиям, предъявляемым к магистерской диссертации.

Считаю, что магистерская диссертация заслуживает положительной оценки ГЭК, а ее автор Сермин В.Г. присвоения квалификации магистра по направлению подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов» и профилю подготовки «Материаловедение и технологии новых материалов».

Отзыв составил преп. каф. «СЛПиМ»

ФГБОУ ВО «ПГУ» к.т.н., доцент



Логинов О.Н.

РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию студента группы 22МТм1

ФГБОУ ВУ «Пензенский государственный университет»

Сермина Вадима Геннадьевича

Тема выпускной квалификационной работы: «Исследование влияния параметров термической обработки на свойства легированных сталей, применяемых в запорной и регулирующей арматуре».

Пояснительная записка Сермина В.Г. выполнена в соответствии с заданием на магистерскую диссертацию и содержит следующие разделы: введение; анализ состояния предметной области, в данном разделе описывается актуальность исследования, выводится цель исследования, приводится анализ нормотехнической документации арматуростроения, патентное исследование; теоретические основы термической обработки материалов, где приводятся основные виды и способы термической обработки, влияние легирующих элементов на свойства сталей; коррозия и показатели коррозии, где описываются виды коррозионного разрушения, показатели коррозионных процессов; исследуемый материал, в данном разделе приводятся обоснование выбора исследуемого материала, структурные превращения стали 30ХМА при термической обработке, режимы термической обработки и свойства стали 30ХМА, регламентируемые нормативной документацией; методы исследования, в данном разделе описываются методы исследования механических свойств стали 30ХМА такие как равноосное растяжение, ударная вязкость, измерение твёрдости, а также метод исследования коррозионной стойкости стали 20Х13; экспериментальная часть, в данном разделе приводятся образцы и оборудования для исследования, результаты исследования механических свойств стали 30ХМА, результаты исследования коррозионной стойкости стали 20Х13.

Термическая обработка стальных крепёжных изделий играет важную роль в их производстве и обеспечивает не только улучшение механических

свойств, но и повышение надёжности и долговечности. Благодаря этому уменьшается риск аварийных ситуаций, а также увеличивается безопасность эксплуатации. Без грамотного выбора режима термической обработки на производстве крепежные изделия могут не выдерживать нагрузок и стать причиной выхода изделия из строя. Взвеи с этим, возникла необходимость в разработке режима термической обработки стали 30ХМА заготовок изделий арматуростроения, которые бы обеспечили получение свойств, регламентированные соответствующими нормативными документами, а также апробация режимов термической обработки для повышения коррозионной стойкости стали 20Х13.

Замечания по выпускной квалификационной работе: в тексте пояснительной записки магистерской диссертации следовало бы более подробно рассмотреть структурные изменения рассматриваемых марок сталей в различных режимах термообработки; также следовало указать конкретный пример практической реализации результатов работы на производстве.

Указанные недостатки не снижают значимости магистерской диссертации.

Магистерская диссертация Сермина В.Г. выполнена на требуемом уровне, соответствует заданию и ЕСКД, содержит необходимый наглядный материал. Считаю, что магистерская диссертация может быть допущена к защите в ГЭК, а ее автор заслуживает присвоения квалификации магистра по направлению 22.04.01 «Материаловедение и технологии новых материалов».

К.т.н., инженер-технолог
(подпись, дата)

АО ФНЦП «ПО «Старт» им. М.В. Проценко»



Чижова Е.В.

Ректору Пензенского государственного университета
А. Д. Гулякову
от студента 2 курса магистратуры
ФПТЭТ очной формы обучения

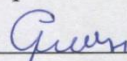
Сермина Вадима Геннадьевича
(фамилия, имя, отчество)

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, Сермин Вадим Геннадьевич, студент 2 курса магистратуры очной формы обучения направления подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов», магистерская программа «Материаловедение и технологии новых материалов», прошу провести проверку с использованием системы «Антиплагиат» выпускной квалификационной работы на тему: «Исследование влияния параметров термической обработки на свойства легированных сталей, применяемых в запорной и регулирующей арматуре», выполненной мной самостоятельно, на содержание элементов плагиата.

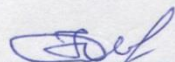
Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищенных ранее выпускных квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

Я ознакомлен с действующим Стандартом университета «Выпускная квалификационная работа обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры», согласно которому обнаружение плагиата является основанием для недопуска магистерской диссертации к защите.


(подпись студента)
14.06.2024
(дата)

Магистерская диссертация представлена на проверку _____ 13.06.2024
(дата)

Руководитель ВКР


Подпись

О.П. Лашинков
И.О.Фамилия



СПРАВКА

Пензенский государственный университет

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Сермин Вадим Геннадьевич
Самоцитирование
рассчитано для: Сермин Вадим Геннадьевич
Название работы: Исследование влияния параметров термической обработки на свойства ле-гированных сталей, применяемых в запорной и регулирующей арматуре
Тип работы: Магистерская диссертация
Подразделение: кафедра "Сварочное, литейное производство и материаловедение"

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ: НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ		36.35%	СОВПАДЕНИЯ		36.35%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ		61.23%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ		61.23%
ЦИТИРОВАНИЯ		2.42%	ЦИТИРОВАНИЯ		2.42%
САМОЦИТИРОВАНИЯ		0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ		0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 17.06.2024

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 17.06.2024 22:47

Структура документа: Проверенные разделы: приложение с.68-73, библиография с.67, содержание с.1-2, основная часть с.3-67
Модули поиска: Переводные заимствования*; Коллекция НБУ; Цитирование; Шаблонные фразы; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Перефразирование по Интернету (EN); Перефразирование по коллекции IEEE; IEEE; ИПС Адилет; СМИ России и СНГ; Патенты СССР, РФ, СНГ; Библиография; Медицина; Переводные заимствования по Интернету (EnRu); СПС ГАРАНТ: аналитика; Диссертации НББ; Публикации eLIBRARY; Перефразирование по Интернету; Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Публикации РГБ; Переводные заимствования IEEE; Перефразирование по СПС ГАРАНТ: аналитика; Кольцо вузов; Публикации eLIBRARY (переводы и перефразирования); СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; Переводные заимствования (RuEn); Переводные

Работу проверил: Логинов Олег Николаевич

ФИО проверяющего

Дата подписи: 17.06.2024

Подпись проверяющего



Чтобы убедиться
в подлинности справки, используйте QR-код,
который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.
Предоставленная информация не подлежит использованию
в коммерческих целях.

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И
ТРАНСПОРТА
КАФЕДРА «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

Протокол

проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» магистерской диссертации на тему «Исследование влияния параметров термической обработки на свойства легированных сталей, применяемых в запорной и регулирующей арматуре» студента 2 курса магистратуры Факультета промышленных технологий электроэнергетики и транспорта ПИ ПГУ, очной формы обучения, группы 22МТм1 *Сермина Вадима Геннадьевича* направления подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов», профиль «Материаловедение и технологии новых материалов».



СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

Пензенский государственный университет

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ ANTIPLAGIAT.VUZ

Автор работы: Сермин Вадим Геннадьевич
Самодитирование рассчитано для: Сермин Вадим Геннадьевич
Название работы: Исследование влияния параметров термической обработки на свойства легированных сталей, применяемых в запорной и регулирующей арматуре
Тип работы: Магистерская диссертация
Подразделение: кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ: НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ	36.35%	СОВПАДЕНИЯ	36.35%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	61.23%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	61.23%
ЦИТИРОВАНИЕ	2.42%	ЦИТИРОВАНИЕ	2.42%
САМОЦИТИРОВАНИЕ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЕ	0%

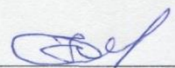
ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 17.06.2024

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 17.06.2024 22:47

Структура документа: Проверенные разделы, приложение с 68-73, библиография с 67, содержание с 1-2, основная часть с 3-67
Модули поиска: Переводные заимствования; Коллекция НБУ; Цитирование; Шаблоны фраз; Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Перифразирование по Интернету (EN); Перифразирование по коллекции IEEE; IEEE; ИПС Адилет; СМЛ России и СНГ; Патенты СССР, РФ, СНГ; Библиография; Медицина; Переводные заимствования по Интернету (EnRu); СПС ГАРАНТ: аналитика; Диссертации НББ; Публикации eLIBRARY; Перифразирование по Интернету; Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Публикации РГБ; Переводные заимствования IEEE; Перифразирование по СПС ГАРАНТ: аналитика; Кольцо вузов; Публикации eLIBRARY (переводы и перифразирования); СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; Переводные заимствования (RuEn); Переводные

Результат проверки на плагиат магистерской диссертации *Сермина Вадима Геннадьевича* составляет 61,23 % оригинальности, что соответствует существующим требованиям стандарта СТО ПГУ 3.12-2018. Выпускная квалификационная работа может быть рекомендована к защите.

«17» июня 2024 г.

Руководитель ВКР, к.т.н., доцент  Логинов О.Н.

Оглавление

Введение	16
1 Анализ состояния предметной области.....	19
1.1 Анализ основной нормотехнической документации арматуростроения.....	19
1.2 Патентный поиск	22
2 Теоретические основы термической обработки материалов	29
2.1 Виды и способы термической обработки	29
2.2 Влияние легирующих элементов на свойства сталей	34
3 Коррозия. Показатели коррозии	37
3.1 Виды коррозионного разрушения.....	37
3.2 Основные показатели коррозионных процессов	40
4 Исследуемый материал	46
4.1 Обоснование выбора материала.....	46
4.2 Структурные превращения стали 30ХМА при термической обработке	49
4.3 Режимы термической обработки и свойства стали 30ХМА, регламентируемые нормативной документацией	49
5 Методы исследования	53
5.1 Микроструктурное исследование	53
5.2 Исследование механических свойств	54
5.2.1 Испытание на равноостное растяжение.....	55
5.2.2 Исследование твёрдости	58
5.2.3 Испытание на ударную вязкость.....	59
5.3 Испытание на коррозионную стойкость стали 20Х13.....	61
6 Экспериментальная часть	62
6.1 Образцы и оборудование для исследования	62
6.2 Результаты эксперимента.....	68
6.2.1 Исследование механических свойств стали 30ХМА	68

6.2.2 Исследование коррозионной стойкости стали 20Х13.....	74
Заключение.....	80
Список литературы	82
Приложение А.....	76
Приложение Б.....	78
Приложение В.....	80
Приложение Г.....	83

Введение

В настоящее время в промышленности применяют как металлические, так и неметаллические материалы. К неметаллическим материалам относятся различного рода и состава пластмассы, эпоксидные смолы, углепластики и стеклопластики, но наиболее широкое применение получили металлические сплавы на основе железа, такие как стали и чугуны [1].

Без стали не обходится ни одно современное производство, занимающееся изготовлением и конструированием приборов, техники, оборудования, стальных изделий, в том числе и арматуростроение.

Арматуростроение – отрасль промышленности, которая занимается производством и проектированием специальных устройств и компонентов, предназначенных для управления и контроля потока вещества в трубопроводах. Такие компоненты включают в себя задвижки, запорные клапаны, регулирующие клапаны и другие устройства, обеспечивающие безопасное и эффективное функционирование трубопроводной системы. Важным аспектом этой отрасли является разработка и производство арматурной продукции, отвечающей требованиям различных отраслей промышленности и обеспечивающей стабильную и надежную работу трубопроводов.

В арматуростроении всегда возникает потребность в соединении различных элементов. Сделать это можно, в том числе и при помощи специальных металлических крепежных изделий [2].

Широкий ассортимент изделий арматуростроения позволяет подобрать для заданных условий конструкцию, наиболее точно отвечающую выдвинутым требованиям. Для правильного решения этой задачи необходимо тщательно определить назначение и условия эксплуатации арматуры [3].

В арматуростроении на сегодняшний момент проводится работа по повышению технического уровня выпускаемой арматуры. Осуществляется разработка и модернизированные технологии, способствующих повышению прочностных и эксплуатационных характеристик изделий. Одной из основных технологий в ме-

таллообработке, способствующей улучшению качества изделий, является термическая обработка [4].

Термическая обработка (ТО) стальных крепёжных изделий играет важную роль в их производстве и обеспечивает не только улучшение механических свойств, но и повышение надёжности и долговечности. Благодаря этому уменьшается риск аварийных ситуаций, а также увеличивается безопасность эксплуатации. Без грамотного выбора режима термической обработки на производстве крепёжные изделия могут не выдержать заявленных нагрузок и стать причиной выхода изделия из строя. В связи с этим, возникла необходимость в разработке режима термической обработки стали 30ХМА заготовок изделий арматуростроения, которые бы обеспечили получение свойств, регламентированные соответствующими нормативными документами, а также апробации режимов термической обработки для повышения коррозионной стойкости стали 20Х13.

Целью магистерской диссертации является исследование влияния параметров термической обработки на механические свойства крепёжных изделий из стали 30ХМА и коррозионную стойкость изделий из сталей и 20Х13 применяемых в запорной и регулирующей арматуре.

Достижение указанной цели осуществлялось путем решения следующих основных задач:

- провести анализ нормативно-технической документации, литературный и патентный поиск по вопросам влияния параметров термической обработки на свойства легированных сталей, применяемых в запорной и регулирующей арматуре;
- обосновать выбор исходных материалов для изготовления крепёжных изделий;
- выбрать методы и оборудования для исследования структуры, механических свойств и коррозионной стойкости;

- провести исследование влияния параметров термической обработки на структуру и механические свойства стали 30ХМА и коррозионную стойкость стали 20Х13.

Для решения задач, поставленных в работе, использовались статические методы исследования (равноостное растяжение, испытание на твёрдость), динамические методы (ударный разрыв), также применялся металлографический метод для оценки структуры стали 30ХМА после термической обработки, для оценки скорости коррозии стали 20Х13 применялся расчётный метод исследования.

В ходе исследований были апробированы режимы термической обработки стали 30ХМА, регламентируемые нормативной документацией. Разработана технология термической обработки стали 30ХМА, способствующая получению стали с высокими прочностными характеристиками. Также были апробированы режимы термической обработки стали 20Х13, способствующие улучшению коррозионной стойкости исследуемой стали.

Разработанный режим термической обработки стали 30ХМА способствует повышению прочности, твердости и устойчивости стали к износу, что в свою очередь позволит создавать более качественные и долговечные изделия. Исследование скорости коррозии способствуют оптимизации процессов проектирования, производства и эксплуатации изделий из стали 20Х13.

В магистерской диссертации выводятся следующие основные положения:

- исследование структуры и механических свойств жаропрочной высококачественной, хромомолибденовой сталь 30ХМА после термической обработки;
- исследование стойкости к коррозионному воздействию стали 20Х13 после термической обработки.

1 Анализ состояния предметной области

1.1 Анализ основной нормотехнической документации арматуростроения

Применение крепежных металлических изделий в основном ограничено статическими нагрузками, но также в процессе эксплуатации они могут подвергаться динамическим нагрузкам. Кроме того, крепежные изделия подвержены атмосферным воздействиям, что может негативно сказываться на прочности соединения. Все эти факторы определяют требования к выбору материалов для изготовления крепежных изделий.

Основным документом, регламентирующим применение крепежных изделий в арматуростроении является НП – 089 – 15 [5]. Этот документ ссылается на ГОСТ 20700 – 75 [6], который обозначает основные марки стали, применяемые для изготовления крепежных изделий, и ГОСТ 23304 – 78 [7], регламентирующий требования к материалам. Также требования при выборе необходимого материала регламентирует ГОСТ 33260 – 2015 [8], согласно которому при выборе материалов для изготовления основных деталей трубопроводной арматуры учитывают заданные условия эксплуатации включающая в себя рабочее давление, температуру стенки (минимальную отрицательную и максимальную расчетную); химический состав и свойства рабочей среды (коррозионность, взрывоопасность, наличие примесей, приводящих к эрозионному износу). ГОСТ 33260 – 2015 определяет также требования к свойствам материала для определённых условий эксплуатации. Такими свойствами являются прочность, твёрдость, пластичность, вязкость и химическая стойкость к эксплуатационной среде.

Крепежные изделия бывают различных видов и назначений, но некоторые из них, например, болт и шпилька требуют особого подхода при выборе материала, подходящего для предполагаемого применения. Выбирая крепеж из различных материалов, можно существенно повлиять на качество и продолжительность срока службы изделия. Согласно ГОСТ Р 54786 – 2011 [9] при выборе материалов для крепежных изделий должны быть учтены условия работы резьбового соеди-

нения: температура, давление среды, напряженное состояние, опасность хрупкого разрушения, воздействие коррозионной среды и возможность проявления контактной, щелевой или межкристаллитной коррозии и коррозионного растрескивания.

Особой популярностью в арматуростроении пользуются крепежные элементы из стали и ее сплавов. Стальной крепеж характеризуется высокой прочностью, гибкостью, низкой усталостью металла, отличной электропроводностью и доступной ценой. При высоких нагрузках стальные крепежные детали не изменяют свою форму, как пластмассовые, и не разрушаются, как чугунные. ГОСТ Р 54786 – 2011 регламентирует изготовление крепёжных изделий (болты, шпильки, гайки и шайбы) из сорта, полуфабрикатов сталей проката толщиной до 250 мм из углеродистой качественной конструкционной стали марок 20, 30, 35, 40, 45, поставляемого по ГОСТ 1050 – 2013 [10]. По СТ ЦКБА 012 – 2015 [11] крепёжные изделия следует изготавливать в соответствии с техническими требованиями по ГОСТ 23304 – 78.

Главным недостатком обычной углеродистой стали является ее низкая устойчивость к коррозии. Эту проблему при изготовлении крепежа решают путём применения легированной стали (с добавлением хрома, никеля, кремния, молибдена и др. элементов). Высоким сопротивлением коррозии отличаются стали с примесью хрома и небольшим количеством углерода. В процентном соотношении нержавеющая сталь – это смесь железа, углерода меньше 1,2 % и хрома больше 10,5 %. ГОСТ Р 54786 – 2011 также регламентирует применение для изготовления крепёжных изделий сорта и полуфабрикаты проката толщиной до 250 миллиметров из легированной конструкционной стали марок 30X, 35X, 40X, 45X, 35XM, 30XMA, 38ХНЗМФА – по ГОСТ 4543 – 2016 [12], проката (поковок) диаметром или толщиной до 200 миллиметров из высоколегированной коррозионно-стойкой стали марок 08X18H10T, 12X18H10T, 31X19H9MBT, 20X13 – по ГОСТ 5949-2018 [13]. Данный ГОСТ 23304 – 78 регламентирует использование углеродистых конструкционных сталей 35, 45, по ГОСТ 1050 – 2013, низколегированных и среднелегированных 30X, 40X, 45X, 30XMA, 35XM, 38ХНЗМФА по

ГОСТ 4543 – 2016 и высоколегированных 20Х13, 20Х12ВНМФ по ГОСТ 18968 – 73 [14].

Не стоит забывать и о коррозионном воздействии, которое оказывает существенное влияние на выбор того, какой материал стоит использовать для изготовления изделий. Для грамотного определения и подбора материала требуется также обращаться к нормативно технической документации. Такой нормативной документацией является отраслевой стандарт СТ ЦКБА 054 – 2008 [15], который определяет материалы для деталей запорной и регулирующей арматуры, работающих в коррозионно-активных средах. Настоящий стандарт является справочным и содержит рекомендации по выбору металлических материалов для деталей запорной и регулирующей арматуры в условиях чистых химических сред и в условиях конкретных химических производств. Также условия применения материалов для изготовления деталей арматуры определяет ГОСТ 33260 – 2015, который распространяющийся на арматуру различного назначения, в том числе на общепромышленную, атомных станций и судовых систем.

Стойкость металлов к коррозии определяется благодаря так называемым показателям коррозии и также регламентируется соответствующим стандартом. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости регламентирует ГОСТ 9.908 – 85 [16]. Стандарт устанавливает основные показатели коррозии и коррозионной стойкости металлов и сплавов при сплошной, питтинговой, межкристаллитной, расслаивающей коррозии, коррозии пятнами, коррозионном растрескивании, коррозионной усталости и методы их определения. Показатели коррозии и коррозионной стойкости используют при коррозионных исследованиях, испытаниях, проверках оборудования и дефектации изделий в процессе производства, эксплуатации, хранения.

Все представленные стали применяются для крепёжных изделий исключительно только после термической обработки, проведённой по стандартам центрального конструкторского бюро арматуростроения.

Для повышения механических и эксплуатационных свойств крепежных изделий прибегают различным видам термической обработки. При выборе упроч-

няющей термической обработки руководствоваться несколькими гостами, например, ГОСТ 33260 – 2015, регламентирующий выбор нормативной документации по режимам и основным технологическим требованиям по термической обработке заготовок и деталей из высоколегированных сталей, коррозионно-стойких и жаростойких сталей и сплавов в поставке – по ГОСТ 5949-2018, ГОСТ 25054 – 81 [17]. Также допускается применять режимы указанные в ГОСТ 23304 – 78, ГОСТ 20700 – 75, ГОСТ 4543 – 2016. Режимы окончательной термической обработки для получения требуемых свойств среднелегированных и высоколегированных сталях, указанных в конструкторской документации или технологических инструкциях завода-изготовителя, – по СТ ЦКБА 016 – 2005 [18], для низколегированных – по СТ ЦКБА 026-2005 [19].

На основании выше приведённого анализа нормативной документации была разработана схема, позволяющая выбрать сталь исходя из направления области арматуростроения. Схема приведена в приложении А на рисунке А 1.

