

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



SATBAYEV
UNIVERSITY

Горно-металлургический институт им. О.А. Байконурова

Кафедра «Материаловедение, нанотехнологии и инженерная физика»

Ағыбаев Кәміл Ғазизұлы

"Изучение свойств штамповой стали после термической обработки"

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 6В07109 – Инженерная физика и материаловедение

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И.Сатпаева

Горно-металлургический институт им. О. Байконурова

Кафедра «Материаловедение, нанотехнологии и инженерная физика»



ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой «МНиИФ»

PhD

Кудайбергенов К.К.

« 26 » мая 2023 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Изучение свойств штамповой стали после термической обработки»

по специальности 6В07109 – Инженерная физика и материаловедение

Выполнил:

Ағыбаев Кәміл Ғазизұлы

Рецензент

PhD, старший преподаватель кафедры
физики твердого тела и нелинейной
физики КазНУ им. аль-Фараби

Толесов Ж.К.
« 26 » мая 2023 г.

Научный руководитель

Старший преподаватель

Кошимбаев Б.Ш.
« 26 » мая 2023 г.

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И.Сатпаева

Горно-металлургический институт им. О.А, Байконурова

Кафедра «Материаловедение, нанотехнологии и инженерная физика»

6В07109 – Инженерная физика и материаловедение

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой «МНИИФ»
PhD
Кудайбергенов К.К.
2023 г.



ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Ағыбаев Кәміл Ғазизұлы

Тема: Изучение свойств штамповой стали после термической обработки

Утверждена приказом Ректора Университета №408-П/Ө от "23"11. 2022 г.

Срок сдачи законченной работы

«21» 2023 г.

Исходные данные к дипломному проекту: Материалы получены из лаборатории инженерного профиля КазНИТУ

Краткое содержание дипломной работы:

- Определение основных механических свойств штамповой стали марки X12Ф1;
- Получения изображения микроструктуры штамповой стали X12Ф1 для получения общей картины свойств стали и параметров микроструктуры;
- На основе механических характеристик и данных о микроструктуре штамповой стали X12Ф1 найти сильные и слабые стороны стали для дальнейшего улучшения при эксплуатации стали в производстве.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): 21 рисунков, представлены 23 слайдов презентации работы.

Рекомендуемая основная литература:



1. Ефименко Л.А., Прыгаев А.К., Определение фактических механических свойств металла трубопроводов на основе измерения твердости: Учебное пособие - М : РГУ нефти и газа, 2007 – 18 с.
2. Металловедение: макро- и микроскопический анализ металлов: учебно-методическое пособие / Л.П. Шестопалова, Т.Е. Лихачёва. – М.: МАДИ, 2017. – 56 с.
3. Основы материаловедения (металлообработка) : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / [В. Н. Заплатин, Ю. И. Сапожников, А. В. Дубов и др.] ; под ред. В. Н. Заплатина. — 8-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2017. — 272 с.

Результаты	4,06 2023	Оформление дипломной работы, выполнение заданий
------------	-----------	---

Подпись

консультант и руководитель на индивидуальную дипломную работу (проект)

указывая фамилию и имя руководителя работы (проекта)

Инициалы Фамилия	Контактная И.И.Ф. (указывать зачис)	Дата подписания	Подпись
Осипов А.А.	Кочеткова С.И. старший инженер	29.04.2023	
Норманова А.	Кочеткова С.И. старший инженер	25.05.2023	

Материалы подготовил:  Кочеткова С.И.

Баланс проработан и согласован:  Кочеткова С.И.