Таким образом, были проанализированы основные нормативные документы, касающиеся требований к материалам и их эксплуатационным свойствам, а также нормативные документы по термической обработки.

1.2 Патентный поиск

Цель исследования – изучение технологического уровня и направлений развития в улучшении эксплуатационных характеристик стальных крепежных изделий при помощи термической обработки.

Регламент патентного поиска – это определенные правила и процедуры, которые регулируют проведение поиска по базам данных, архивам и другим источникам информации с целью выявления наличия аналогичных или схожих изобретений, которые могут быть предметом патентования.

В таблице 1 представлены элементы регламента, по которым проводился патентный поиск.

Исследуемый объект – механические свойства крепёжных изделий ответственных конструкций применяемых в запорной и регулирующей арматуре.

Предмет поиска – повышения механических свойств стали, повышение механических свойств материалов термической обработкой, термическая обработка крепёжных изделий в арматуростроении.

Вид исследований и вид поиска – патентные исследования, тематический поиск.

Параметры информационной базы (фонда) – Патентные фонды Федерального института промышленной собственности (ФИПС) [20].

Таблица 1 – Регламент поиска

Предмет поиска	Индекс МПК	Широта поиска	Глубина поиска	Источник информации
1	2	3	4	5
Повышение механических свойств стали	<i>C23F</i> 17/00 <i>C23C</i> 8/10 <i>C21D</i> 1/78 <i>C21D</i> 8/00 <i>C21D</i> 1/02 <i>C21D</i> 9/00	Россия	15 лет	Реестр изобретений РФ ФИПС
Повышение механических свойств материалов термической обработкой	<i>C21D</i> 6/00 <i>C21D</i> 8/00 <i>C22C</i> 38/54 <i>C21D</i> 1/78 <i>C21D</i> 9/08 <i>C21D</i> 8/10 <i>C21D</i> 6/02 <i>C21D</i> 1/25 <i>C21D</i> 9/08 <i>C21D</i> 1/25	Россия	15 лет	Реестр изобретений РФ ФИПС

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
Термическая обработка крепежных изделий в арматуростроении	<i>C21D 6/00</i> <i>C21D 1/42</i>	Россия	15 лет	Реестр изобретений РФ ФИПС

C23F 17/00 – Многоступенчатые способы обработки поверхности металлического материала, включающие по крайней мере один способ, предусмотренный в классе *C 23*, и по крайней мере один способ, охватываемый подклассом *C 21D* или *C 22F* или классом *C 25*.

C23C 8/10 – Диффузия в твердом состоянии только неметаллических элементов в металлическую поверхность; химическая обработка поверхности металлического материала путем взаимодействия поверхности с реакционным газом, причем продукты реакции поверхностного материала остаются в покрытии, например конверсионные покрытия, пассивирование металлов – окисление.

C21D 1/78 – Общие способы или устройства для термообработки, например отжига, закалки, отпуска – комбинированные способы термообработки, не предусмотренные в предыдущих рубриках.

C21D 1/25 – Общие способы или устройства для термообработки, например отжига, закалки, отпуска - закалка в сочетании с отпуском при температуре между 300° С и 600° С, т.е. термическое улучшение качества.

C21D 9/08 – Термообработка, например отжиг, закалка, отпуск, специальных изделий; печи для этого – полых изделий или труб.

C21D 8/10 – Изменение физических свойств путем деформации в сочетании или с последующей термообработкой – при изготовлении полых изделий.

C21D 8/00 – Изменение физических свойств путем деформации в сочетании или с последующей термообработкой.

C22C 38/54 – сплавы черных металлов, например легированные стали с бором.

C21D 1/02 – закалка кованных или прокатанных изделий без дополнительного нагрева.

C21D 9/00 – термообработка, например отжиг, закалка, отпуск, специальных изделий; печи для этого.

C21D 8/08 – изменение физических свойств путем деформации в сочетании или с последующей термообработкой для армирования бетона.

C21D 6/02 – термообработка сплавов на основе железа, дисперсионное твердение.

C21D 6/00 – термообработка сплавов на основе железа.

C21D 1/42 – общие способы или устройства для термообработки, например отжига, закалки или отпуска, индукционный нагрев.

Результаты патентного обзора приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты патентного обзора

Предмет поиска (объект исследования, его составные части)	Страна выдачи, вид и номер охранного документа. Классификационный индекс МПК	Заявитель (патентообладатель) номер заявки, страна, дата публикации	Название изобретения (полной модели, образца)
1	2	3	4
Повышения механических свойств стали	Россия, патент, <i>RU 2390582 C2</i> <i>C23F 17/00</i> <i>C23C 8/10</i> <i>C21D 1/78</i>	Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Оренбургский государственный университет" (RU) № 2008131185 Россия, 27.05.2010	Способ химико-термической обработки стальных деталей [21]

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
Повышения механических свойств стали	Россия, патент, <i>RU 2749815 C1</i> <i>C21D 8/00</i> <i>C21D 1/02</i> <i>C21D 9/00</i>	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ») (<i>RU</i>) <i>№ 2020136558</i> Россия, 17.06.2021	Способ получения упрочненных заготовок крепежных изделий из нержавеющей аустенитной стали [22]
Повышение механических свойств материалов термической обработкой	Россия, патент, <i>RU 2688017 C1</i> <i>C21D 6/00</i> <i>C21D 8/00</i> <i>C22C 38/54</i>	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ») (<i>RU</i>) <i>№ 2018126676</i> Россия 17.05.2019	Способ термомеханической обработки жаропрочной стали мартенситного класса [23]
Повышение механических свойств материалов термической обработкой	Россия, патент, <i>RU 2734208 C1</i> <i>C21D 1/78</i>	Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» имени И.В. Гoryнина Национального исследовательского центра Курчатовский институт (<i>RU</i>), <i>№ 2020105506</i> ; Россия, 13.10.2020	Способ термической обработки для получения деталей с повышенной размерной точностью [24]
Повышение механических свойств материалов термической обработкой	Россия, патент <i>RU 2564196 C1</i> <i>C21D 9/08</i> <i>C21D 8/10</i>	Открытое акционерное общество "Синарский трубный завод" (ОАО "СинТЗ") (<i>RU</i>) <i>№ 2013137543/02</i> Россия, 27.09.2015	Способ термической обработки изделий из комплексно-легированной стали [25]

Продолжение таблицы 2

Повышение механических свойств материалов термической обработкой	Россия, патент, <i>RU 2388833 C1</i> <i>C21D 6/02</i>	Федеральное государственное унитарное предприятие Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» (ФГУП ЦНИИ км «Прометей») (RU) <i>№ 2009118984/02</i> Россия, 10.05.2010	Способ термической обработки высокопрочной коррозионно-стойкой стали мартенситного класса [26]
Повышение механических свойств материалов термической обработкой	Россия, патент, <i>RU 2788770 C1</i> <i>C21D 8/00</i> <i>C21D 1/25</i>	Федеральное государственное автономное образования "Белгородский государственный национальный исследовательский университет" (НИУ "БелГУ") (RU) <i>№ 2022122541</i> Россия, 24.01.2023	Способ обработки хромомолибденовой стали перлитного класса [27]
Термическая обработка крепежных изделий в арматуростроении	Россия, патент, <i>RU 2691022 C1</i> <i>C21D 6/00</i> <i>C21D 1/42</i>	Общество с ограниченной ответственностью Производственное коммерческое объединение «Термическая обработка металлов» (RU) <i>№ 2018111157</i> Россия, 07.06.2019	Способ поверхностной термообработки изделий из нержавеющей хромистых сталей [28]

Исходя из проведённого патентного исследования, следует, что ведутся активные разработки способов повышения эксплуатационных свойств крепёжных изделий, изделий атомной промышленности, изделий арматуростроения, а также изделий, применяемых для крепежа парогенераторов, корпусов насосов, трубопроводов и соединительных частей атомной промышленности, работающих при температуре от 0 до 350 °С. Несмотря на большое разнообразие способов повышения механических свойств металлических изделий, предпочтение отдаётся термической обработке и её разновидностям. Все представленные способы повы-

шения эксплуатационных свойств металлических крепёжных изделий нашли широкое применение в промышленности.

2 Теоретические основы термической обработки материалов

2.1 Виды и способы термической обработки

Термическая обработка для сплавов различного химического состава имеет общий порядок и заключается он в нагреве их до определённой или критической температуры, выдержке при постоянной температуре и охлаждении. Цель данного процесса заключается в изменении свойств материала посредством изменения его внутреннего строения. В основе процессов термической обработки сплавов на основе железа лежит явление полиморфизма, т.е. способность материала изменять свою кристаллическую структуру под действием высоких температур.

Термическая обработка, как и любой другой специальные технологический процесс не обходится без определённых технологических параметров, которые при конкретные условиях способствует получению или неполучению требуемых свойств. К таким параметрам относится скорость нагрева, температура нагрева, время выдержки, скорость охлаждения.

Скорость нагрева – V_n . Параметры нагрева определяются химическим составом стали, видом, формой и размерами изделий и типом нагревательных элементов или устройств. Нагрев может производиться в электрических печах, в ваннах с расплавленным металлом, соляные ванны и так далее. С точки зрения производительности целесообразно проводить нагрев с максимально допустимой скоростью. Быстрый нагрев способствует уменьшению окалинообразования, обезуглероживания и роста аустенитного зерна. При быстром нагрева необходимо учитывать перепад температур по сечению изделия, из-за чего в металле могут возникнуть напряжения. Легирующие элементы также влияют на допустимую скорость нагрева стали. Скорость нагрева тем выше, чем менее легирована сталь, т.е. больше ее теплопроводность. На скорость нагрева влияют также однородность структуры и конфигурация изделия. Для защиты стали от окисления и обезуглероживания нагрев предпочтительно проводить в защитных, восстанови-

тельных или нейтральных средах. В качестве таких сред могут выступать смеси газов CH_4 , CO , CO_2 , N_2 , расплавленные соли или вакуум.

Температура нагрева – t . Температура нагрева определяется необходимыми фазовыми превращениями. При нагреве стали, например, под закалку для получения мартенсита должна быть получена структура аустенита.

Время выдержки – τ . Продолжительность выдержки при температуре нагрева должна обеспечить прогрев изделия по объему и завершение фазовых превращений, но не должна быть слишком большой, чтобы не вызвать роста зерна и обезуглероживание поверхностных слоев стали. Время выдержки зависит от размера изделия.

Скорость охлаждения – $V_{\text{охл}}$. Скорость охлаждения определяется путем выбора охлаждающей среды. Изменяя режим охлаждения нагретой до аустенитного состояния стали, можно изменять ее структуру и, таким образом, получать различные свойства в соответствии с условиями работы деталей.

Термическая обработка применяется в нескольких случаях. Она применяется в качестве предварительной технологической операции для улучшения обрабатываемости давлением или резанием и для повышения свариваемости заготовок изделия. Также термическая обработка применяется в качестве окончательной операции для придания металлу или сплаву такого комплекса механических или химических свойств, который смог бы обеспечить заданные эксплуатационные характеристики изделия.

В практике термической обработки стали различают отжиг, нормализацию, закалку и отпуск. Проведём анализ каждого вида термической обработки более подробно [29].

Отжиг – это один из видов термической обработки, суть которого состоит в нагреве заготовок до необходимых температур, последующей выдержки и постепенным и медленным охлаждением вместе с печью. Целью отжига является получения более равномерной и достаточно однородной структуры с минимальными внутренними остаточными напряжениями.

Различают отжиг с полной фазовой перекристаллизацией. К ним относится диффузионный отжиг, полный и изотермический. Неполной фазовой перекристаллизацией. К ним относится неполный отжиг и в ряде случаев изотермический. Также существует отжиг, при котором в стали никаких фазовых превращений не происходит. К таким отжигам относится низкий и рекристаллизационный.

Разновидностью отжига является нормализация, отличающаяся от полного отжига только повышенной скоростью охлаждения, то есть охлаждение осуществляется в атмосфере воздуха.

Диффузионный отжиг или гомогенизацию применяют для устранения химической неоднородности, возникающей при кристаллизации металла.

В результате диффузионного отжига металл приобретает крупное зерно, а в ряде случаев видманштеттову структуру. Видманштеттовая структура представляет собой структуру, которая состоит из крупных зерен феррита и перлита, при этом ферритные зёрна имеют вид длинных пластин или же игл, проходящие через зёрна перлита.

Полный отжиг применяется для уменьшения зерна, устранения видманштеттовой структуры, снижения твёрдости и прочности, что облегчает обработку резанием. При этом исходная крупнозернистая структура превращается в аустенит. Ограничение температуры нагрева связано с ограничением роста зерна.

Неполный отжиг отличается от полного тем, что сталь нагревают до более низкой температуры. Неполный отжиг, главным образом применяют для заэвтектоидных сталей. Нагрев до температуры выше A_{C1} от 10 до 30 °С приводит практически к полной перекристаллизации стали и получению зернистой формы перлита вместо обычной пластинчатой. Поэтому такой отжиг обычно называют сфероидизирующим [30].

Изотермический отжиг применяют для улучшения обрабатываемости конструкционных сталей.

Нормализация отличается от полного отжига более быстрым охлаждением в атмосфере воздуха. Применяется в основном в качестве промежуточной операции

для смягчения низкоуглеродистой стали перед обработкой резанием, а также для устранения цементитной составляющей в заэвтектоидных сталях.

Низкий отжиг проводится с целью снять внутренние напряжения в стали. Рекристаллизационный отжиг проводится с целью снятия наклёпа в стали.

Целью закалки стали является получение мартенситной структуры.

Способы и методы охлаждения при закалке определяются двумя важными составляющими. К первой относится такой параметр как прокаливаемость. Прокаливаемость определяет наибольшую глубину, на которую материал может закалиться при конкретном способе охлаждения. Второй не мало важной составляющей является уровень остаточных напряжения. Охлаждающую среду выбирают таким образом, чтобы внутренние напряжения были минимальными, но при этом прокаливаемость оставалась достаточно высокой.

Способы закалки определяются по методам охлаждения. Всего выделяются четыре основных метода:

- в одном охладителе;
- в двух охладителях;
- закалка изотермическая;
- закалка ступенчатая.

Распространённый способ закалки – это закалка в одном охладителе. Способ не имеет каких-то существенных особенностей. Он предельно простой и понятный в использовании. Как следует из названия, охлаждение происходит в одной охлаждающей среде. Такими охладителями могут быть вода, масло и воздух. Охладитель выбирается исходя из требований к стали и способности закаливаемости. Скорость охлаждения в воде выше, чем в масле или воздухе, поэтому часто возникает ситуация, когда в заготовке из-за избытка внутренних напряжений возникают трещины. Поэтому стоит выбрать другой охладитель, скорость охлаждения в котором будет ниже. Следующей охладитель после воды идёт масло. Скорость охлаждения в масле существенно ниже, что минимизирует или полностью предотвращает возникновение трещин. Может возникнуть другая проблема. Многие стали при охлаждении в масле попросту не закаливаются или закаляются,

но незначительно по сравнению с исходным материалом. В связи с этим применяется закалку в двух охладителях.

Метод закалки в двух охладителях также получил широкое распространение в промышленности. Особенность данного метода в том, что сначала заготовку погружают в один охладитель, а затем после некоторой задержки погружают в другой, скорость охлаждения в котором ниже. Суть заключается в том, что заготовка быстро проходит зону аустенита, при этом материал остаётся достаточно пластичным и значительных напряжений не возникает. Данный метод обеспечивает получение такой же твёрдости, как при закалке в воде, но при этом снижает риск возникновения трещин.

При ступенчатой закалке нагретую заготовку отправляют в ванну с расплавом щелочей гидроксидов калия и натрия, которая также нагрета до температуры выше начала образования мартенсита. После некоторой выдержки деталь охлаждают в масле или в воде. Выдержка проводится для стабилизации температур по сечению заготовки. Данный метод обеспечивает быстрое охлаждение стали в верхней температурной области, а благодаря выдержке, во время которой температура по сечению детали выравнивается, термические напряжения уменьшаются.

Твёрдость такая же, как и в предыдущих способах, но напряжения и вероятность образования трещин ещё меньше.

Изотермическая закалка проводится так же, как и ступенчатая, но в расплаве щелочей детали выдерживают более длительное время до полного распада аустенита на бейнит. При этом существенных напряжений не возникает, но твёрдость получается ниже, чем при других способах закалки. Преимуществом этого способа является то, что после него не требуется отпуск. Изотермическая закалка обычно применяется для деталей сложной формы, склонных к деформациям и образованию трещин [31].

Отпуск является заключительной операцией термической обработки стали. Целью отпуска может являться снятие внутренних напряжений или получение определённой структуры, обеспечивающей необходимый комплекс механических свойств.

Термическая обработка, состоящая из закалки с высоким отпуском, улучшающая общий комплекс механических свойств, получила название улучшение.

Таким образом, были рассмотрены основные виды и способы термической обработки сталей.

2.2 Влияние легирующих элементов на свойства сталей

Наличие легирующие элементы оказывает огромное влияние на свойства материала после термической обработки. В зависимости от качественного и количественного содержания легирующих элементов температура термообработки будет отличаться. Это объясняется тем, что температуры начало полиморфных превращений у одних легированных сталей могут существенно отличаться у других. Поэтому важно знать, какие элементы и в каком объёме оказывают влияние на температуры структурных превращений для корректного выбора температуры термообработки [32].

Легирующие элементы делятся на две группы в зависимости от их влияния на критические точки A_{C1} и A_{C3} , то есть температуры нагрева. Первая группа состоит из элементов, которые повышают критические точки. К таким элементам относятся Cu, V, W, Si, Mo, Ti, Nb. Вторая группа включает элементы, уменьшающие критические точки, например Mn и Ni. При выборе температуры термообработки также следует учитывать склонность аустенитного зерна к росту.

Легирующие элементы, кроме Mn, препятствуют росту аустенитного зерна при нагреве. Особое влияние оказывают элементы, которые образуют карбиды. К ним относятся Cr, Mo, W, V, Ti. Карбиды располагаются по границам зерна и затрудняют его рост при нагреве. Легированные стали за исключением марганцевых при термической обработке не склонны к перегреву. В связи с этим становится возможным нагревать их до более высоких температур, по сравнению с углеродистыми [33].

При закалке углеродистых сталей из переохлажденного аустенита образуется мартенсит. Влияние легирующих элементов на рост зерна аустенита при нагреве зависит от их способности образовывать карбиды при взаимодействии с углеродом. Элементы, не образующие карбиды, такие как Ni, Co, Si, и Cu, практически не препятствуют росту зерна аустенита, а элементы, образующие карбиды, такие как Cr, W, Mo, V и Ti, препятствуют росту зерна аустенита. Сохранение мелкозернистого состояния аустенита обусловлено высокой теплостойкостью карбидов, являющихся барьерами для перемещения границ зерна аустенита.

Влияние легирующих элементов на мартенситное превращение выражается в изменении температурного интервала этого превращения, что отражается на количестве остаточного мартенсита в закаленной стали. Степень влияние легирующих элементов на структуру стали представлена на рисунке 1.

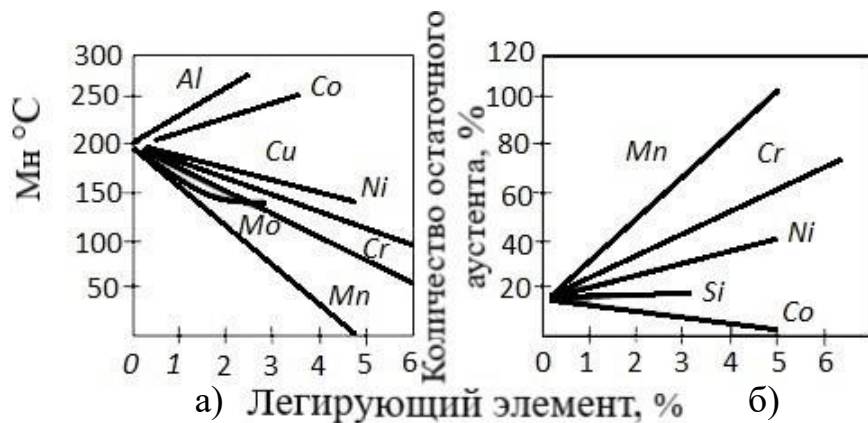


Рисунок 1 – Влияние легирующих элементов: а) – на температуру мартенситного превращения; б) – на количество остаточного аустенита в стали с 1,0 % углерода

Из рисунка 1 следует что, алюминий и кобальт повышают мартенситную точку и снижают количество остаточного аустенита, но большинство легирующих элементов такие как марганец, молибден, хром снижают мартенситную точку и увеличивают количество остаточного аустенита, что ухудшает качество стали после закалки. Для устранения остаточного аустенита такие стали после закалки обрабатываются холодом.

Марганец и хром при содержании до 1 % повышают ударную вязкость; при большей концентрации она снижается, достигая уровня нелегированного феррита примерно при 3 % Cr и 1,5 % Mn.

Большинство легирующих элементов измельчают зерно, что способствует повышению работы развития трещины и снижению порога хладноломкости. Наиболее сильно понижает порог хладноломкости и увеличивает сопротивление распространению трещины никель. Введение 1,0 % Ni снижает порог хладноломкости после термического улучшения стали от 60 до 80 °C. Остальные элементы, за исключением небольших добавок хрома, марганца и молибдена, повышают порог хладноломкости [34].

Таким образом, были выявлены отличительные особенности термообработки, легированной и нелегированной стали. В легированных сталях нагрев изделий производится с меньшей скоростью. Температура нагрева для получения аустенита при введении карбидообразующих элементов повышается. Из-за замедления процесса распада переохлаждённого аустенита, мелкозернистое состояние охлажденного изделия возможно со значительно меньшей скоростью и в более мягком охладителе. Увеличивается прокаливаемость сталей, что позволяет упрочнять закалкой крупные изделия во всем сечении.

Таким образом, были рассмотрены основные виды и способы термической обработки сталей.

3 Коррозия. Показатели коррозии

3.1 Виды коррозионного разрушения

Коррозия – это процесс самопроизвольного разрушения металлов и сплавов в результате физико-химического взаимодействия с окружающей средой.

Среда, в которой происходит разрушение металлов, называется коррозионной. Химические соединения, образующиеся в результате коррозии, называются продуктами коррозии.

Способность металлов сопротивляться коррозии воздушной среды называется коррозионной стойкостью. Коррозия металлов классифицируется по механизму и условиям протекания процесса и характеру коррозионного разрушения. Полная классификация коррозионных процессов представлена на рисунке 2.

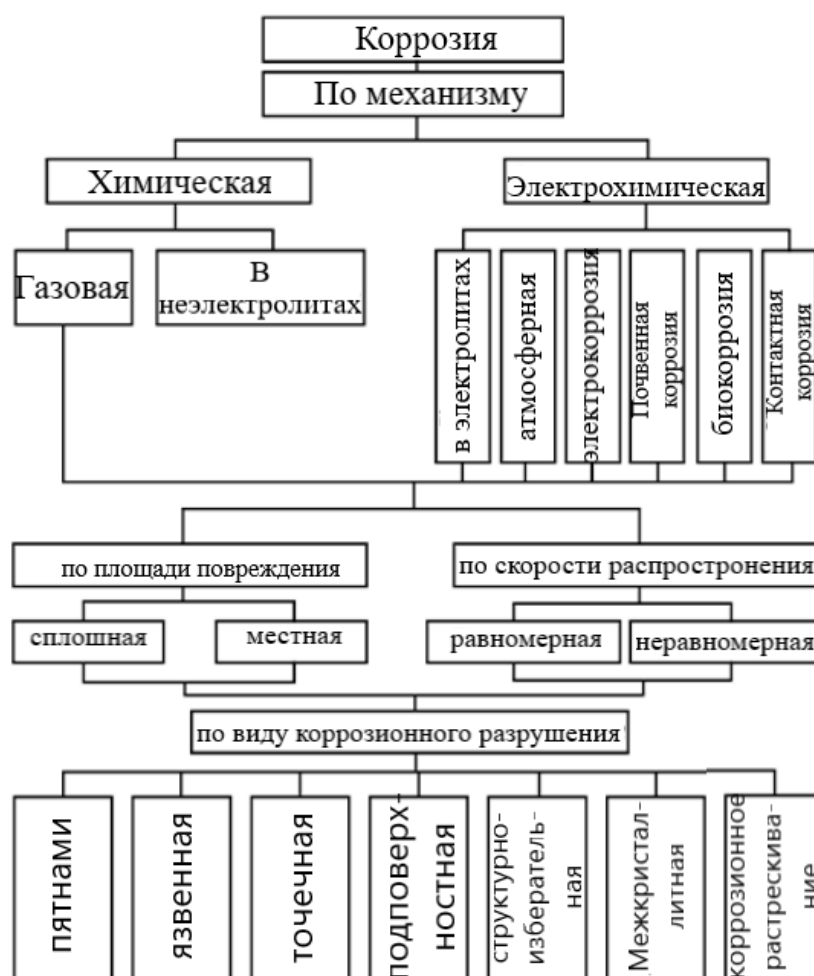


Рисунок 2 – Классификация коррозионных процессов

По механизму протекания коррозионного процесса, зависящему от характера внешней среды, с которой взаимодействует металл, различают химическую и электрохимическую коррозию.

При химической коррозии происходит такое взаимодействие металла и коррозионной среды, при котором окисление металла и восстановление окисленного компонента коррозионной среды протекают в одном акте. Это процесс, протекающий за счет гетерогенной химической реакции. По условиям протекания к этому виду относятся газовая коррозия и коррозия в неэлектролитах

При электрохимической коррозии происходит такое взаимодействие металла с коррозионной средой, при котором окисление металла и восстановление окисленного компонента коррозионной среды протекают не в одном акте. При этом виде коррозии одновременно протекают две реакции – окисления и восстановления, локализованные на определенных участках поверхности корродирующего металла.

При электрохимической коррозии процесс растворения металла сопровождается появлением электрического тока.

Электрохимическая коррозия протекает в электролитах – водных растворах солей, кислот, щелочей, в морской воде; в атмосфере любого влажного газа; в почве.

По виду коррозионной среды различают следующие случаи коррозии: газовая коррозия, атмосферная коррозия во влажной газовой или воздушной среде, коррозия в растворах электролитов, почвенная или подземная коррозия, биологическая коррозия [35].

По видам дополнительных воздействий различают следующие случаи коррозии: электрокоррозия под действием внешнего источника тока, контактная коррозия металлов

Зона распространения контактной коррозии определяется неравномерностью распределения электролита на поверхности конструкций и его электропроводностью.

При атмосферной коррозии сплошная пленка влаги (электролита) обычно очень тонка, неравномерно распределяется по поверхности конструкций и, следовательно, характеризуется значительным электросопротивлением. В связи с этим протяженность зоны коррозии составляет от десятых долей миллиметра до нескольких миллиметров от непосредственной границы контакта между разнородными металлами.

По характеру коррозионного разрушения различают сплошную (общую), местную и коррозионное растрескивание.

Сплошная (общая) коррозия охватывает всю поверхность металла, находящуюся под воздействием агрессивной среды, и может быть равномерной, например, коррозия углеродистой стали в растворах серной кислоты, и неравномерной, например, коррозия этой же стали в присутствии ионов хлора.

Неравномерная коррозия более опасна, чем равномерная, так как вызывает в отдельных местах значительное уменьшение толщины металла.

Сплошная коррозия характерна для стали, алюминия, цинковых и алюминиевых защитных покрытий в любых средах, в которых коррозионная стойкость данного материала или металла покрытия недостаточно высока.

Местная коррозия охватывает отдельные участки поверхности металла. Она подразделяется на коррозию пятнами, коррозию язвами и питтинговую коррозию.

Коррозия пятнами занимает относительно большие участки поверхности и распространяется неглубоко. Данный вид коррозии характерен для алюминия, алюминиевых и цинковых покрытий

Коррозию язвами поражает металл на большую глубину и на ограниченной площади. Данная разновидность местной коррозии характерна для углеродистых и низкоуглеродистых сталей, применяемых для изготовления конструкций, эксплуатируемых в жидких средах и грунтах.

Язвенная коррозия низколегированной стали в атмосферных условиях чаще всего связана с неблагоприятной структурой металла, т.е. с повышенным количеством неметаллических включений, в первую очередь сульфидов с высоким содержанием марганца.

Язвенная коррозия обычно сопровождается образованием толстых слоев продуктов коррозии, покрывающих всю поверхность металла вокруг отдельных крупных язв (характерно для коррозии незащищенных стальных конструкций в грунтах).

Язвенная коррозия листовых конструкций, а также элементов конструкций из тонкостенных труб и прямоугольных элементов замкнутого сечения со временем приводит к образованию отверстий в стенках толщиной до нескольких миллиметров. Язвы являются острыми концентраторами напряжений и могут оказаться инициаторами зарождения усталостных трещин и хрупких разрушений.

Межкристаллитную коррозию – коррозию по границам кристаллитов металла; распространяется на обширной поверхности металла и на большую глубину. Этот вид коррозии опасен тем, что внешний вид металлического изделия не изменяется, но при этом металл теряет прочность и пластичность. Межкристаллитная коррозия характерна для нержавеющей стали и упрочненных алюминиевых сплавов.

Таким образом, была рассмотрена основная классификация коррозионного воздействия на металлические изделия.

3.2 Основные показатели коррозионных процессов

Стандартные методы испытаний для изучения коррозионных процессов подразделяются на полевые, натурные и лабораторные. Первые два типа испытаний проводят в естественных условиях, они требуют длительного времени (месяцы) и различаются тем, что в первом случае о коррозионной стойкости материала судят по поведению образцов, устанавливаемых в интересующие узлы эксплуатирующегося оборудования, а во втором – испытаниям подвергают опытные образцы конструкций.

В лабораторных условиях скорость коррозии определяется по изменению какого-либо показателя процесса во времени. Наиболее часто используемыми по-

казателями коррозии являются: изменение массы образца, глубинный показатель скорости коррозии, показатель степени поражения поверхности, очаговый показатель, питтинговый индекс. ГОСТ 9.908 – 85 определяет следующие показатели коррозии:

Гравиметрический показатель скорости коррозии

$$K_{\text{гр}} = \frac{(m - m_0)}{S \cdot \tau}, \quad (1)$$

где m – конечная масса образца, г;

m_0 – масса образца до коррозии, г;

S – площадь поверхности образца, м^2 ;

τ – время испытания, ч. Величина $K_{\text{гр}}$ измеряется в $\text{г}/(\text{м}^2 \text{ ч})$.

Если m больше чем m_0 , то продукты коррозии остаются на поверхности образца, если m меньше чем m_0 , то металл разрушается.

По потерям массы можно оценивать коррозионную стойкость металла в баллах, предполагая, что металл разрушается равномерно. Метод определения скорости коррозии по потерям массы имеет ряд недостатков: трудно полностью удалить все продукты коррозии, не затрагивая основной металл.

Глубинный показатель скорости коррозии Π характеризует среднюю глубину разрушения металла h в единицу времени τ :

$$\Pi = \frac{h}{\tau}, \quad (2)$$

где Π – глубинный показатель коррозии, $\text{мм}/\text{год}$;

h – средняя глубина разрушения металла, мм ;

τ – время разрушения металла, год .

Для удобства технических расчетов в справочной литературе величина Π измеряется в $\text{мм}/\text{год}$.

Глубинный показатель скорости коррозии Π связан с гравиметрическим показателем скорости коррозии $K_{\text{гр}}$ следующим соотношением:

$$\Pi = \frac{K_{\text{гр}}}{\rho} 8,76, \quad (3)$$

где ρ – плотность корродирующего металла, г/см³;

коэффициент 8,76 учитывает перевод единиц измерения;

$K_{\text{гр}}$ – гравиметрический показатель коррозии, г/м² ч.

Одна и та же потеря массы на единицу площади легкого металла, например, алюминия, соответствует большей глубине проникновения коррозии, чем для тяжелых металлов, например, свинца. По глубинному показателю коррозии оценивают коррозионную стойкость металла, пользуясь десятибалльной шкалой.

В случае проведения электрохимических исследований скорость протекания коррозионного процесса пропорциональна анодной плотности тока растворения металла, которая связана с гравиметрическим показателем скорости $K_{\text{гр}}$ соотношением:

$$i_A = \frac{K_{\text{гр}}}{q_{\text{Ме}}}, \quad (4)$$

где i_A – анодная плотность тока коррозии металла, А/м²;

$q_{\text{Ме}}$ – электрохимический эквивалент металла, г/А·ч).

Электрохимический коэффициент металла $q_{\text{Ме}}$ равен:

$$q_{\text{Ме}} = \frac{A_M}{zF}, \quad (5)$$

где A_M – атомная масса металла, г;

z – валентность ионов (для атома $z = 1$);

F – число Фарадея $F = 26,8 \text{ А} \cdot \text{ч/моль}$ (96000 Кл/моль).

Объемный показатель коррозии K_V определяет объем поглощенного или выделившегося в процессе коррозии газа ΔV , приведенного к нормальным условиям, отнесенный к единице поверхности металла и единице времени ($\text{см}^3 / \text{см}^2 \text{ ч}$)

$$K_V = \frac{\Delta V}{S_\tau}, \quad (6)$$

$$\Delta V = \frac{V273(p - p_{H_2O})}{760(t + 273)}, \quad (7)$$

где V – объем выделившегося водорода или поглощенного кислорода при температуре t , см^3 ;

p – атмосферное давление, мм рт. ст.;

p_{H_2O} – давление насыщенного водяного пара при данной температуре, мм рт. ст.;

t – температура, $^{\circ}\text{C}$.

Связь между гравиметрическим и объемным показателем коррозии может быть выражена следующим образом:

$$K_{\text{гр}} = \frac{K_V q_{\text{Me}}}{q_V}, \quad (8)$$

Электрохимический эквивалент газа:

$$q_V = \frac{\nu V_m}{nF}, \quad (9)$$

где ν – число молей газа, моль;

V_m – молярный объем газа, равный при нормальных условиях $22,4 \text{ л/моль}$;

n – число моль электронов, моль.

q_V – Электрохимический эквивалент газа, см³/А·ч.

Показатель степени поражения поверхности определяется по формуле:

$$K_S = \frac{S_{\text{корр}}}{S} \cdot 100\%, \quad (10)$$

где $S_{\text{корр}}$ – площадь прокорродировавших участков, которая определяется с помощью сетки квадратов;

S – площадь образца металла.

Для качественной и количественной оценки коррозионной стойкости металлов и средств защиты в определенных условиях пользуются наиболее распространенной десятибалльной шкалой коррозионной стойкости металла, представленной в таблице 3. При грубой оценке коррозионной стойкости металлов необходимо руководствоваться группами стойкости, а при более точной оценке – баллами.

Таблица 3 – Десятибалльная шкала коррозионной стойкости металла

Группа стойкости	Скорость коррозии металлов, мм/год	Балл
Совершенно стойкие	Менее 0,001	1
Весьма стойкие	Свыше 0,001 до 0,005	2
	Свыше 0,005 до 0,01	3
Стойкие	Свыше 0,01 до 0,05	4
	Свыше 0,05 до 0,1	5
Пониженностойкие	Свыше 0,1 до 0,5	6
	Свыше 0,5 до 1,0	7
Малостойкие	Свыше 1,0 до 5,0	8
	Свыше 0,5 до 10,0	9
Нестойкие	Свыше 10	10

Таким образом, были рассмотрены основные методы испытаний и методы определения коррозионной стойкости, которые будут применяться для исследования эксплуатационных свойств.

4 Исследуемый материал

4.1 Обоснование выбора материала

Для крепежных изделий применяются 11 классов прочности. Чтобы конечная продукция соответствовала их требованиям, заводы-производители руководствуются нормами, приведёнными в ГОСТ 33260 – 2015.

В качестве материала используют стали самых различных марок, как нелегированные и низколегированные, так и высоколегированные стали.

Наиболее распространёнными материалами для производства крепёжных изделий являются легированные стали, в особенности легированные хромом и никелем. Также особой популярностью пользуются нержавеющие стали. Эти стали по своему химическому составу и механическим свойствам подразделяются на несколько групп.

Стали нержавеющие аустенитные. Антикоррозионные свойства аустенитных сталей продуцируют входящие в их состав элементы Cr от 15 до 20 % и Ni от 5 до 15 %. Металл такого типа хорошо сваривается, отлично переносит горячую и холодную обработку. Аустенитная сталь, в свою очередь, бывает нескольких разновидностей. К таким сталям относятся: 12X18H10, 03X18H11, 08X17H13M2T и другие.

Мартенситные нержавеющие стали более твердые по сравнению с аустенитными сталями. Упрочнение мартенситных сталей осуществляется закалкой, после которой следует технологический процесс отпуска. Наиболее популярны следующие марки мартенситной нержавеющей стали: X9M, 15X11MФ, 10X9MФБ, 18X11MНФБ и некоторые другие.

Стали нержавеющие ферритные. Эти стали характеризуются низким содержанием углерода. Поэтому по сравнению предыдущим вариантом металла они значительно мягче. Отечественной металлургией выпускаются следующие марки ферритных сталей: 12X17, 12X13, 08X13 и другие.

В работе исследуется жаропрочная хромистая сталь 20X13 и жаропрочная, высококачественная, хромомолибденовая сталь 30ХМА.

Сталь 20X13 – жаропрочная хромистая сталь мартенситного класса. Химический состав по ГОСТ 5632 – 2014 представлен в таблице 4 [36]. Требуемые свойства стали 20X13 в состоянии поставки представлены в таблице 5.

Таблица 4 – Химический состав стали 20X13

Хим. элемент	C	Si	Mn	Cr	S	P
Значение, %	0,16...0,25	не более 0,8	не более 0,8	12,0...14,0	не более 0,025	не более 0,030

Таблица 5 – Механические свойства стали 20X13 в состоянии поставки

Параметры	Предел прочности σ_B , МПа	Относительное удлинение δ , %	Твердость НВ	Ударная вязкость КСU, Дж/см ²
Значение	490,0	20,0	126...197	61,0...171,0

Сталь 20X13 обладает ограниченной свариваемостью, не чувствительна к образованию флокенов и склонна к отпускной хрупкости.

Углерод занимает от 0,16 до 0,25 % общего состава. Сильно влияет на прочностные и технологические характеристики стали. Карбиды железа обладают повышенной твердостью, а также они делают возможным упрочнение стали за счет проведения термической обработки. Обратным эффектом такого легирования является ухудшение пластичных свойств и свариваемости.

Хром от 12,0 до 14,0 % повышает износостойкость стали благодаря образованию на его поверхности оксидов хрома. Помимо этого, он благоприятно воздействует на способность металла к термическому упрочнению, увеличивает сопротивление к образованию коррозии. Стали, легированные хромом, лучше переносят нагрузку в условиях повышенных температур. Однако существует и негативное проявление данного элемента. Хром увеличивает вероятность появления

отпускной хрупкости, что требует тщательного подхода к выбору режима термической обработки.

Кремний и марганец – обязательные добавки для стали. Они являются главными раскислителями и способствуют удалению кислорода из ее состава. Их концентрация регламентируется ГОСТ 5632 – 2014. Помимо этого, данные компоненты хорошо влияют на технологические свойства, такие как пластичность и свариваемость. Марганец, кроме всего прочего, оказывает положительное воздействие на чистоту поверхности.

Сталь 30ХМА является жаропрочной, высококачественной, релаксационно-стойкой, хромомолибденовой. Применяется для изготовления крепёжных деталей с рабочей температурой до 450 °С.

Химический состав стали 30ХМА по ГОСТ 4543 – 2016 приведён в таблице 6 [37].

Таблица 6 – Химический состав стали 30ХМА ГОСТ 4543 – 2016

Хим. элемент	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Cu
Значение, %	0,26... 0,34	0,17...0,37	0,4...0,7	до 0,3	до 0,035	до 0,035	0,8...1,1	0,15... 0,25	до 0,3

В сталь вводят хром и молибден для того, чтобы повысить надёжность стали. Также данные химические элементы повышают границу рабочих температур изделий из стали 30ХМА до 450 °С.

Сплав этой марки отличается медленной ползучестью и высокой упругостью, а химические соединения обеспечивает устойчивость к коррозионному воздействию.

Таким образом, был обоснован выбор материалов применяемых для изготовления крепёжных изделий. Был приведён химический состав сталей 20Х13 и 30ХМА, а также рассмотрено влияния легирующих элементов на свойства исследуемых материала.

4.2 Структурные превращения стали 30ХМА при термической обработке

Сталь 30ХМА относится к классу перлитных сталей. При нагреве до температуры 757°C (A_{c1}) структура сплава составляет феррито-перлит. Как только пройдена точка A_{c1} на границах зерен перлита начинает зарождаться аустенит. Так как сталь 30ХМА доэфектоидная, нагрев производится выше точки начала аустенитного превращения (A_{c3}). Для данной стали это точка соответствует температуре 807°C .

Для получения мартенситной структуры необходимо переохладить аустенит до температуры мартенситного превращения. В результате такой обработки получается мартенсит закалки с малым содержанием остаточного аустенита.

При высоких нагревах в углеродистых сталях происходят изменения структуры, не связанные с фазовыми превращениями. Изменяется форма, размера карбидов и структура феррита. Происходит коагуляция – кристаллы цементита укрупняются и приближаются к сферической форме. Изменения структуры феррита осуществляются, начиная с температуры 400°C . При этом уменьшается плотность дислокаций, устраняются границы между пластинчатыми кристаллами феррита, таким образом их форма приближается к равновесию. В результате снимается фазовый наклеп, возникший при мартенситном превращении.

Таким образом, были выявлены структурные изменения, протекающие в стали 30ХМА при термической обработке, которые помогут в дальнейшем исследовании.

4.3 Режимы термической обработки и свойства стали 30ХМА, регламентируемые нормативной документацией

Температуры критических точек хромомолибденовой стали 30ХМА составляют: $A_{c1} = 757^{\circ}\text{C}$, $A_{c3}(A_{cm}) = 807^{\circ}\text{C}$, $A_{r3}(A_{rcm}) = 763^{\circ}\text{C}$, $A_{r1} = 693^{\circ}\text{C}$.

Согласно ГОСТ 4543 – 2016 для достижения требуемых механических свойств представленных в таблице 7 требуется провести термическую обработку стали 30ХМА заключающаяся в закалке до температуры 880 °С с последующем охлаждением в масле и отпуске при температуре 540 °С с охлаждением в воде или масле.