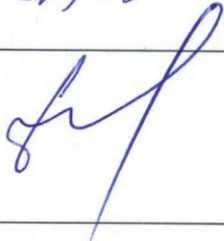
Дата: 25.05.2023

ГРАФИК
подготовки дипломной работы (проекта)

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Основная часть	3.05.2023	Изучение литературы по теме
Экспериментальная часть	3.05.2023	Проведение расчётных работ
Результаты	4.06.2023	Проведение анализов материалов, подведение итогов

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу (проект)
с указанием относящихся к ним разделов работы (проекта)

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Основная часть	Кошимбаев Б.Ш., старший преподаватель	30.04.2023	
Нормоконтроль	Бейсебаева А.С., к.ф-м.н., старший преподаватель	26.05.2023	

Научный руководитель



Кошимбаев Б.Ш.

Задание принял к исполнению обучающийся



Агыбаев К.Ф.

Дата

«26» мая 2023г.

АНДАТПА

Түйін сөздер: штампталған болат, болаттың механикалық қасиеттері: қаттылық, созылу беріктігі, аққыштық шегі және төзімділік шегі, механикалық сипаттамалар деректеріне негізделген графиктер, болаттың микроқұрылымы, штампталған болаттың микроқұрылымының параметрлері: дәннің дөңгелектігі, дәннің арақатынасы, эксцентристик және бағытталу дәндері, болат микроқұрылым параметрлерінің гистограммаларын құру

Зерттеу нысаны: штампталған болат Х12Ф1

Жұмыстың мақсаты: Термиялық өңдеуден кейінгі штампталған болаттың негізгі қасиеттерін зерттеу.

Жұмыстың міндеттері:

-Х12Ф1 болатының негізгі механикалық сипаттамаларын анықтау;

-Х12Ф1 болатының микроқұрылымының кескіндері мен параметрлерін зерттеу және алу;

-механикалық сипаттамалары, микроқұрылымдық параметрлері және Х12Ф1 болатының микроқұрылымының кескіні туралы деректер негізінде Х12Ф1 қалыптар болатының қасиеттерін зерттеу және талдау.

Ғылыми жаңалығы: штампталған болаттың қасиеттері туралы алынған мәліметтер негізінде болаттың өндірісте жұмысын жақсарту үшін Х12Ф1 маркасының күшті және әлсіз жақтарын анықтау.

АННОТАЦИЯ

Ключевые слова: штамповая сталь, механические свойства штамповой стали: твердость, предел прочности, предел текучести и предел выносливости, построения графиков зависимости на основе данных механических характеристик, микроструктура штамповой стали, параметры микроструктуры штамповой стали: округлость зёрен, отношение сторон зёрен, эксцентриситет и ориентация зёрен, построения гистограмм параметров микроструктуры штамповой стали

Объект исследования: штамповая сталь X12Ф1

Цель работы: Исследования основных свойств штамповой стали после термической обработки.

Задача работы:

-Определения основных механических характеристик штамповой стали X12Ф1;

-Изучения и получения изображения и параметров микроструктуры штамповой стали X12Ф1;

-Исследование и анализ свойств штамповой стали X12Ф1 на основе данных о механических характеристиках, параметров микроструктуры и изображения микроструктуры штамповой стали X2Ф1.

Научная новизна: На основе полученных данных о свойствах штамповой стали определения сильных и слабых сторон марки X12Ф1 для улучшения эксплуатации стали при производстве.

ABSTRACT

Key words: die steel, die steel mechanical properties: hardness, tensile strength, yield strength and endurance limit, plotting based on mechanical characteristics data, die steel microstructure, die steel microstructure parameters: grain roundness, grain aspect ratio, eccentricity and orientation grains, constructing histograms of die steel microstructure parameters

Object of study: die steel X12Φ1

The purpose of the work: Research of the basic properties of die steel after heat treatment.

Tasks of the work:

- Determination of the main mechanical characteristics of die steel X12Φ1;
- Studying and obtaining images and parameters of the microstructure of die steel X12Φ1;
- Research and analysis of the properties of X12Φ1 die steel based on data on mechanical characteristics, microstructure parameters and image of the microstructure of X12Φ1 die steel.