Таблица 7 – Механические свойства материала 30ХМА ГОСТ 4543 – 2016

Параметры	Предел текучести σ_t , МПа	Твёрдость НВ,	Предел прочности σ_B , МПа	Относительное удли- нение δ_5 , %,	Относительное суже- ние ψ , %	Ударная вязкость KCU , Дж/см ²
Значение	735	не более 229	930	12	50	88

По ГОСТ 23304 – 78 для достижения требуемых свойств заготовки из стали 30ХМА представленных в таблице 8 соответствующий категории прочности 490 единиц диаметром до 100 мм. проводится термическая обработка, включающая в себя закалку при температуре от 870 до 890 °С в воде или масле и отпуск с температурой 540 °С. Согласно тому же госту для достижения требуемых свойств заготовки из стали 30ХМА соответствующий категории прочности 640 единиц диаметром до 300 мм. проводится термическая обработка, включающая в себя закалку при температуре от 870 до 890 °С в воде или масле и отпуск с температурой 680 °С.

ГОСТ 20700 – 75 для получения требуемых свойств болтов и шпилек, из стали 30ХМА, регламентирует применения термической обработки, которая включает в себя закалку при температуре от 870 до 890 °С с охлаждением в воде или в масле и отпуск с температурой от 540 до 620 °С также с охлаждением в воде или в масле. Механические свойства после такой термической обработки представлены в таблице 9.

Таблица 8 – Механические свойства стали 30ХМА ГОСТ 23304 – 78

Параметры	Категория прочности КП	Условный предел текучности $\sigma_{0,2}$	Твёрдость НВ	Предел прочности σ_B , МПа	Относительное удлинение δ_5 , %	Относительное сужение ψ , %	Ударная вязкость KCU , Дж/см ²
Значение	49	490...637	197...241	588	15	40	59
	64	637...813	229	784	13	42	49

Таблица 9 – Механические свойства стали 30ХМА ГОСТ 20700 – 75

Параметры	Диаметр заготовки	Твёрдость НВ	Условный предел текучности $\sigma_{0,2}$ МПа	Предел прочности σ_B , МПа	Относительное удлинение δ_5 , %	Относительное сужение ψ , %	Ударная вязкость KCU , Дж/см ²
Значение	до 100	229...277	637...784	784	13,0	42,0	49
	Св. 100 до 300				12,0	38,0	

Согласно СТ ЦКБА 026 – 2005 для достижения требуемых свойств заготовки из стали 30ХМА проводится термическая обработка, включающая в себя закалку при температуре от 860 до 880 °С в воде или в масле и отпуск на воздухе, зависящий от диаметра заготовки. Для диаметра до 80 мм проводят отпуск при температуре от 540 до 600 °С на твёрдость от 229 до 286 НВ, для диаметра 120 мм отпуск при температуре от 620 до 640 °С на твёрдость от 223 до 262 НВ, для диаметра 300 мм. отпуск при температуре от 640 до 660 °С на твёрдость от 187 до 229 НВ. Другие свойства данного материала представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Механические свойства материала 30ХМА СТ ЦКБА 026–2005

Параметры	Температура отпуска °C	Диаметр заготовки мм	Твёрдость НВ	Условный предел те- кучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Предел прочности σ_B , МПа	Относительное удли- нение δ_5 , %	Относительное суже- ние, ψ , %	Ударная вязкость KCU , Дж/см ²
Значения	540...600	80	229...286	640...785	880	13	42	59
	620...640	120	223...262	540	813	16	40	39
	640...660	300	187...229	395	590	15	40	39

Наглядный обзор нормотехнической документации по термической обработке стали 30ХМА представлен в приложении Б в таблице А 1. Из приложения следует, что ГОСТ 23304 – 78 и ГОСТ 20700 – 75 при схожих режимах термической обработки требуют разные свойства. Данный случай подтверждает похожую проблематику, рассмотренную в бакалаврской работе на примере стали 20Х13, в нормотехнической документации которой также имелись различия в получаемых свойствах при схожих режимах термической обработки.

Таким образом, был проведён анализ нормотехнической документации и выявлено, что разные стандарты при одинаковых режимах термической обработки требуют разные свойства, например, при практически одинаковых режимах термообработки ГОСТ 23304 – 78 и ГОСТ 20700 – 75 имеют различия по пределу текучести, который составляет от 490 до 637 МПа и от 637 до 784 МПа соответственно. Также имеется расхождение по минимальному значению предела прочности, которое составляет 588 МПа и 784 МПа. Расхождения наблюдаются и по твёрдости. В ГОСТ 23304 – 78 твёрдость принимает значения от 197 до 241 НВ, в то время как по ГОСТ 20700 – 75 твёрдость регламентируется в пределах от 229 до 277 НВ. Такие различия в механических свойствах могут вызвать определённые проблемы при выборе режимов термической обработки.

5 Методы исследования

5.1 Микроструктурное исследование

Микроструктурный анализ – метод исследования структуры металлов и сплавов методами оптической, просвечивающей электронной (ПЭМ) и растровой электронной (РЭМ) микроскопии на специально приготовленных образцах. Микроструктура показывает размер, форму и характер взаимного расположения фаз в металлах и сплавах. Проведение микроструктурного анализа регламентирует ГОСТ 5640 – 2020 [38].

Микроанализ состоит из приготовления микрошлифа и исследования его под микроскопом. Основной структурой составляющей материалы являются зёрна. Микроскопические методы дают возможность определить размеры и форму кристаллов, наличие различных по своей форме кристаллов, их распределение и относительные объёмные количества, форму инородных включений и микропустот и др. Величина зерна поликристаллических материалов является одной из важных характеристик структуры и определяет большинство физико-механических свойств материалов.

Образец металла, приготовленный специальным способом для исследования его структуры под микроскопом, называется микрошлифом. Методика подготовки микрошлифов включает в себя такие операции, как заторцовка, шлифование, полирование и травление.

При заторцовке с помощью напильника одна из поверхностей образца опиливается на плоскость. Зачистка может быть произведена на наждачном круге.

Шлифование заключается в обработке полученной плоскости на наждачной бумаге, начиная с крупных и кончая мелкими абразивными зёрнами.

Полирование осуществляется на вращающемся плоском круге, покрытом сукном (войлоком). Круг смачивается водой с очень мелким абразивным порошком и приводится в быстрое вращение. Шлиф слегка прижимается к кругу. Поли-

рование считается законченным, если удалены все риски и поверхность становится зеркальной.

Перед травлением отполированный образец следует проверить при помощи микроскопа на наличие поверхностных дефектов и неметаллических включений. Если при увеличении не было обнаружено никаких дефектов, то полученный микрошлиф допускается до дальнейших исследований микроструктуры.

Для выявления микроструктуры полированную поверхность шлифа подвергают травлению различными химическими реактивами. Образец погружают в раствор полированной поверхностью книзу, или втирают реактив ватой, или смачивают поверхность образца из капельницы либо пипетки.

В качестве травителей используют различные спирты, а также неразведенные кислоты. Кислоты, щелочи, соли и органические растворители должны быть высокой степени чистоты, так как при загрязнении меняется скорость и исход травления.

Для выявления общей микроструктуры используют растворы азотной или пикриновой кислот в спирте или воде [39].

Для травления стали 30ХМА применяется 4 % спиртовой раствор азотной кислоты HNO_3 . Нанесение раствора осуществляется методом смачивания поверхности шлифа, с последующим удалением реактива при помощи фильтровальной бумаги.

Таким образом, были рассмотрены основы микроструктурного анализа и этапы подготовки образцов. Также был выбран реактив и метод травления.

5.2 Исследование механических свойств

Механические свойства металлов (прочность, упругость, пластичность, вязкость), как и другие свойства, являются исходными данными при проектировании и создании различных конструкций.

Методы определения механических свойств металлов делятся на следующие группы:

- статические, когда нагрузка возрастает медленно и плавно;
- динамические, когда нагрузка возрастает с большой скоростью;
- циклические, когда нагрузка многократно изменяется (испытание на усталость);

В данной работе исследуются, прочность, твёрдость и ударная вязкость и для определения этих свойств будут применены соответствующие стандартные методы исследования.

5.2.1 Испытание на равноостное растяжение

Для определения прочности и пластичности проводились испытания на равноостное растяжение образцов по методике, приведённой в ГОСТ 1497 – 84 [40].

Определяют следующие механические свойства:

- временное сопротивление или предел прочности σ_B ;
- предел текучести σ_T или условный предел текучести $\sigma_{0,2}$;
- относительное удлинение δ_5 ;
- относительное сужение ψ .

Относительное удлинение рассчитывается по формуле [40].

$$\delta_5 = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100, \quad (11)$$

где δ_5 – относительное удлинение, %;

L_u – длина после разрушения, мм;

L_0 – длина до разрушения, мм.

Относительное сужение рассчитывается по формуле [40].

$$\psi = \frac{S_0 - S_u}{S_0}, \quad (12)$$

где ψ – относительное сужение, %;

S_0 – площадь поперечного сечения до начала испытания, мм²;

S_u – площадь поперечного сечения после испытания, мм².

При испытании на растяжение необходимо использовать подготовленный образец, показанный на рисунке 3.

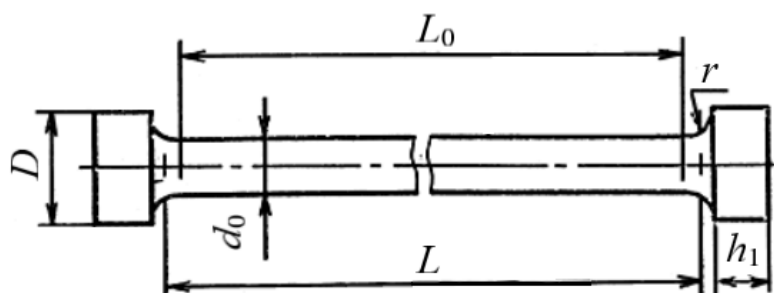


Рисунок 3 – Схема образца для испытаний на равноостное растяжение ГОСТ 1497 – 84: d_0 – диаметр рабочей части образца; L_0 – длина исследуемой части образца; L – длина цилиндрической части образца; r – радиус галтели; h_1 – длина головки образца; D – диаметр головки образца

Скорость нагружения, определяемая свободно движущимся ползуном, не должна превышать 25 мм/мин. Зажимы разрывной машины должны быть самоцентрирующимися во избежание бокового нагружения образца.

Разрывные и универсальные испытательные машины должны соответствовать требованиям ГОСТ 28840 – 90 [41]. Штангенциркули должны соответствовать требованиям ГОСТ 166 – 89 [42]. Микрометры должны соответствовать требованиям ГОСТ 6507 – 90 [43]. Тензометры должны соответствовать требованиям нормативно-технической документации.

Образцы рекомендуется изготавливать на металлорежущих станках. При изготовлении образцов принимают меры (охлаждение, соответствующие режимы

обработки), исключаяющие возможность изменения свойств металла при нагреве или наклепе, возникающих в результате механической обработке

Для испытания на растяжение применяют пропорциональные цилиндрические или плоские образцы диаметром или толщиной в рабочей части 3,0 миллиметра и более с начальной расчетной длиной l_0 , вычисляемой по формулам [40]

$$l_0 = 5,65\sqrt{F_0}, \quad (13)$$

$$l_0 = 11,3\sqrt{F_0}, \quad (14)$$

где l_0 – начальная расчётная длина;

F_0 – площадь поперечного сечения образца.

Форма и размеры головок и переходных частей цилиндрических и плоских образцов определяются способом крепления образцов в захватах испытательной машины. Способ крепления должен предупреждать проскальзывание образцов в захватах, смятие опорных поверхностей, деформацию головок и разрушение образца в местах перехода от рабочей части к головкам и в головках.

Предельные отклонения по толщине плоских образцов с механически не обработанными поверхностями должны соответствовать предельным отклонениям по толщине, установленным для металлопродукции.

Рабочая длина образцов должна составлять:

- от $l_0 + 0,5d_0$ до $l_0 + 2d_0$ – для цилиндрических образцов;
- от $l_0 + 1,5\sqrt{F_0}$ до $l_0 + 2,5\sqrt{F_0}$ – для плоских образцов.

При разногласиях в оценке качества металла рабочая длина образцов должна составлять:

- $l_0 + 2d_0$ – для цилиндрических образцов;
- $l_0 + 2\sqrt{F_0}$ – для плоских образцов.

При определении предела пропорциональности и пределов текучести условных с допусками на величину пластической или полной деформации при нагружении или остаточной деформации при разгрузении до 0,1 % относитель-

ная цена деления шкалы тензомера не должна превышать 0,005 % от начальной расчетной длины по тензомеру; при определении предела текучести условного с допуском на величину деформации от 0,1 до 1 % – не должна превышать 0,05 % от начальной расчетной длины по тензомеру. Линейки металлические должны соответствовать требованиям ГОСТ 427 – 75 [44].

5.2.2 Исследование твёрдости

Исследование твёрдости проводится на специальном оборудовании, называемом твердомером. Существует три шкалы измерения твёрдости. Измерение твердости по Виккерсу, которое регламентируется ГОСТ 2999 – 75 [45], по Бринеллю – ГОСТ 9012 – 59 [46], по Роквеллу – ГОСТ 9013 – 59 [47].

Измерение твёрдости в данной работе будет производиться по Бринеллю и соответственно по ГОСТ 9012 – 59.

Толщина образца должна не менее чем в 8 раз превышать глубину отпечатка. Глубина отпечатка h определяется по формуле [46]:

$$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}, \quad (15)$$

где h – глубина отпечатка, мм;

D – диаметр стального шарика, мм;

d – диаметр отпечатка, мм.

Твердость по Бринеллю HB численно равна отношению приложенного усилия к площади сферического отпечатка.

Для стального шарика, если нагрузка выражена в ньютонах число твёрдости вычисляют по формуле [46]:

$$HB = \frac{0,100F}{A} = \frac{0,102 \cdot 2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (16)$$

где HB – значение твёрдости по Бринеллю;

F – нагрузка, приложенная к стальному шарiku, Н;

A – площадь поверхности сферического отпечатка, мм^2 ;

D – диаметр стального шарика, мм;

d – диаметр отпечатка, мм.

Если нагрузка выражена в килограмм-силах число твёрдости вычисляется по формуле [46]:

$$HB = \frac{F}{A} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}. \quad (17)$$

Твердость по Бринеллю обозначают символом HB , которому предшествует числовое значение твердости из трех значащих цифр, и после символа указывают диаметр шарика, значение приложенного усилия в килограмм-силах, продолжительность выдержки, если она отличается от 10 до 15 секунд. Измерение твёрдости может проводится как на подготовленных образцах, так и на самих изделиях.

5.2.3 Испытание на ударную вязкость

Определение ударной вязкости должно проводиться по ГОСТ 9454 – 78 на образцах с U -образным надрезом. Образец для испытания вырезается из заготовок стали в продольном направлении. Стандартные образцы имеют размеры 10×55 мм, площадь сечения в месте концентратора вида U $0,8 \text{ мм}^2$ [48].

Общей вид образца для испытания на ударный изгиб по ГОСТ 9454 – 78 показан на рисунке 4.

Исследования на ударный изгиб проводили на образцах размером 10×55 мм, площадь сечения в месте концентратора вида U $0,8 \text{ мм}^2$.

Для проведения испытания используют маятниковые копры, требования к которым устанавливаются ГОСТ 10708 – 82 [49]. Скорость движения маятника в момент удара должна быть:

- $(5 \pm 0,5)$ м/с – для копров с номинальной потенциальной энергией маятника 50 (5,0); 150 (15); 300 (30,0) Дж (кгс·м);
- $(4 \pm 0,25)$ м/с – для копров с номинальной потенциальной энергией маятника 25 (2,5); 15 (1,5); 7,5 (0,75) Дж (кгс·м);
- $(3 \pm 0,25)$ м/с – для копров с номинальной потенциальной энергией маятника 5,0 (0,5) Дж (кгс·м) и менее.

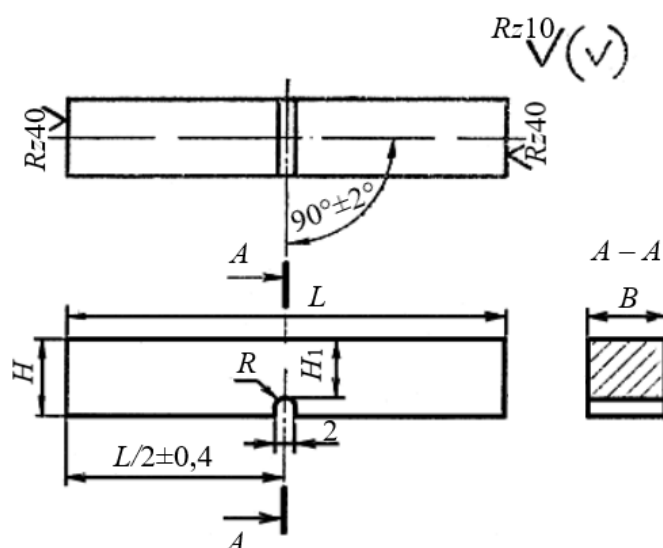


Рисунок 4 – Образец с концентратором виду U ГОСТ 9454 – 78: L – длина образца; B – толщина образца; H – высота образца; R – радиус концентратора; H_1 – высота рабочего сечения

Допускается применять копры с другой номинальной потенциальной энергией маятника. При этом номинальное значение потенциальной энергии маятника должно быть таким, чтобы значение работы удара составляло не менее 10 % от номинального значения потенциальной энергии маятника.

Таким образом, были рассмотрены основные механические свойства и методы испытания, по которым будут проводиться соответствующие исследования.

5.3 Испытание на коррозионную стойкость стали 20X13

Наиболее применимым стандартом для исследования межкристаллитной коррозии нержавеющей сталей является ГОСТ 6032 – 2017 [50]. Он устанавливает методы испытаний на стойкость против межкристаллитной коррозии металлопродукции из коррозионностойких сталей.

Представленный стандарт определяет следующие условия испытания стали на стойкость к межкристаллитной коррозии. Методика включает в себя выдержку при температуре 80 °C в течении 48 часов в растворе сульфата меди CuSO_4 , серной кислоты H_2SO_4 и азотной кислоты HNO_3 . Раствор готовится в следующих пропорциях: 22 мл. концентрированной азотной кислоты, 38 мл. концентрированной серной кислоты, 220 г. сульфата меди и 1 л. воды H_2O .

На основании приведённой методики было решено провести 2 цикла испытаний продолжительностью по 48 часов каждый.

Таким образом, была определена методика испытания на стойкость к межкристаллитной коррозии хромистой стали 20X13.

6 Экспериментальная часть

6.1 Образцы и оборудование для исследования

В магистерской работе проводится исследование зависимости механических свойств стали 30ХМА и коррозионной стойкости стали 20Х13 от предлагаемых режимов термической обработки.

Для достижения задач, поставленных в выпускной работе, исследовались образцы из стали 30ХМА в состоянии поставки, после закалки и после отпуска. Образцы из стали 20Х13 исследовались после закалки и после отпуска.

Сталь 30ХМА в основном применима для изготовления болтов и шпилек, поэтому исследование свойств и выбор температур термической обработки проводилось по нормотехнической документации относящейся к шпилькам и болтам. Для шпилек учитывались требования по ГОСТ 20700 – 75. Для болтов учитывались требования ГОСТ 4543 – 2016. Также учитывались требования отраслевого стандарта СТ ЦКБА 026 – 2005.

Исследование микроструктуры проводилось с помощью металлографического цифрового микроскопа *Altami MET 6C* представленного на рисунке 6. Это прямой микроскоп отраженного света для работы по методам светлого поля и поляризации.

Перед началом проведения исследований был сделан микрошлиф из заготовки стали 30ХМА в состоянии поставки без термической обработки. Микроструктура такой стали представлена на рисунке 6.



Рисунок 6 – Металлографический цифровой микроскоп *Altami MET 6C*

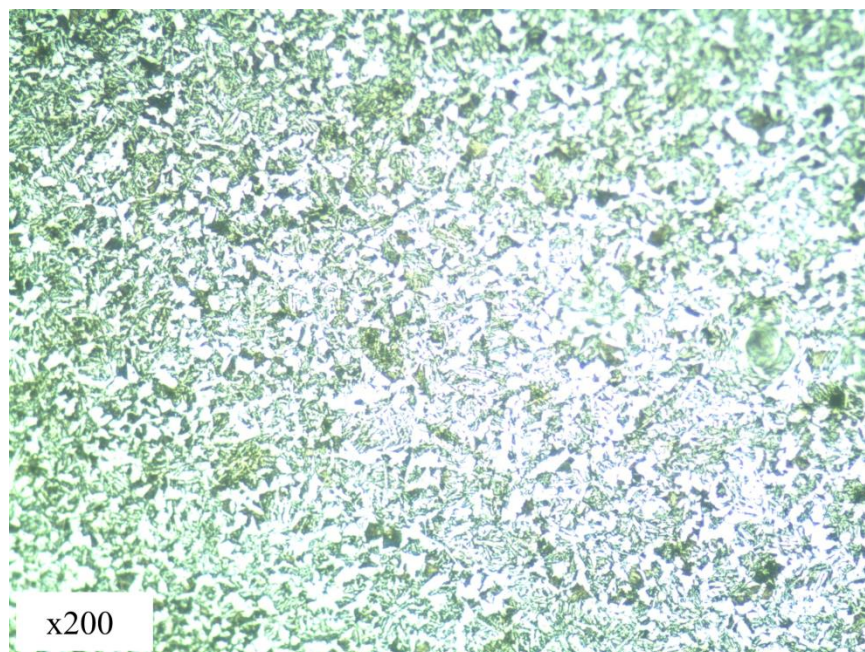


Рисунок 7 – Микроструктура стали 30ХМА в состоянии поставки

Из рисунка 7 следует, что сталь имеет феррито-перлитную структуру. Зёрна феррита немного вытянуты, так как заготовкой для изготовления микрошлифов служил прокат круглого сечения.

Исследование прочности проводилось на разрывной машине ИР 5145-500, изображение которой представлено на рисунке 8.



Рисунок 8 – Разрывная машина ИР 5145-500

ИР 5145-500 – разрывная машина универсального назначения с электронным силомером, способная проводить испытания образцов материалов и изделий на растяжение, сжатие и изгиб с максимальной нагрузкой до 500 кН. Машина в большей степени служит для изучения и контроля физико-механических свойств металлов.

Испытание на равноостное растяжение образцов из стали 30ХМА проводилось в состоянии поставки и после термической обработки. Общий вид образца показан на рисунке 9.



Рисунок 9 – Образец испытания на равноосное растяжение

Определение твёрдости проводилось на оборудовании «Бринелль» ТШ-2, изображение которого представлено на рисунке 10



Рисунок 10 – Твердомер «Бринелль» ТШ-2

Прибор «Бринелль» ТШ-2 предназначен для измерения твердости по методу вдавливания стального шарика в соответствии с методикой ГОСТ 9012 – 59. При испытаниях на твердость применяют шарики диаметром 10, 5 или 2,5 милли-

метров в зависимости от толщины испытуемого материала. Отпечатки, полученные при таком методе измерения показаны на рисунке 11.

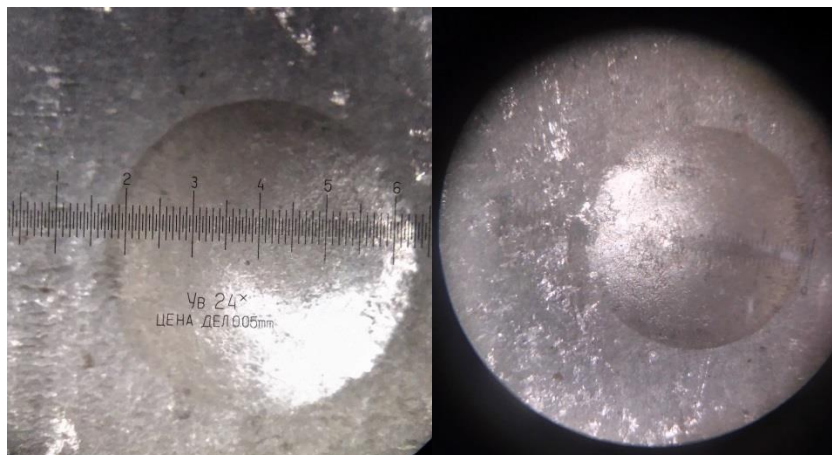


Рисунок 11 – Отпечатки при измерении твёрдости по Бринеллю, увеличение $\times 24$

Испытание на ударную вязкость проводилось на маятниковом копре ИО 5003-0,3-11, представленной на рисунке 12.



Рисунок 12 – Маятниковый копер ИО-5003-0,3-11

Копры используются для работы в помещениях лабораторного типа и устанавливаются на основании в 12 раз более тяжелом, чем масса копра. После разрушения образца маятник захватывается подъемным пневматическим устройством и взводится в верхнее заданное положение, работа пневматического захвата осуществляется при давлении питающего воздуха от 0,25 до 0,5 МПа. Результаты испытаний отображаются на дисплее компьютера, входящего в состав программно-технического комплекса. Программно-технический комплекс предназначен для работы с молотами любых энергий и углов сброса. Результаты испытаний статистически обрабатываются и распечатываются на лазерном принтере в виде протоколов испытаний. Файлы результатов испытаний сохраняются. Дополнительно имеется возможность производить с помощью программно-технического комплекса поверку копра. На копрах лабораторных ИО-5003-0,3-11 предусмотрено отключение питания и остановка маятника при отсутствии ограждения на местах установки и при недостаточном давлении воздуха в питающей сети.

Исследования на ударный изгиб проводили на образце размером 10×55 мм, площадь сечения в месте концентратора типа U 0,8 мм², представленном на рисунке 13.

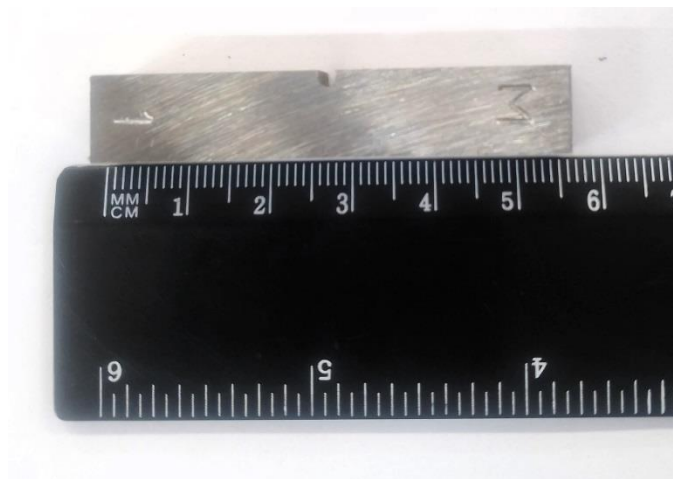


Рисунок 13 – Образец испытания на ударную вязкость

Таким образом, были рассмотрены методы и оборудования для исследования механических свойств и микроструктуры образцов из стали 30ХМА, а также

проведены соответствующие испытания, результаты которых приведены в следующем разделе 6.2.

6.2 Результаты эксперимента

6.2.1 Исследование механических свойств стали 30ХМА

Для достижения задач, поставленных в магистерской диссертации, исследование проводится на образцах из стали 30ХМА в состоянии поставки, после закалки и после отпуска.

Сталь 30ХМА в основном применима для изготовления болтов и шпилек, поэтому исследование свойств и выбор температур термической обработки проводилось нормотехнической документации относящейся к шпилькам. Для шпилек учитывались требования по ГОСТ 20700 – 75. Для болтов учитывались требования ГОСТ 4543 – 2016. Также учитывались требования отраслевого стандарта СТ ЦКБА 026 – 2005.

Перед началом исследований были определены механические свойства стали 30ХМА в состоянии поставки. Результаты приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Механические свойства стали 30ХМА в состоянии поставки

Параметры	Предел прочности σ_B , МПа	Относительное удлинение δ_5 , %	Твердость НВ	Ударная вяз- кость KCU , Дж/см ²
Значение	586,0...588,0	15,0...17,0	187,0...196,0	57,0...59,0

Для исследования влияния температуры закалки на структуру и свойства стали 30ХМА были выбраны несколько режимов термической обработки. Закалка будет проводиться при температурах 880 °С с охлаждением в воде и масле. Выбор данной температуры обусловлен температурами критических точек материала 30ХМА: $A_{c1} = 757$ °С, $A_{c3} = 807$, $A_{r1} = 693$. Время выдержки рассчитывалось от 1,5 до 2 минуты на 1 миллиметр толщины (диаметра). Результаты измерения твёрдо-

сти после закалки при 880 °С и охлаждением в воде и масле представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Твёрдость стали 30ХМА после закалки в воде и масле

Охладитель	Температура закалки °С	Твёрдость НВ
Вода	880	473
Масло		459

При аустенизации стали 30ХМА с температурой нагрева 880 °С и быстрым охлаждением образуется мартенсит закалки. Результаты исследования показали, что наибольшая твёрдость наблюдается у образца закалённого в воде по сравнению с тем, что был закалён в масле. Разность твёрдостей составила 14 НВ, но не смотря на это из-за наличия в стали хрома и молибдена структура у двух образцов преобразовалась в мелкоигольчатый мартенсит. Полученные данные подтверждаются теоретическими основами материаловедения и структурными исследованиями, приведёнными на рисунке 14.

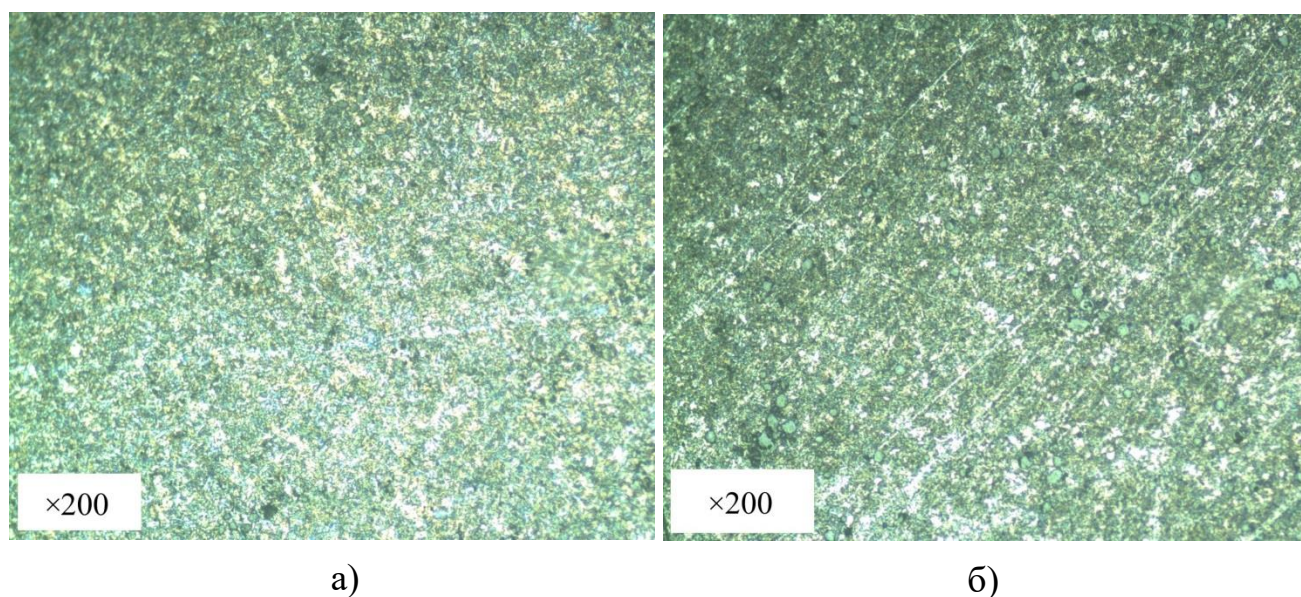


Рисунок 14 – Структура стали 30ХМА после закалки при температуре 880 °С: а) – охлаждение в воде; б) – охлаждение в масле

Исследования влияния отпуска на механические свойства проводилось по требованиям отраслевых и государственных стандартов. Время выдержки от 1,5 до 2 минуты на 1 миллиметр толщины. Среда охлаждения вода и масло.

Для шпилек режимы термической обработки и требуемые свойства по ГОСТ 4543 – 2016 приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Механические свойства шпилек из стали 30ХМА по ГОСТ 4543 – 2016

Параметры	Температура отпуска °C	Предел прочности σ_B МПа	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ МПа	Относительное удлинение δ_5 %	Относительное сужение ψ %	Ударная вязкость КСУ Дж/см ²	Твёрдость НВ
		Не менее					
Значение	540	930	735	12	50	88	229

Проведено исследование влияния температуры отпуска на свойства стали 30ХМА после закалки при 880 °C в масле и воде. По ГОСТ 4543 – 2016 отпуск проводился при температуре 540 °C с охлаждением в воде и масле. Результаты проведённого исследования механических свойств приведены в таблицу 14.

Таблица 14 – Результаты исследования механические свойств стали 30ХМА

Параметры	Среда охлаждения при закалке	Среда охлаждения при отпуске	Предел прочности σ_B МПа	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ МПа	Относительное удлинение δ_5 %	Относительное сужение ψ %	Ударная вязкость КСУ Дж/см ²	Твёрдость НВ
Значение	масло	вода	849	689	19	65,3	163	237
	вода	масло	847	687	15	65,9	189	234

В результате проведённых исследований, выявились отклонения по пределу прочности и пределу текучести. В первом случае предел прочности и предел текучести составили 849 МПа и 689 МПа соответственно. Полученные значения не соответствуют требованиям ГОСТ 4543 – 2016, который регламентирует предел прочности и текучести не менее 930 МПа и 735 МПа соответственно. Аналогичная ситуация наблюдается и во втором случае. Механические свойства свидетельствуют об образовании при высоком отпуске в стали структуры сорбита отпуска. Это подтверждается микроструктурным исследованием, приведённом на рисунке 15.

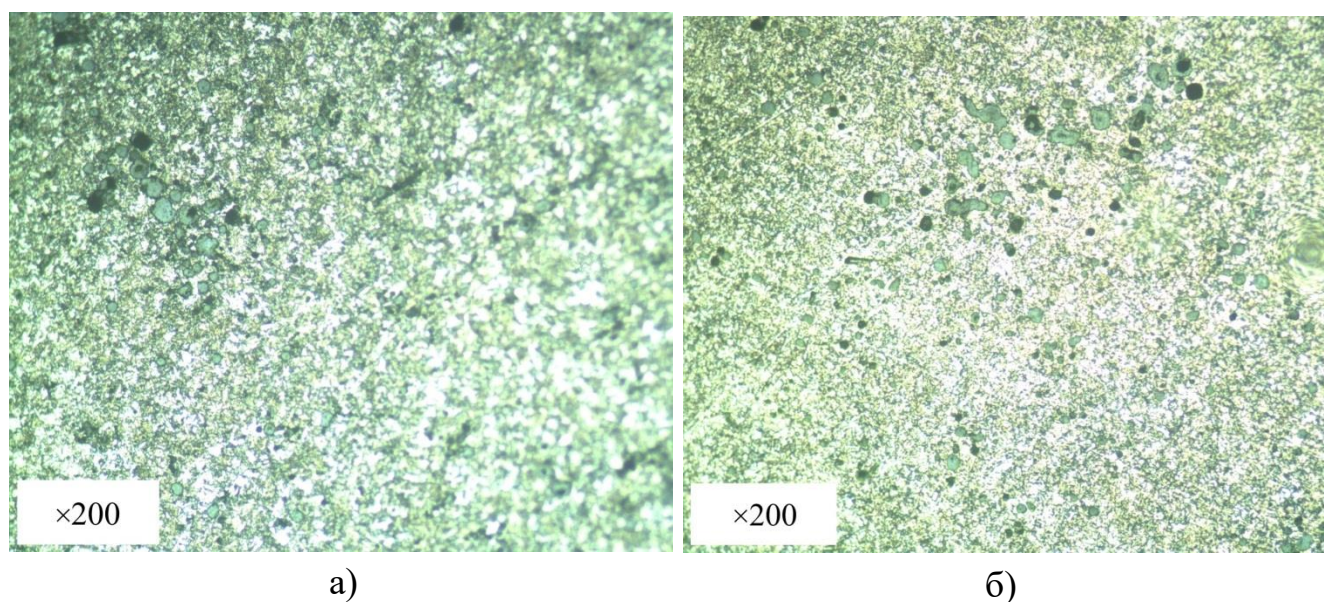


Рисунок 15 – Структура стали 30ХМА после термообработки: а) – закалка 880 °С в масло и отпуск 540 °С в воде; б) – закалка 880 °С в воде и отпуск 540 °С в масле

Из этого следует, что механические свойства, описанные в ГОСТ 4543 – 2016 соответствуют стали со структурой троостита отпуска. Для получения требуемых по ГОСТ 4543 – 2016 механических свойств предположительно необходимо увеличить температуру закалки на величину от 10 до 15 °С, а также уменьшить температуру отпуска на величину примерно от 40 до 60 °С, что в

свою очередь поспособствует увеличению предела прочности. Режимы, представленные в ГОСТ 4543 – 2016 в частности подходят для термической обработки заготовок для изготовления гаек, так как они поспособствовали получению стали с достаточно высокими прочностными характеристиками и удовлетворительной твёрдостью.

Для болтов и шпилек режимы термической обработки и требуемые свойства по ГОСТ 20700 – 75 приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Механические свойства болтов и шпилек из стали 30ХМА по ГОСТ 20700 – 75

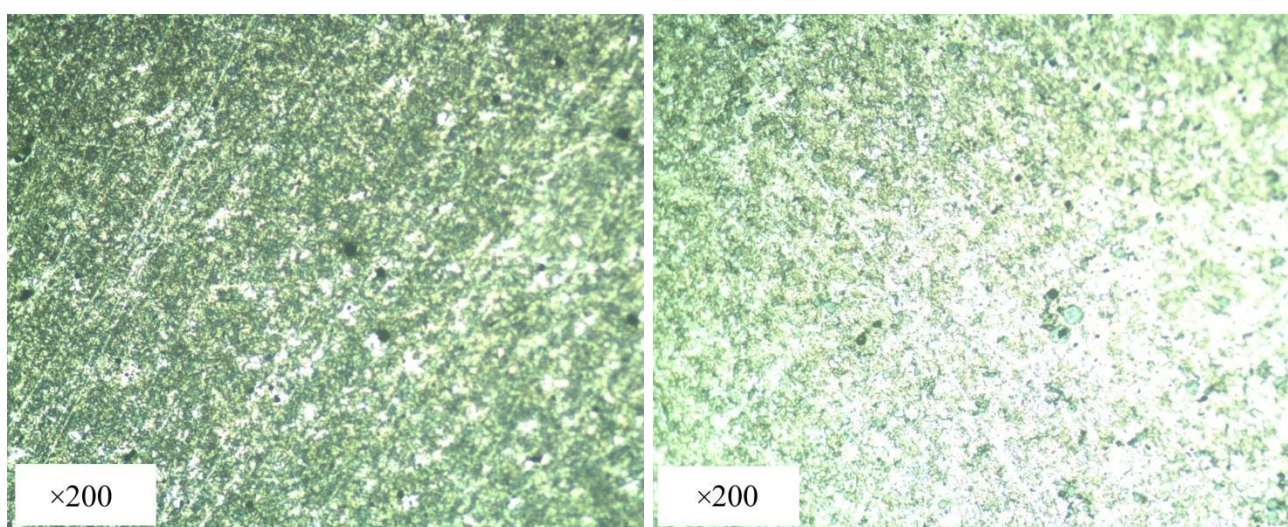
Параметры	Температура отпуска °C	Предел прочности σ_B МПа	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ МПа	Относительное удлинение δ_5 %	Относительное сужение ψ %	Ударная вязкость КСУ Дж/см ²	Твёрдость НВ
		Не менее					
Значение	540...620	784	637...784	13	42	58	229...277

Проведено исследование влияния температуры отпуска на свойства стали 30ХМА после закалки при 880 °C в воде. Учитывая результаты, полученные в предыдущем исследовании, принято решение занизить температуру отпуска на 60 °C и провести отпуск по ГОСТ 20700 – 75 при температуре 480 °C с охлаждением в воде и масле. Результаты проведённого исследования приведены в таблице 16.

Результаты исследований по сравнению с предыдущими показали увеличение предела прочности и предела текучести на 52 и 51 МПа соответственно. Также наблюдается повышение твёрдости примерно на 40 НВ и уменьшение ударной вязкости. Микроструктура стали после представленных режимов термической обработки показана на рисунке 16.

Таблица 16 – Результаты исследования механические свойства стали 30ХМА

Параметры	Среда охлаждения при отпуске	Предел прочности σ_B МПа	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ МПа	Относительное удлинение δ_5 %	Относительное сужение ψ %	Ударная вязкость КСУ Дж/см ²	Твёрдость НВ
Значение	вода	901	753	16	53	147	277
	масло	893	762		54	119	267



а)

б)

Рисунок 16 – Структура стали 30ХМА после: а) – закалка 880 °С в воде и отпуск 480 °С в воде; б) – закалка 880 °С в воде и отпуск 480 °С в масле

Из рисунка 16 следует, что структура стали больше напоминает структуру троостита отпуска, подтверждающая полученные механические свойства.

Данные полностью удовлетворяют требования ГОСТ 20700 – 75 и могут быть задействованы в других исследованиях по данному направлению.

Таким образом, было произведено практическое исследование влияния режимов термической обработки на механические свойства стали 30ХМА. Был выявлен оптимальный режим термообработки стали 30ХМА, заключающийся в полной закалке при температуре 880 °С и выдержку от 1,5 до 2 минуты на 1 милли-

метр толщины (диаметра) с охлаждением в воде, а также в среднем отпуске при температуре 480 °С и выдержкой от 1,5 до 2 минуты на 1 миллиметр толщины (диаметра) с охлаждением в масле. Данный режим обеспечил получение стали с высокими прочностными характеристиками, высокой твёрдостью и ударной вязкостью.

На основании проведенных исследований влияния режимов термической обработки на механические свойства стали 30ХМА разработана технологическая карта термической обработки, приведённая в приложении В на рисунке В 1.

6.2.2 Исследование коррозионной стойкости стали 20Х13

Зависимость механических свойств от режимов термической обработки для стали 20Х13 исследовалась в бакалаврской работе.

Для исследования влияния температуры заковки на структуру и свойства стали 20Х13 проводилась заковка при 1000, 1050 и 1100 °С. Время выдержки рассчитывалось от 1 до 1,5 минуты на 1 миллиметр толщины (диаметра), но не менее 20 минут с охлаждением в масле.