Scientific novelty: On the basis of the obtained data on the properties of die steel, determination of the strengths and weaknesses of the X12Φ1 grade to improve the operation of steel in production.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	10
1 Литературный обзор	11
1.1 Общая характеристика и основные свойства штамповой стали	11
1.2 Химические свойства, микроструктура и состав	11-13
1.3 Механические свойства	14-15
1.4 Физические свойства	15-16
1.5 Технологические свойства	16-18
2 Методическая часть	19
2.1 Обоснование выбора объекта исследования	19
2.2 Основы механического анализа штамповых сталей	19-21
2.3 Основы микроструктурного анализа штамповых сталей	21-22
2.4 Термическая обработка штамповых сталей	22-23
3 Экспериментальная часть	24-25
3.1 Анализ микроструктуры образцов, анализ механических свойств образцов и оценка влияния термической обработки на свойства штамповой стали	25-36
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	37-38
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	39-40
ПРИЛОЖЕНИЕ	41-42

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Изучение свойств штамповой стали после термической обработки важна, поскольку позволяет получить информацию о микроструктуре и механических свойствах материала, что имеет важное значение при выборе и использовании сталей в различных отраслях промышленности.

Научная и практическая значимость:

Научная значимость состоит в исследовании свойств, микроструктуры и состава штамповой стали после термической обработки.

Практическая значимость состоит в том, чтобы выявить достоинства и недостатки штамповой стали для дальнейшего улучшения эксплуатационных свойств, удешевления и внедрения этих качеств в производства.

Цель и задачи исследования:

Цель работы заключается в том, чтобы исследовать свойства штамповой стали после термической обработки.

Задача работы состоит в изучении основных свойства штамповой стали, включая ее химический состав, микроструктуру и механические свойства.

Провести экспериментальные исследования свойств штамповой стали после термической обработки, включая механические испытания и микроструктурный анализ.

Проанализировать полученные результаты и сравнить их с данными литературы.

Методической основой работы является изучение основных свойств и микроструктуру штамповой стали после термической обработки и оборудования для исследования твердости и микроструктуры штамповой стали.

Методы исследования

Механические испытания образцов штамповой стали после термической обработки для определения их механических свойств с помощью микротвердомера.

Микроструктурный анализ образцов штамповой стали после термической обработки с помощью металлографического микроскопа.

Объектам исследования является образец штамповой стали: X12Ф1. Дипломная работа выполнена на кафедре «Материаловедение, нанотехнологии и инженерная физика» Института металлургии и промышленной инженерии.

Основные результаты. Подготовлен литературный обзор, состоящий из трех разделов и включающий литературных источника.

Исследовано свойства штамповой стали после термической обработки образца: X12Ф1.

Объем и структура работы. Дипломная работа состоит из Введения, трёх частей (Литературного обзора, Методической и Экспериментальной части), Заключение, Списка использованной литературы и Приложение. Основной текст работы изложен на 42 страницах машинописного текста, содержит 21 рисунков, 6 таблиц, список использованной литературы состоит из 18 наименованных источников.

1 Литературный обзор

1.1 Общая характеристика и основные свойства штамповой стали

Штамповая сталь — это вид легированной углеродистой стали, которая используется для изготовления штампованных деталей методом холодной и горячей деформации. Она отличается от других видов стали своими высокими показателями пластичности, прочности и износостойкости[2].

Основные свойства штамповой стали важные для понимания её характеристик включает: химические, физические, механические и технологические свойства, а также общее понимание состава и микроструктуры штамповой стали.

1.2 Химический свойства, микроструктура и состав

Штамповая сталь обычно имеет высокую прочность и твердость благодаря своему химическому составу и микроструктуре. Она содержит обычно около 0,3-0,6% углерода, а также многие другие элементы, такие как кремний, марганец, сера, фосфор и другие примеси[3]. В зависимости от конкретного химического состава и способа производства, штамповая сталь может иметь различные свойства. Штамповая сталь обычно содержит большое количество углерода, что важно для достижения желаемого уровня твердости и прочности. Содержание углерода в штамповой стали обычно составляет от 0,5 до 1,5%, в зависимости от конкретной марки и области применения[2]. Легирующие элементы. Штамповая сталь также содержит ряд других легирующих элементов, включая хром, молибден, ванадий и вольфрам[3]. Эти элементы помогают улучшить прочность, твердость и износостойкость стали[2].