Результаты проведённых исследований показали, что рациональной температурой заковки является температура 1050 °С, так как она обеспечивает получение максимальной твёрдости и растворение карбидов хрома.

Исследования влияния отпуска на механические свойства проводилось по требованиям отраслевых и государственных стандартов. Время выдержки от 3 до 3,5 минуты на 1 миллиметр толщины, но не менее 2 часов. Среда охлаждения воздух.

Исследования проводились по ГОСТ 18968 – 73, ГОСТ 20700 – 75 и СТ ЦКБА 010 – 2004. Результаты приведены в таблице 17.

На основании полученных данных были определены несколько режимов отпуска. По ГОСТ 18968 – 78 отпуск следует проводить при температуре 720 °С с выдержкой от 3 до 3,5 минут на 1 миллиметр толщины, но не менее 2 часов, с охлаждением на воздухе. По ГОСТ 20700 – 75 отпуск осуществляется при темпе-

ратуре от 620 до 650 °С с выдержкой от 3 до 3,5 минут на 1 миллиметр толщины, но не менее 2 часов и с охлаждением на воздухе. По СТ ЦКБА 016 – 2005 отпуск требуется проводить при 720 °С с выдержку от 3 до 3,5 минут на 1 миллиметр толщины, но не менее 2 часов и с охлаждением также на воздухе. По результатам исследования была составлена технологическая карта термической обработки, которая приведена в приложении В на рисунке В 2.

Таблица 17 – Механические свойства шайб из стали 20Х13

Параметры	Температура отпуска °С	Предел прочности σ_B МПа	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ МПа	Относительное удлинение δ_5 %	Относительное сужение ψ %	Ударная вязкость KCU Дж/см ²	Твёрдость НВ
Значение	ГОСТ 18968 – 73						
	660	836,0	662,0	19,1	54,1	74,0	258,0
	700	759,0	578,0	20,7	61,6	146,0	241,0
	720	747,0	567,0	24,2	64,1	150,0	223,0
	ГОСТ 20700 – 75						
	620	830,0	650,0	17,2	50,3	95,0	261,0
	650	815,0	639,0	19,1	57,1	115,0	255,0
	680	769,0	594,0	19,4	54,4	135,0	241,0
	СТ ЦКБА 010 – 2004						
	700	736,0	529,0	20,2	58,4	75,0	230,0
	720	676,0	470,0	22,0	64,1	90,0	212,0
	750	652,0	442,0	25,1	66,2	104,0	196,0

Исследование коррозионной стойкости стали 20Х13 проводилось на образцах после закалки при 1050 °С, закалки при 1050 °С и отпуске при 300 °С, закалки при 1050 °С и отпуске при 650 °С.

Исследование стойкости стали 20Х13 к коррозии проводилось по расчёту глубинного показателя скорости коррозии по формуле:

$$\Pi = \frac{87600\Delta m}{\rho S \tau}$$

Плотность стали 20Х13 равна 7670 кг/м³. Для удобства вычисления примем плотность как 0,00768 г/мм³.

Площадь поверхности образцов рассчитываем по формуле:

$$S = 2 \cdot (a \cdot b + a \cdot c + b \cdot c).$$

Размеры всех исследуемых образцов приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Размеры исследуемых образцов

Образцы				
ТО	Номер образца	Лист		
		Толщина, <i>c</i> мм.	Длина, <i>a</i> мм.	Ширина, <i>b</i> мм.
Закалка 1050 °С	1	5,04	50,11	30,01
	2	5,01	50,63	30,08
	3	5	50,02	30,03
Закалка 1050 °С от- пуск 300 °С	4	5,01	50,81	30,13
	5	5,03	50,15	30,05
	6	5,01	50,1	29,98
Закалка 1050 °С от- пуск 650 °С	7	5	50,27	29,96
	8	5,02	50,36	30,03
	9	5	50,9	30,09

Подставим значения в формулу:

$$S_1 = 2 \cdot (50,11 \cdot 30,01 + 50,11 \cdot 5,04 + 30,01 \cdot 5,04) = 3815,212 \text{ мм}^2.$$

Аналогично вычисляем площади оставшихся образцов:

$$S_2 = 2 \cdot (50,63 \cdot 30,08 + 50,63 \cdot 5,01 + 30,08 \cdot 5,01) = 3854,615 \text{ мм}^2,$$

$$S_3 = 2 \cdot (50,02 \cdot 30,03 + 50,02 \cdot 5 + 30,03 \cdot 5) = 3804,701 \text{ мм}^2,$$

$$S_4 = 2 \cdot (50,81 \cdot 30,13 + 50,81 \cdot 5,01 + 30,13 \cdot 5,01) = 3872,829 \text{ мм}^2,$$

$$S_5 = 2 \cdot (50,15 \cdot 30,05 + 50,15 \cdot 5,03 + 30,05 \cdot 5,03) = 3820,827 \text{ мм}^2,$$

$$S_6 = 2 \cdot (50,1 \cdot 29,98 + 50,1 \cdot 5,01 + 29,98 \cdot 5,01) = 3806,398 \text{ мм}^2,$$

$$S_7 = 2 \cdot (50,27 \cdot 29,96 + 50,27 \cdot 5 + 29,96 \cdot 5) = 3814,478 \text{ мм}^2,$$

$$S_8 = 2 \cdot (50,36 \cdot 30,03 + 50,36 \cdot 5,02 + 30,03 \cdot 5,02) = 3831,737 \text{ мм}^2,$$

$$S_9 = 2 \cdot (50,9 \cdot 30,09 + 50,9 \cdot 5 + 30,09 \cdot 5) = 3873,062 \text{ мм}^2.$$

Также перед началом испытания у всех образцов была измерена масса. Результаты занесены в таблицу 19.

Далее, по прошествии 48 часов первого цикла был проведён замер массы образцов. Наблюдалось уменьшение массы у всех образцов, свидетельствующее о том, что исследуемые образцы подвергались коррозионному разрушению.

Для определения стойкости к коррозионному воздействию вычислим глубинный показатель скорости коррозии:

$$П_1 = \frac{87600 \cdot 0,373}{0,00768 \cdot 3815,212 \cdot 48} = 23,239 \text{ мм/год.}$$

Аналогично вычисляем глубинный показатель скорости коррозии для оставшихся образцов:

$$П_2 = \frac{87600 \cdot 0,361}{0,00768 \cdot 3854,615 \cdot 48} = 22,253 \text{ мм/год,}$$

$$П_3 = \frac{87600 \cdot 0,366}{0,00768 \cdot 3804,701 \cdot 48} = 22,912 \text{ мм/год},$$

$$П_4 = \frac{87600 \cdot 0,395}{0,00768 \cdot 3872,829 \cdot 48} = 24,251 \text{ мм/год},$$

$$П_5 = \frac{87600 \cdot 0,405}{0,00768 \cdot 3820,827 \cdot 48} = 25,199 \text{ мм/год},$$

$$П_6 = \frac{87600 \cdot 0,4}{0,00768 \cdot 3806,398 \cdot 48} = 25,003 \text{ мм/год},$$

$$П_7 = \frac{87600 \cdot 0,104}{0,00768 \cdot 3814,478 \cdot 48} = 6,485 \text{ мм/год},$$

$$П_8 = \frac{87600 \cdot 0,129}{0,00768 \cdot 3831,737 \cdot 48} = 8,027 \text{ мм/год},$$

$$П_9 = \frac{87600 \cdot 0,125}{0,00768 \cdot 3873,062 \cdot 48} = 7,722 \text{ мм/год}.$$

Первый цикл испытаний показал, что при закалке 1050 °С и отпуске при 650 °С наблюдается удовлетворительная стойкость стали 20Х13 к межкристаллитной коррозии.

Затем проводился второй цикл испытаний продолжительностью 24 часов. Также как и в первом цикле, после истечения времени испытаний осуществлялся замер массы образцов. По аналогии с первым циклом был рассчитан глубинный показатель скорости коррозии. Данные занесены в таблицу 19.

Исходя из полученных данных, следует, что скорость коррозии увеличилась практически в два раза на всех исследуемых образцах. Образцы 7, 8 и 9 также продемонстрировали лучшую коррозионную стойкость по сравнению с другими образцами.

Таблица 19 – Результаты исследования коррозионной стойкости стали 20X13

ТО	№	Исходные образцы		1-й цикл			2-й цикл		
		Масса m г.	S	m	Δm	Π	m	Δm	Π
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
З. 1050 °С	1	58,207	3815,212	57,834	0,373	23,239	57,188	0,647	40,273
	2	58,598	3854,615	58,237	0,361	22,253	57,618	0,619	38,167
	3	57,68	3804,701	57,313	0,366	22,912	56,704	0,609	38,054
З. 1050 °С О. 300 °С	4	58,904	3872,829	58,509	0,395	24,251	57,846	0,662	40,674
	5	58,216	3820,827	57,811	0,405	25,199	57,173	0,637	39,637
	6	57,792	3806,398	57,391	0,4	25,003	56,768	0,622	38,871
З. 1050 °С О. 650 °С	7	57,833	3814,478	57,729	0,104	6,485	57,523	0,206	12,837
	8	58,305	3831,737	58,175	0,129	8,027	57,927	0,247	15,358
	9	58,812	3873,062	58,686	0,125	7,722	58,448	0,238	14,654

Результаты исследования показали, что при режимах термической обработки, включающих закалку при 1050 °С и закалку при 1050°С с отпуском при 300 °С, наблюдается высокая скорость коррозии. При отпуске при температуре в 650 °С происходит значительное снижение скорости коррозии. Из этого следует, что скорость коррозии при отпуске при 300 °С значительно выше, чем при 650 °С, хотя с увеличением отпуска увеличивается количество карбидов, что в свою очередь должно напротив снижать коррозионную стойкость. Вероятней причиной этому послужила повторная диффузия хрома из матрицы в обеднённые области, что минимизировала несплошность межфазных областей.

Заключение

Был проведен обзор и анализ нормотехнической документации, регламентирующей применение крепёжных изделий в арматуростроении. Проведено патентное исследование, которое показало, что ведутся активные разработки способов повышения эксплуатационных свойств крепёжных изделий, изделий атомной промышленности, изделий арматуростроения, а также изделий, применяемых для крепежа парогенераторов, корпусов насосов, трубопроводов и соединительных частей атомной промышленности, работающих при температуре от 0 до 350 °С. Пристальное внимание уделяется технологии термической обработки, как способу повышения свойств стальных материалов.

Были рассмотрены и проанализированы основные стандарты по термической обработке стали 30ХМА применяемой для изготовления крепёжных изделий арматуростроения. Рассмотрены основные структурные превращения стали марки 30ХМА, при термической обработке

Также в работе для стали 30ХМА были скомпонованы стандарты и составлена обобщённая таблица режимов термической обработки и регламентируемым свойствам.

Проведены исследования зависимости свойств от режимов закалки и отпуска. Выявлен рекомендуемый режим термической обработки стали 30ХМА для шпилек и болтов. Данный режим включает в себя закалку при температуре 880 °С с выдержкой от 1,5 до 2 минут на 1 мм. толщины (диаметра) и охлаждением в масле и отпуск при температуре 480 °С с выдержкой от 1,5 до 2 минут на 1 мм. толщины (диаметра) и с охлаждением в масле с целью минимизации внутренних напряжений. На основании проведённого исследования была составлена технологическая карта термической обработки стали 30ХМА.

Также было проведено исследование коррозионной стойкости 20Х13. Выявлено, что стойкость к коррозии снижается с ростом температуры отпуска. Это связано с выделением карбидов Cr_{23}C_6 и обеднением матрицы хромом до концентраций ниже 12 %. Для сочетания в стали высоких прочностных характеристик и

приемлемой коррозионной стойкости рекомендуется проводить закалку при температуре 1050 °С с охлаждением в масле и низкий отпуск при температурах от 200 до 300 °С с охлаждением на воздухе или высокий отпуск при температуре до 650 °С для получения стали с удовлетворительной стойкостью к коррозии и высокой пластичностью.

Задачи поставленные в магистерской диссертации были выполнены, а, следовательно, цель была достигнута.

Список литературы

- 1 Лахтин, Ю.М. Материаловедение [Текст]: учеб. для вузов / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – М.: Высш. образование. – 2006. – 528 с.
- 2 ГОСТ 27017 – 86 Изделия крепёжные. Термины и определения [Текст]: Введ. 1988–01–01. – Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. – 49 с.
- 3 Кушнер, В.С. Материаловедение [Текст]: учеб. для студентов вузов / под редакцией Кушнера В.С. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2008. – 232 с.
- 4 Гелин, Ф.Д. Металлические материалы [Текст]: справочник / Ф.Д. Гелин, А.С. Чаус. – Мн.: Высшая школа, 1987. – 368 с.
- 5 НП-089 – 15 Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок [Текст]: Введ. 2016–02–23. – 71 с.
- 6 ГОСТ 20700 – 75 Болты, шпильки, гайки и шайбы для фланцевых и анкерных соединений, пробки и хомуты с температурой среды от 0 до 650 °С [Текст]: Введ. 1975–03–28. – Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР, 1975. – 23 с.
- 7 ГОСТ 23304 – 78 Болты, шпильки, гайки, и шайбы для фланцевых соединений атомных энергетических установок [Текст]: Введ. 1978–10–23. – Госстандарт СССР, 1978. – 31 с.
- 8 ГОСТ 33260 – 2015 Арматура трубопроводная [Текст]: Введ. 2015–05–26. – Росстандарт, 2015. – 72 с.
- 9 ГОСТ Р 54786 – 2011 Крепежные изделия для разъемных соединений атомных энергетических установок. Технические условия [Текст]: Введ. 2011–12–13. – Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2011 – 35 с.
- 10 ГОСТ 1050 – 2013Metalлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей [Текст]: – Введ. 2014–10–28. – Росстандарт, 2013. – 36 с.

11 СТ ЦКБА 012 – 2005 Арматура трубопроводная. Шпильки, болты, гайки и шайбы для трубопроводной арматуры. Технические требования [Текст]: Введ. 2005–08–10. – АО НПФ ЦКБА, 2005. – 44 с.

12 ГОСТ 4543 – 2016Metalлопродукция из конструкционной легированной стали. Технические условия [Текст]: Введ. 2017–10–01. – Росстандарт, 2017. – 53 с.

13 ГОСТ 5949 – 2018 Metalлопродукция из сталей нержавеющей и сплавов на железоникелевой основе коррозионностойких, жаростойких и жаропрочных [Текст]: Введ. 2018–09–20. – Росстандарт, 2018. – 35 с.

14 ГОСТ 18968 – 73 Прутки и полосы из коррозионностойкой и жаропрочной стали для лопаток паровых турбин [Текст]: Введ. 1974–01–01. – Госстандарт, 1973. – 8 с.

15 СТ ЦКБА 054 – 2008 Арматура трубопроводная. Конструкционная. Конструкционные материалы для деталей трубопроводной арматуры, работающей в коррозионно-активных средах. Технические требования [Текст]: Введ. 2008–03–07. – АО НПФ ЦКБА, 2008. – 71 с.

16 ГОСТ 9.908 – 85Единая система защиты от коррозии и коррозионной стойкости [Текст]: Введ. 1987–01–01. – Госстандарт СССР, 1985. – 17 с.

17 ГОСТ 25054 – 81 Поковки из коррозионностойких сталей и сплавов [Текст]: Введ. 1983–01–01. – Государственный комитет СССР по стандартам, 1981. – 16 с.

18 СТ ЦКБА 016 – 2005 Термическая обработка деталей, заготовок и сварных сборок из высоколегированных сталей, коррозионностойких и жаропрочных сплавов [Текст]: Введ. 2005–02–07. – Утверждён ЗАО НПФ ЦКБА, 2005. – 34 с.

19 СТ ЦКБА 026 – 2005 Термическая обработка заготовок из углеродистых и легированных конструкционных сталей [Текст]: Введ. 2005–06–10. – АО НПФ ЦКБА, 2005. – 22 с.

20 Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный институт промышленной собственности» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www1.fips.ru>.

21 Способ химико-термической обработки стальных деталей [Электронный ресурс]: пат. 2390582 Рос. Федерация: МПК C23F 17/00, C23C 8/10, C21D 1/78/ Богодухов С.И., Проскурин А.Д., Злобин М.С., Пундигов В.В., Мосенз М.И.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет». – 2008131185/02; заявл. 28.07.2008; опубл. 10.02.2010, Бюл. № 15. – 9 с: ил. – Режим доступа: <https://www1.fips.ru>.

22 Способ получения упрочненных заготовок крепежных изделий из нержавеющей аустенитной стали [Электронный ресурс]: пат. 2749815 Рос. Федерация: МПК C21D 8/00, C21D 1/02, C21D 9/00/ Панов Д.О., Наумов С.В., Перцев А.С., Кудрявцев Е.А., Симонов Ю.Н., Салищев Г.А.; заявитель и патентообладатель НИУ «БелГУ». – № 2020136558; заявл. 06.11.2020; опубл. 17.06.2021, Бюл. № 17. – 12 с: ил. – Режим доступа: <https://www1.fips.ru>.

23 Способ термомеханической обработки жаропрочной стали мартенситного класса [Электронный ресурс]: пат. 2688017 Рос. Федерация: МПК C21D 6/00, C21D 8/00, C22C 38/54/ Кайбышев Р.О., Дудова Н.Р., Дудко В.А., Федосеева А.Э., Мишнев Р.В., Ткачев Е.С.; заявитель и патентообладатель НИУ «БелГУ». – № 2018126676 заявл. 19.07.2018; опубл. 17.05.2019 Бюл. № 14. – 8 с: ил. – Режим доступа: <https://www1.fips.ru>.

24 Способ термической обработки для получения деталей с повышенной размерной точностью [Электронный ресурс]: пат. 2734208 Рос. Федерация: МПК C21D 1/78/ Оленин М.И., Горынин В.И., Бережко Б.И., Романов О.Н.; заявитель и патентообладатель ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей». – № 2020105506; заявл. 05.02.2020; опубл. 13.10.2020 Бюл. № 29. – 4 с. – Режим доступа: <https://www1.fips.ru>.

25 Способ термической обработки изделий из комплексно-легированной стали [Электронный ресурс]: пат. 2564196 Рос. Федерация: МПК C21D 1/25, C21D 9/08/ Пономарев Н.Г., Грехов А.И., Овчинников Д.В., Тихонцева Н.Т., заявитель и патентообладатель ОАО «СинТЗ». – № 2013137543/02; заявл.

09.08.2013; опубл. 20.02.2015 Бюл. № 5. – 5 с: ил. – Режим доступа: <https://www1.fips.ru>.

26 Способ термической обработки высокопрочной коррозионностойкой стали мартенситного класса [Электронный ресурс]: пат. 2388833 Рос. Федерация: МПК C21D 6/02/ Оленин М.И., Бережко Б.И., Горынин В.И., Павлов В.Н.; Заявитель и патентообладатель ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей». – № 2009118984/02; заявл. 19.05.2009; опубл. 10.05.2010 Бюл. № 13. – 5 с: ил. – Режим доступа: <https://www1.fips.ru>.

27 Способ обработки хромомолибденовой стали перлитного класса [Электронный ресурс]: пат. 2788770 Рос. Федерация: МПК C21D 8/00, C21D 1/25/ Долженко А.С., Беляков А.Н., Кайбышев Р.О., Заявитель и патентообладатель НИУ "БелГУ". – № 2022122541; заявл. 22.08.2022; опубл. 24.01.2023 Бюл. № 3. – 6 с: ил. – Режим доступа: <https://www1.fips.ru>.

28 Способ поверхностной термообработки изделий из нержавеющей хромистых сталей [Электронный ресурс]: пат. 2691022 Рос. Федерация: МПК C21D 6/00, C21D 1/42/ Дьячков В.Н., Зайнулин Д.Р.; заявитель и патентообладатель общество с ограниченной ответственностью производственное коммерческое объединение «Термическая обработка металлов». – № 2018111157; заявл. 28.03.2018; опубл. 07.06.2019 Бюл. № 16. – 4 с. – Режим доступа: <https://www1.fips.ru>.

29 Новиков, И.И. Теория термической обработки металлов [Текст]: учеб. для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. – 1986. – 480 с.

30 Блантер, М.Е. Металловедение и термическая обработка [Текст]: учебника для вузов. – М.: Машгиз. – 1963. – 416 с.

31 Фиргер, И.В. Термическая обработка сплавов [Текст]: справочник. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние. – 1982. – 304 с, ил.

32 Зуев, В.М. Термическая обработка металлов [Текст]: учеб. для вузов. – М.: Высшая школа. – 1986. – 288 с.

33 Остапенко, Н.Н. Технология металлов [Текст]: 2-е издание, переработанное и дополненное / Н.Н. Остапенко, Н.Н. Кропивницкий. – М.: Высшая школа. –1970. – 344 с.

34 Никифоров, В.М. Технология металлов и конструирование материалы [Текст]: учеб. для вузов. – М.: Высшая школа. – 2015. – 382 с.

35 Петрова, Л.Г. Основы электрохимической коррозии металлов и сплавов [Текст]: учеб. пособие / Л.Г. Петрова, Г.Ю. Тимофеева, П.Е. Демин, А.В. Косачев; под общ. ред. Г.Ю. Тимофеевой. – М.: МАДИ, 2016. – 148 с.

36 ГОСТ 5632 – 2014 Легированные нержавеющие стали и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки [Текст]: Введ. 2014–10–24. – Росстандарт, 2014. – 54 с.

37 Теплухин, Г.Н. Металловедение и термическая обработка [Текст]: учеб. пособие / Г.Н. Теплухин, А.В. Гропянов. – СПбГТУ РП. – 2011. – 169 с.

38 ГОСТ 5640 – 2020 Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры проката стального плоского [Текст]: Введ. 2021–10–01. – Росстандарт, 2020. – 24 с.

39 Беккерт, М. Металлографическое травление [Текст]: справочник / М. Беккерт, Х. Клемм, Лейпциг, 1976: пер. с нем. – М.: Металлургия, 1979. – 336 с.

40 ГОСТ 1497 – 84 Металлы. Методы испытаний на растяжение [Текст]: Введ. 1986–01–01. – Госстандарт СССР, 1984. – 24 с.

41 ГОСТ 28840 – 90 Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования [Текст]: Введ. 1993–01–01. – Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1990. – 8 с.

42 ГОСТ 166 – 89 Штангенциркули. Технические условия [Текст]: Введ. 1991–01–01. – Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1989. – 11 с.

43 ГОСТ 6507 – 90 Микрометры. Технические условия [Текст]: Введ. 1991–01–01. – Госстандарт СССР, 1990. – 12 с.

44 ГОСТ 427 – 75 Линейки измерительные металлические. Технические условия [Текст]: Введ. 1977–01–01. – Госстандарт СССР, 1975. – 7 с.

45 ГОСТ 2999 – 75 Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу [Текст]: Введ. 1976–07–01. – Госстандарт СССР, 1975. – 31 с.

46 ГОСТ 9012 – 59 Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю. [Текст]: Введ. 1960–01–01. – Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР, 1959. – 40 с.

47 ГОСТ 9013 – 59 Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу [Текст]: Введ. 1969–01–01. – Госстандарт СССР, 1959. – 8 с.

48 ГОСТ 9454 – 78 Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах [Текст]: Введ. 1979–01–01. – Госстандарт СССР, 1978. – 11 с.

49 ГОСТ 10708 – 82 Копры маятниковые. Технические условия [Текст]: Введ. 1983–07–01. – Государственный комитет СССР по стандартам, 1982. – 8 с.

50 ГОСТ 6032 – 2017 Стали и сплавы коррозионностойкие. Методы испытаний на стойкость против межкристаллитной коррозии [Текст]: Введ. 2017–09–12. – Росстандарт, 2017. – 36 с.

Приложение А

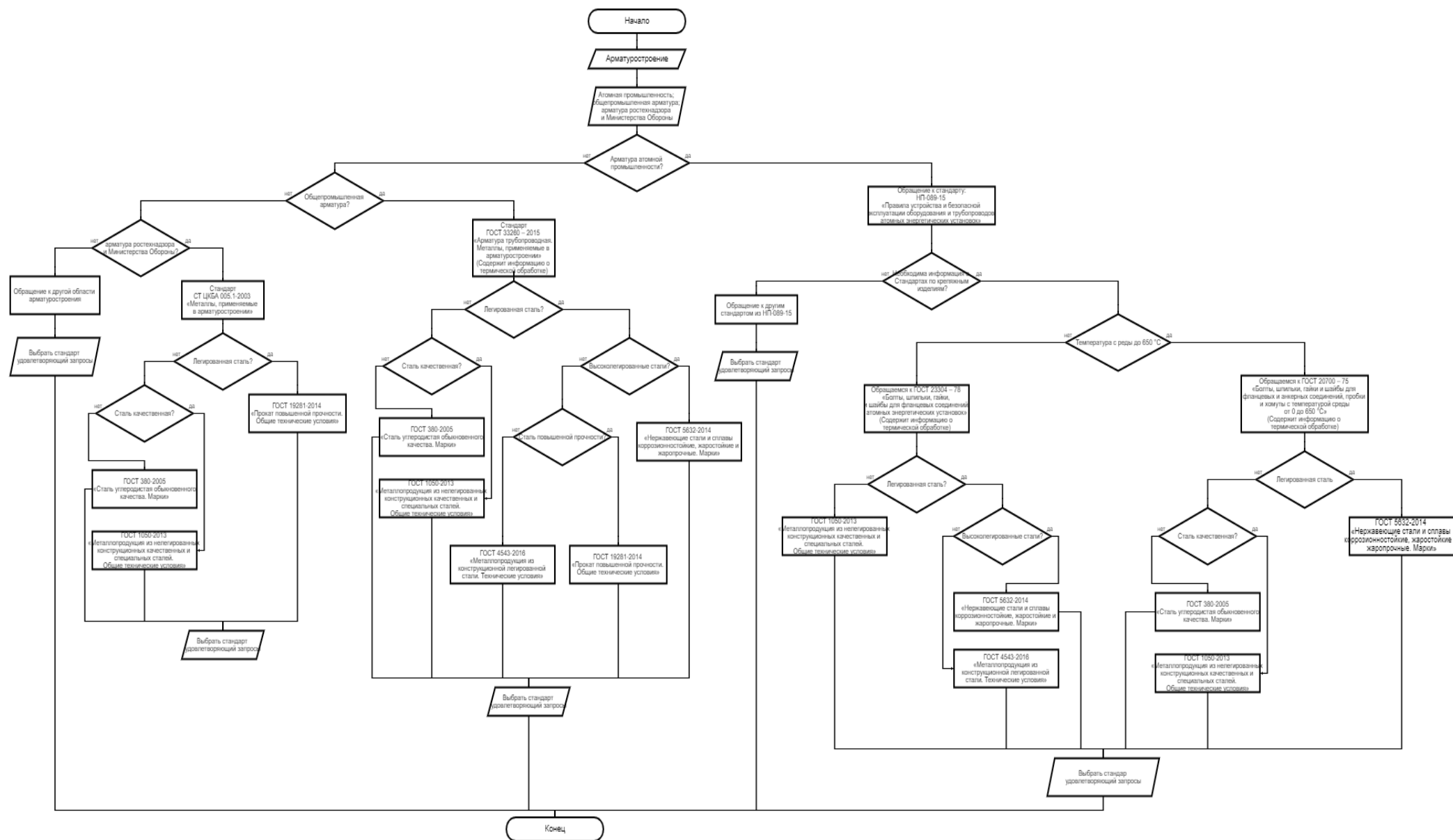


Рисунок А 1 – Схема выбора стали в зависимости от направления в арматуростроении

Приложение Б

Таблица Б 1 – Основные режимы термической обработки и свойства стали 30ХМА

Нормативные до- кументы	Изделие	Термическая обработка				Диаметр заготов- ки; мм	КП	$\sigma_{0,2}$	σ_B ;	НВ	$\delta 5$,	ψ ,	KCU ,
		Закалка °C	Среда охлажде- ния	Отпуск °C	Среда охлажде- ния			МПа	МПа		%	%	Дж/с м²
								Не менее					
ГОСТ 4543 – 2016	горячека- танные и кованные заготовки	880	Масло	540	Вода или масло	—	—	735	930	229	12	50	88
ГОСТ 23304 – 78 (горячекатанные и кованные заго- товки)	Болты, шпильки	870...89 0	Воздух или масло	540	Воздух или масло	до 200	49	490...637	588	197...24 1	15	40	59
				680			64	637...813	784	229	13	42	49
СТ ЦКБА 026 – 2005	Кованые и катан- ные заго- товки	860...88 0	Вода или масло	540...600	Воздух	до 60	—	640...785	880	229...28 6	13	42	59
				620...640		до 100	—	540	813	223..262	16	40	39
				640...660		до 300	—	395	590	187...22 9	15	40	39
ГОСТ 20700 – 75	Болты, шпильки	870...89 0	Воздух или масло	540...620	Воздух или масло	до 100	—	637...784	784	229...27 7	13	42	58
						Св. 100 до 300					12	38	49

Приложение В

[illegible]

Рисунок В 1 – Технологическая карта термической обработки стали 30ХМА

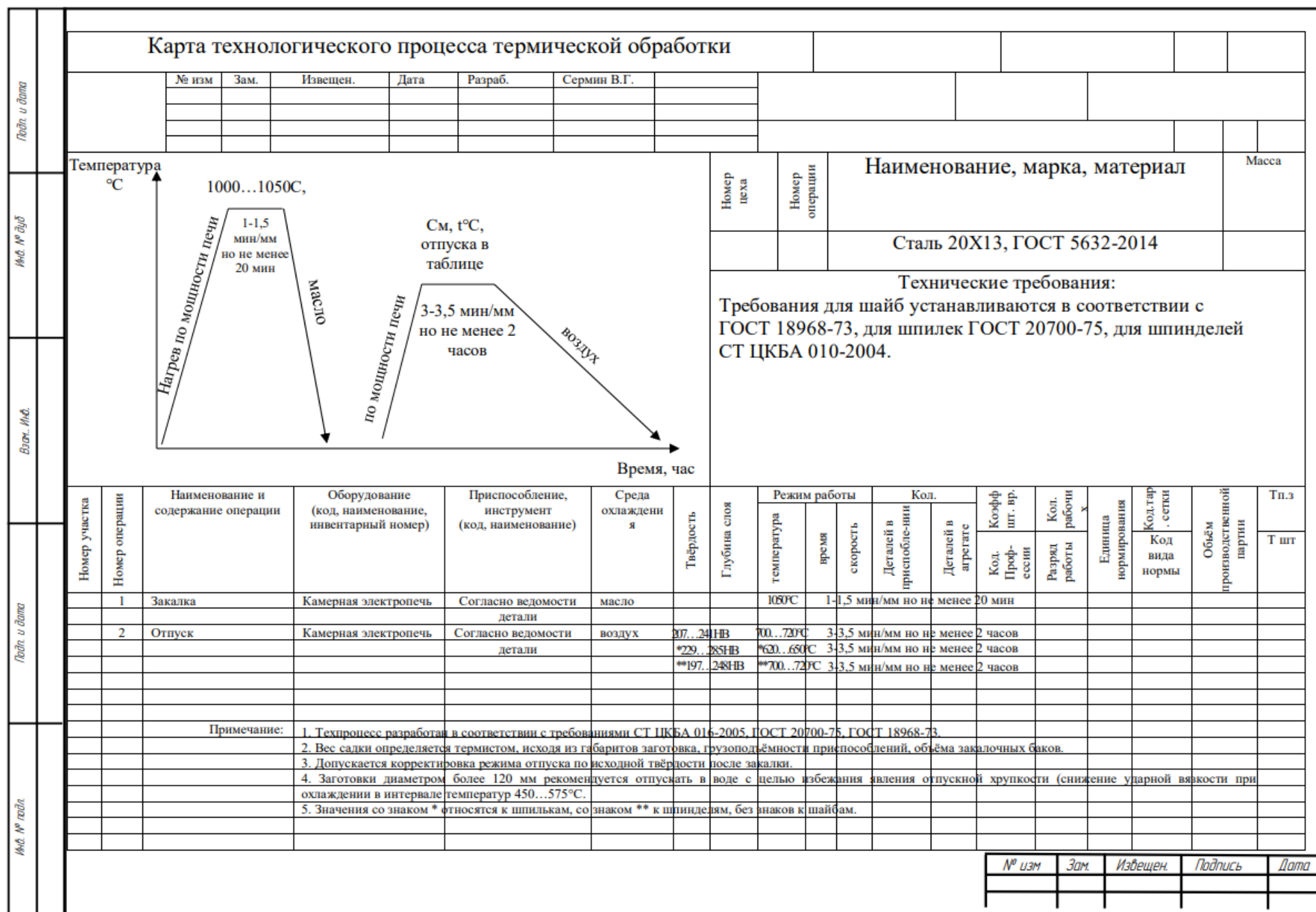


Рисунок В 2 – Технологическая карта термической обработки стали 20Х13

Приложение Г



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»
Кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему:

«Исследование влияния параметров термической обработки
на свойства легированных сталей, применяемых в запорной
и регулирующей арматуре»

Выполнил: ст. гр. 22МТм1
Сермин В.Г.
Руководитель: к.т.н. доцент
Логинов О.Н.

Пенза 2024 год

Цель и задачи

Актуальность – Термическая обработка стальных крепёжных изделий играет важную роль в их производстве и обеспечивает не только улучшение механических свойств, но и повышение надёжности и долговечности. Благодаря этому уменьшается риск аварийных ситуаций, а также увеличивается безопасность эксплуатации. Без грамотного выбора режима термической обработки на производстве крепежные изделия могут не выдержать заявленных нагрузок и стать причиной выхода изделия из строя. В связи с этим, возникла необходимость в разработке режима термической обработки стали 30ХМА заготовок изделий арматуростроения, которые бы обеспечили получение свойств, регламентированные соответствующими нормативными документами, а также апробации режимов термической обработки для повышения коррозионной стойкости стали 20Х13.

Цель – Целью магистерской диссертации является исследование влияния параметров термической обработки на механические свойства изделий из стали 30ХМА и коррозионную стойкость изделий из стали 20Х13 применяемых в запорной и регулирующей арматуре.

Задачи:

- а) провести анализ нормативно-технической документации, литературный и патентный поиск по вопросам влияния параметров термической обработки на свойства легированных сталей, применяемых в запорной и регулирующей арматуре;
- б) обосновать выбор исходных материалов для изготовления крепёжных изделий;
- в) выбрать методы и оборудования для исследования структуры, механических свойств и коррозионной стойкости;
- г) провести исследование влияния параметров термической обработки на механические свойства стали 30ХМА и коррозионную стойкость стали 20Х13.

Арматуростроение



Рисунок 1 – Клапаны запорные



Рисунок 2 – Краны шаровые



Рисунок 3 – Затворы дисковые

Нормотехническая документация

1. **НП-089 – 15** – Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.
2. **ГОСТ 33260 – 2015** – Арматура трубопроводная. Металлы, применяемые в арматуросторении. Основные требования к выбору материалов.
3. **ГОСТ Р 54786 – 2011** – Крепёжные изделия для разъёмных соединений атомных энергетических установок. Технические условия.
4. **СТ ЦКБА 012 – 2004** – Арматура трубопроводная. Шпильки, болты, гайки и шайбы для трубопроводной арматуры. Технические требования.
5. **ГОСТ 23304 – 78** – Болты, шпильки, гайки и шайбы для фланцевых соединений атомных энергетических установок. Технические требования. Приемка. Методы испытаний. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение.
6. **ГОСТ 20700 – 75** – Болты, шпильки, гайки и шайбы для фланцевых и анкерных соединений, пробки и хомуты с температурой среды от 0 до 650 °С.

Нормотехническая документация

7. **ГОСТ 5949 – 2018** – Металлопродукция из сталей нержавеющей и сплавов на железоникелевой основе коррозионно-стойких, жаростойких и жаропрочных. Технические условия.
8. **ГОСТ 4543 – 2016** – Металлопродукция из конструкционной легированной стали. Технические условия.
9. **СТ ЦКБА 010 – 2015** – Арматура трубопроводная. Поковки, штамповки и заготовки из проката. Технические требования.
10. **ГОСТ 5632 – 2014** – Нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные.
11. **ГОСТ 1050-2013** – Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия.
12. **СТ ЦКБА 016 – 2005** – Арматура трубопроводная. Термическая обработка деталей, заготовок и сварных сборок из высоколегированных сталей, коррозионностойких и жаропрочных сплавов.
13. **СТ ЦКБА 026 – 2005** – Арматура трубопроводная. Термическая обработка заготовок из углеродистых и легированных конструкционных сталей.
14. **ГОСТ 25054 – 81** – Поковки из коррозионно-стойких сталей и сплавов. Общие технические условия.

Патентное исследование

Таблица 1 – Результаты патентного исследования

Предмет поиска (объект исследования, его составные части)	Страна выдачи, вид и номер охранного документа. Классификационный индекс МПК	Заявитель (патентообладатель) номер заявки, страна, дата публикации	Название изобретения (полной модели, образца)
Повышения механических свойств стали	Россия, патент <i>RU 2390582 C2</i> <i>C23F 17/00</i> <i>C23C 8/10</i> <i>C21D 1/78</i>	Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Оренбургский государственный университет" (RU) № 2008131185, Россия, 27.05.2010	Способ химико-термической обработки стальных деталей
Повышение механических свойств материалов термической обработкой	Россия, патент <i>RU 2564196 C1</i> <i>C21D 9/08</i> <i>C21D 8/10</i>	Открытое акционерное общество "Синарский трубный завод" (ОАО "СинТЗ") (RU) № 2013137543/02 Россия, 27.09.2015	Способ термической обработки изделий из комплексно-легированной стали
Повышение механических свойств материалов термической обработкой	Россия, патент <i>RU 2788770 C1</i> <i>C21D 8/00</i> <i>C21D 1/25</i>	Федеральное государственное автономное образования "Белгородский государственный национальный исследовательский университет" (НИУ "БелГУ") (RU) № 2022122541, Россия, 24.01.2023	Способ обработки хромомолибденовой стали перлитного класса

Выбор материала

Таблица 2 – Рекомендуемые НД по материалам для изготовления крепёжных изделий

Стандарт		Материал (стали)
ГОСТ 23304-78	ГОСТ 1050-2013	35, 45
	ГОСТ 4543-2016	30X, 40X, 45X, 30XMA, 35XM, 38XH3MΦA
	ГОСТ 18968-73	20X13, 20X12BHMΦ
ГОСТ Р 54786-2011	ГОСТ 1050-2013	20, 30, 35, 40, 45
	ГОСТ 4543-2016	30X, 35X, 40X, 45X, 35XM, 30XMA, 38XH3MΦA
	ГОСТ 5949-2018	08X18H10T, 12X18H10T, 31X19H9MBBT, 20X13
ГОСТ 33260-2015	ГОСТ 1050-2013	20, 25, 35
	ГОСТ 4543-2016	30X, 35X, 40X, 10Г2, 20XH3A, 18X2H4MA, 30XMA
	ГОСТ 5949-2018	14X17H2, 07X16H6, 20X13, 07X21Г7AH5, 31X19H9MBBT

Исследуемый материал сталь 30ХМА

Таблица 3 – Химический состав стали 30ХМА ГОСТ 4543-2016

С	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	S	P
0,26 – 0,34 %	0,17 – 0,37 %	0,4 – 0,7 %	0,8 – 1,1 %	До 0,3	0,15 – 0,25	До 0,3	Не более 0,025 %	Не более 0,030 %

Таблица 4 – Механические свойства стали 30ХМА в состоянии поставки

Предел прочности σ_B, МПа	Относительное удлинение δ_5, %	Твердость НВ	Ударная вязкость KCU, Дж/см²
586,0...588,0	15,0...17,0	187...196	57,0...59,0

Режимы термической обработки стали 30ХМА

Таблица 5 – Основные режимы термической обработки и свойства стали 30ХМА

Нормативные документы	Изделие	Термическая обработка				Диаметр заготовки: мм	КП	σ _{0,2} МПа	σ _В МПа	НВ	δ5, %	ψ, %	КСУ, Дж/с м ²
		Закалка °С	Среда охлаждения	Отпуск °С	Среда охлаждения								
								Не менее					
ГОСТ 4543 – 2016	горячекатаные и кованые заготовки	880	Масло	540	Вода или масло	–	–	735	930	229	12	50	88
ГОСТ 23304 – 78 (горячекатаные и кованые заготовки)	Болты, шпильки	870...890	Воздух или масло	540	Воздух или масло	до 200	49	490...637	588	197...241	15	40	59
				680			64	637...813	784	229	13	42	49
СТ ЦКБА 026 – 2005	Кованые и катаные заготовки	860...880	Вода или масло	540...600	Воздух	до 60	–	640...785	880	229...286	13	42	59
				620...640		до 100	–	540	813	223...262	16	40	39
				640...660		до 300	–	395	590	187...229	15	40	39
ГОСТ 20700 – 75	Болты, шпильки	870...890	Воздух или масло	540...620	Воздух или масло	до 100	–	637...784	784	229...277	13	42	58
						Св. 100 до 300					12	38	49

Методы исследования



Рисунок 5 – Металлографический цифровой микроскоп
Altami MET 6C

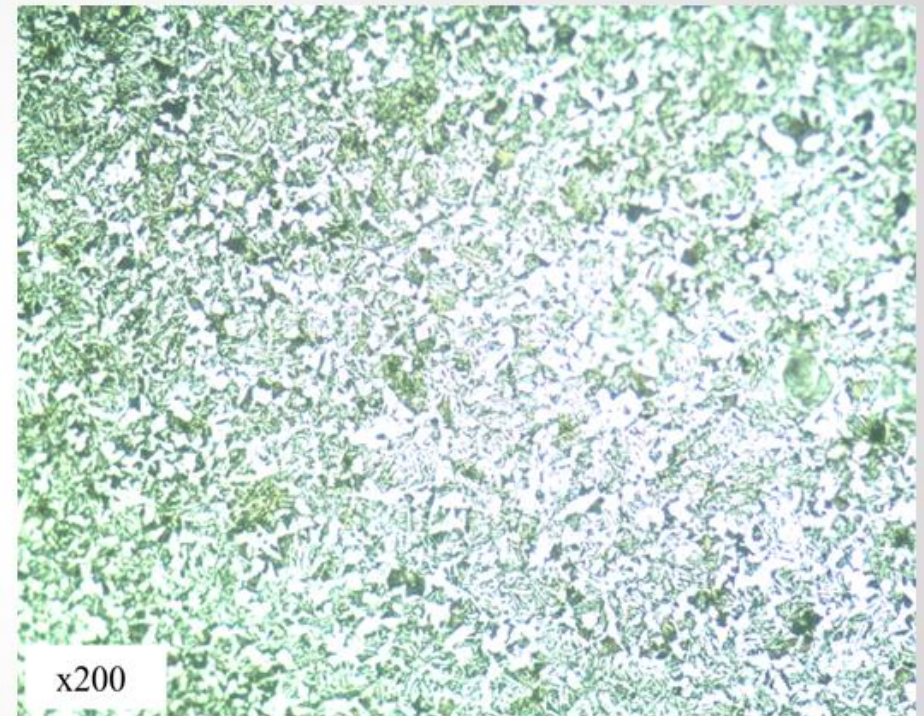


Рисунок 6 – Микроструктура стали 30ХМА в
состоянии поставки

Методы исследования



Рисунок 7 – Разрывная машина ИР 5145-500

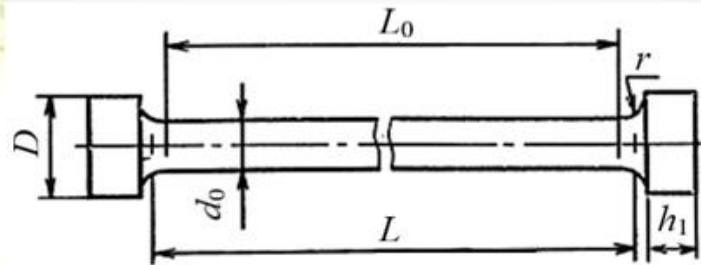


Рисунок 8 – Схема образца для испытаний на равноостное растяжение по ГОСТ 1497-84

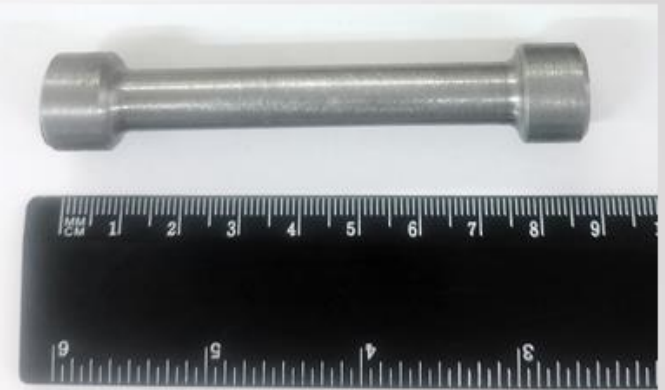


Рисунок 9 – Общий вид образца

Методы исследования



Рисунок 10 – Оборудование для испытания:
Маятниковый копер ИО-5003-0,3-11

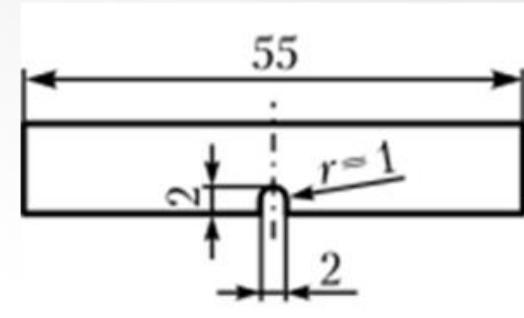


Рисунок 11 – Концентратор вида *U* ГОСТ 9454-78

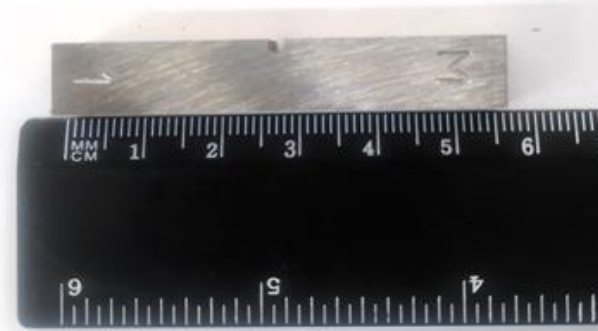


Рисунок 12 – Образец испытания на ударную
вязкость

Методы исследования



Рисунок 13 – Твердомер «Бринелль» ТШ-2

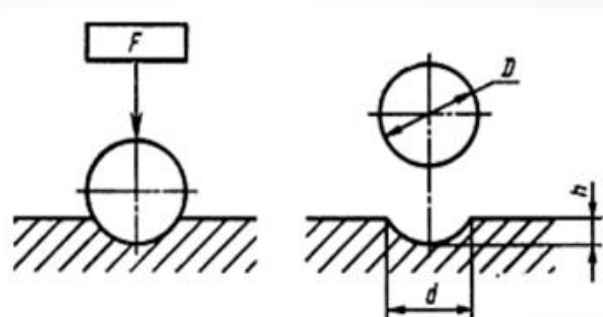


Рисунок 14 – Схема определения твёрдости по Бринеллю: D – диаметр стального шарика; d – диаметр отпечатка; h – глубина отпечатка

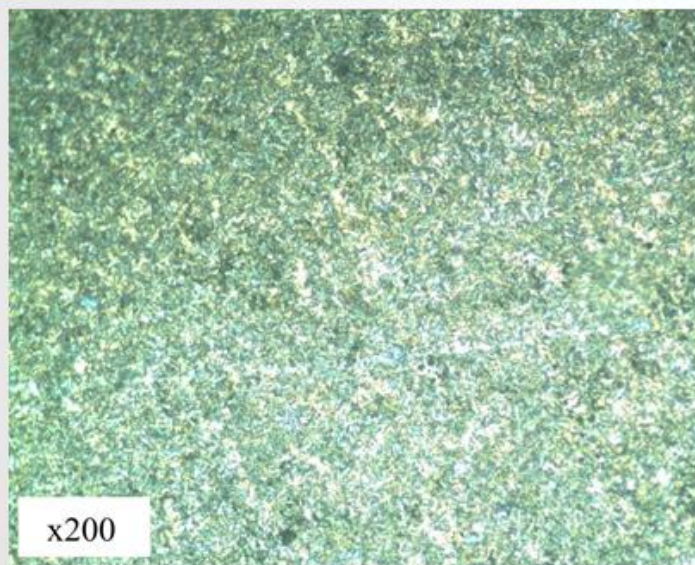


Рисунок 15 – Отпечаток индентора при определении твердости по Бринеллю на стали 30ХМА в состоянии поставки

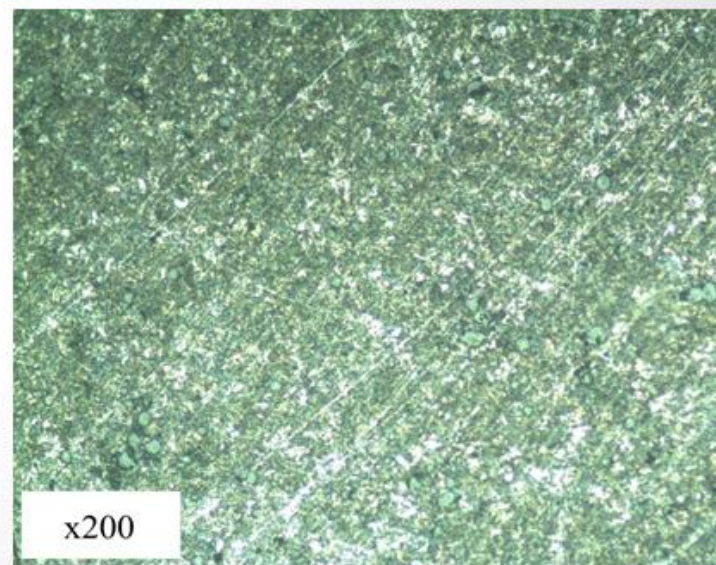
Результаты исследования свойств после закалки

Таблица 6 – Твёрдость стали 30ХМА после закалки в воде и масле

Охладитель	Температура закалки °С	Твёрдость НВ
Вода	880	473
Масло		459



а)



б)

Рисунок 16 – Структура стали 30ХМА после закалки при температуре 880 °С:
а) – охлаждение в воде; б) – охлаждение в масле

Результаты исследования свойств после отпуска

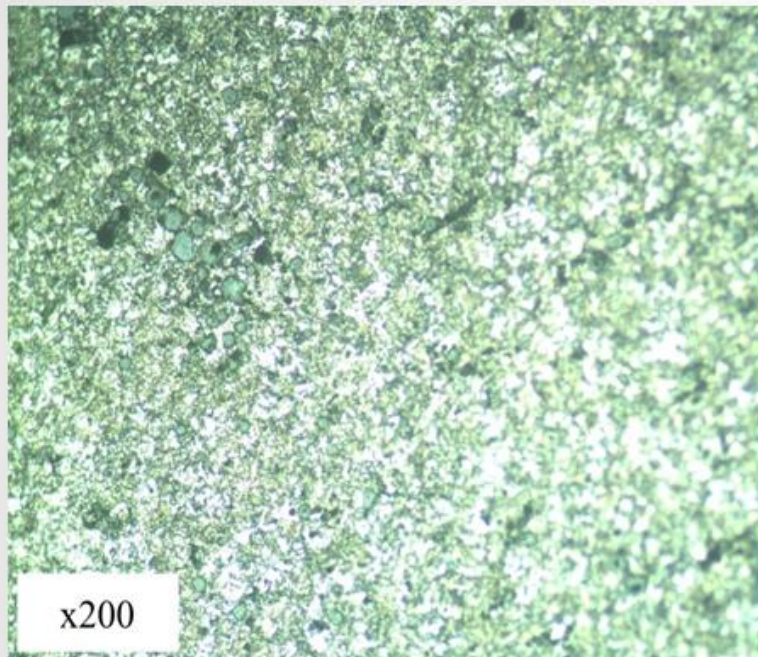
Таблица 7 – Требуемые механические свойства изделий из стали 30ХМА по ГОСТ 4543 – 2016

Параметры	Температура отпуска °С	σ_B МПа	$\sigma_{0,2}$ МПа	δ_5 %	Ψ %	Дж/см ²	Твёрдость НВ
		Не менее					
Значение	540	930	735	12	50	88	229

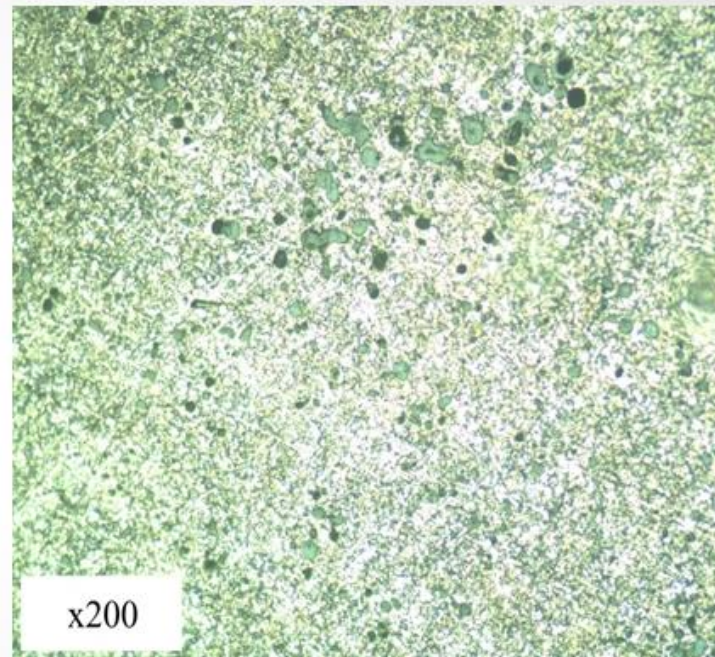
Таблица 8 – Результаты исследования механические свойства стали 30ХМА

Параметры	Среда охлаждения при закалке	Среда охлаждения при отпуске	σ_B МПа	$\sigma_{0,2}$ МПа	δ_5 %	Ψ %	KCU Дж/см ²	Твёрдость НВ
Значение	масло	вода	849	689	19	65,3	163	237
	вода	масло	847	687	15	65,9	189	234

Результаты исследования свойств после отпуска



а)



б)

Рисунок 17 – Структура стали 30ХМА после термообработки: а) – закалка 880 °С в масло и отпуск 540 °С в воде; б) – закалка 880 °С в воде и отпуск 540 °С в масле

Результаты исследования свойств после отпуска

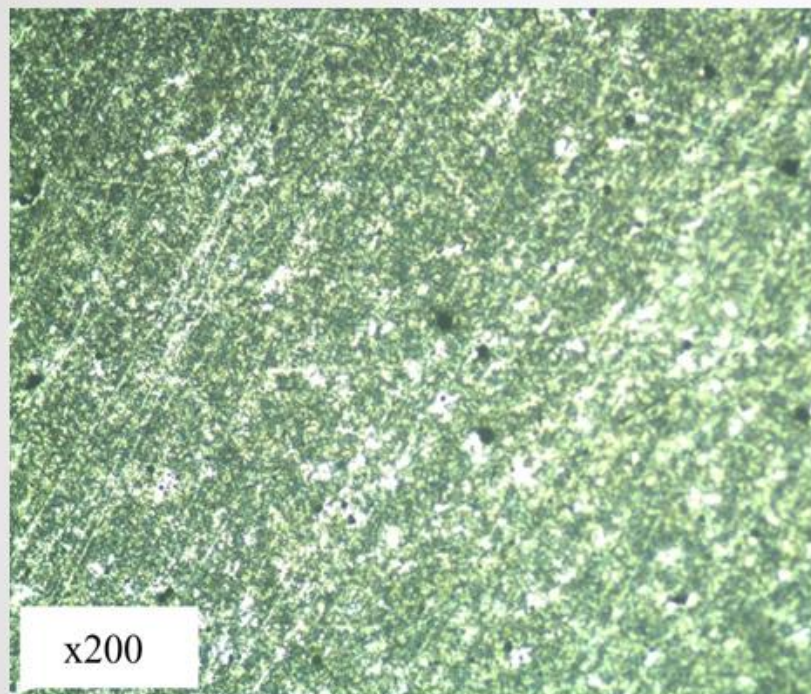
Таблица 9 – Требуемые свойства для шпилек по ГОСТ 20700-75

Параметры	Температура отпуска °C	σ_B МПа	$\sigma_{0,2}$ МПа	δ_5 %	Ψ %	KCU Дж/см ²	НВ
		Не менее					
Значение	540...620	784	637...784	13	42	58	229...277

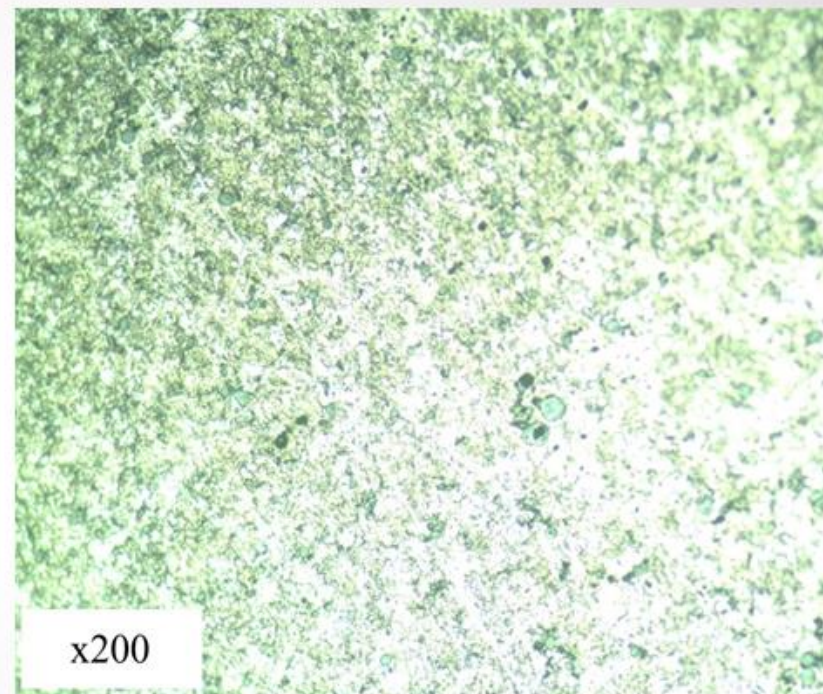
Таблица 10 – Свойства полученные после отпуска

Параметры	Среда охлаждения при отпуске	σ_B МПа	$\sigma_{0,2}$ МПа	δ_5 %	Ψ %	KCU Дж/см ²	НВ
Значение	вода	901	753	16	53	147	277
	масло	898	762		54	119	267

Результаты исследования свойств после отпуска



а)



б)

Рисунок 18 – Структура стали 30ХМА после: а) – закалка 880 °С в воде и отпуск 480 °С в воде;
б) – закалка 880 °С в воде и отпуск 480 °С в масле

Результаты исследования свойств стали 20X13

Таблица 11 – Механические свойства шайб из стали 20X13

Параметры	Температура отпуски °C	σ_B МПа	$\sigma_{0,2}$ МПа	δ_5 %	Ψ %	KCU Дж/см ²	HB
Значение	ГОСТ 18968 – 73						
	660	836,0	662,0	19,1	54,1	74,0	258,0
	700	759,0	578,0	20,7	61,6	146,0	241,0
	720	747,0	567,0	24,2	64,1	150,0	223,0
	ГОСТ 20700 – 75						
	620	830,0	650,0	17,2	50,3	95,0	261,0
	650	815,0	639,0	19,1	57,1	115,0	255,0
	680	769,0	594,0	19,4	54,4	135,0	241,0
	СТ ЦКБА 010 – 2004						
	700	736,0	529,0	20,2	58,4	75,0	230,0
	720	676,0	470,0	22,0	64,1	90,0	212,0
	750	652,0	442,0	25,1	66,2	104,0	196,0

Исследования коррозионной стойкости стали 20Х13

Таблица 12 – Размеры исследуемых образцов

Образцы				
ТО	Номер образца	Лист		
		Толщина, с мм.	Длина, а мм.	Ширина, b мм.
Закалка 1050 °С	1	5,04	50,11	30,01
	2	5,01	50,63	30,08
	3	5	50,02	30,03
Закалка 1050 °С отпуск 300 °С	4	5,01	50,81	30,13
	5	5,03	50,15	30,05
	6	5,01	50,1	29,98
Закалка 1050 °С отпуск 650 °С	7	5	50,27	29,96
	8	5,02	50,36	30,03
	9	5	50,9	30,09

Результаты исследования коррозионной стойкости стали 20Х13

Таблица 13 – Результаты исследования коррозионной стойкости стали 20Х13

ТО	Номер образца	Исходные <u>обазпы</u>			1-й цикл				2-й <u>цикл</u>			
		Масса m; г.	S мм ²	П	m	S	<u>Δm</u>	П	m	S	<u>Δm</u>	П
Закалка 1050 °C	1	58,207	3815,212	-	57,834	-	0,373	23,239	57,188	-	0,647	40,273
	2	58,598	3854,615	-	58,237	-	0,361	22,253	57,618	-	0,619	38,167
	3	57,68	3804,701	-	57,313	-	0,366	22,912	56,704	-	0,609	38,054
Закалка 1050 °C отпуск 300 °C	4	58,904	3872,829	-	58,509	-	0,395	24,251	57,846	-	0,662	40,674
	5	58,216	3820,827	-	57,811	-	0,405	25,199	57,173	-	0,637	39,637
	6	57,792	3806,398	-	57,391	-	0,4	25,003	56,768	-	0,622	38,871
Закалка 1050 °C отпуск 650 °C	7	57,833	3814,478	-	57,729	-	0,104	6,485	57,523	-	0,206	12,837
	8	58,305	3831,737	-	58,175	-	0,129	8,027	57,927	-	0,247	15,358
	9	58,812	3873,062	-	58,686	-	0,125	7,722	58,448	-	0,238	14,654

Заключение

Выводы:

а) был проведен обзор и анализ нормотехнической документации. Проведено патентное исследование, которое показало, что ведутся активные разработки способов повышения ресурса работы стальных крепёжных изделий, крепёжных изделий, используемых в атомной энергетической промышленности, крепёжных изделий из легированных и низколегированных сталей, изделий применяемых в запорной и регулирующей арматуре. Большое внимание уделяется термической обработке, как способу повышения свойств материалов;

б) обоснован выбор исследуемого материала стали 30ХМА и 20Х13. Были рассмотрены и проанализированы стандарты по термообработке стали 30ХМА;

в) были выбраны методы и оборудования для исследования механических свойств стали 30ХМА и коррозионной стойкости стали 20Х13;

г) проведены исследования зависимости свойств от режимов закалки и отпуска. Выявлены рекомендуемый режимы термической обработки стали 30ХМА для шпилек и болтов. Исходя из результатов исследований была разработана карта технологического процесса термической обработки.

Список авторских публикаций

1. Сермин В. Г., Чугунов С. Н., Миронов С. А., Обзор и анализ нормативной документации по вопросам выбора стандартов области арматуростроения // Прогрессивные технологии в современном машиностроении: сборник статей XVIII Международной научно-технической конференции. – Пенза : Приволжский Дом знаний, 2023. с. 133 – 137.
2. Сермин В. Г., Чугунов С. Н., Практика выбора режимов термической обработки для упрочнения жаропрочной хромистой стали 20Х13 // Молодёжь и система модернизации страны: Сборник научных статей 8-й Международной научной конференции студентов и молодых ученых (МЛ – 12), в 4-х томах, Том 4, – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2024. С. 272 – 276.

Спасибо за внимание