Сталь — это сплав железа с углеродом, содержащий менее 2% углерода. Углерод является главным компонентом, влияющим на микроструктуру и свойства стали[1]. В состоянии равновесия микроструктура стали соответствует диаграмме состояния железо-углерод [Приложение Б, рисунок 1], где в твердом состоянии образуются фазы аустенита, феррита и цементита. Аустенит (А) - твердый раствор углерода в γ -железе с кубической гранцентрированной решеткой (ГЦК) и устойчив при температурах выше 727 °С[4, Приложение Б, рисунок 2, рисунок 3]. Феррит (Ф) - твердый раствор углерода в α -железе с кубической объемно-центрированной решеткой (ОЦК) и устойчив при температурах ниже 911 °С[4 Приложение Б, рисунок 2, рисунок 3]. Цементит (Ц) - карбид железа Fe_3C , содержащий 6,67% углерода, и имеющий сложную октаэдрическую решетку; хрупок и тверд[4, Приложение Б, рисунок 2, рисунок 3]. При температурах ниже 727 °С все железоуглеродистые сплавы имеют одинаковый состав - смесь феррита и цементита. Чем больше углерода, тем больше цементита в стали, что приводит к повышению ее твердости и уменьшению пластичности и вязкости. Микроструктура стали формируется в процессе охлаждения из области аустенита при его распаде и зависит от содержания углерода. Перлит - двухфазная структура, состоящая из

чередующихся пластин феррита и цементита, и образующаяся при температуре 727°C при распаде аустенита[4, Приложение Б, рисунок 2, рисунок 3]. Чем больше перлита в структуре стали, тем выше ее прочность. Цементит вторичный (ЦП) - это однофазная структура, которая проявляется в стали при охлаждении ниже линии ES, когда уменьшается растворимость углерода в γ -железе[4, Приложение Б, рисунок 2, рисунок 3]. В медленно охлажденной стали ЦП образуется на границах аустенитных зерен, образуя сетку. При травлении азотной кислотой ЦП выглядит ярко-белым и хорошо отражает свет. Цементит третичный (ЦТ), выделяющийся из феррита, имеет меньшее содержание углерода, и выделяется по линии PQ[4, Приложение Б, рисунок 2, рисунок 3]. Однако металлографически выделяющийся ЦТ не отличается от цементита перлита. Ледебурит является эвтектическим сплавом феррита и цементита в стали[4]. Он образуется при охлаждении расплава стали с определенным содержанием углерода и других легирующих элементов. Ледебурит состоит из пластинчатых участков феррита и цементита и имеет характерный перлитный вид. Мартенсит является одной из возможных фаз стали, образующейся при быстром охлаждении от высокой температуры, такой как закалка[4]. Мартенсит имеет мартенситную решетку и обладает высокой твердостью и хрупкостью. Он образуется без преобразования аустенита в феррит и цементит, что делает его очень твердым и хрупким. Сорбит — это структурная фаза, которая образуется при изотермическом отпуске закаленной стали[4]. Он состоит из изоморфного раствора феррита и цементита. Сорбит обладает мягкостью и ductильностью по сравнению с мартенситом и может образовываться при отпуске мартенсита при определенных температурах. Троостит является структурной фазой стали, которая образуется при умеренном нагреве закаленной стали и последующем медленном охлаждении[4]. Он состоит из агрегатов феррита и цементита, имеет мягкую и ductильную структуру и обладает высокой прочностью. Бейнит является структурной фазой, которая образуется при специальной термической обработке стали[4]. Он состоит из агрегатов белого цементита и пластичного феррита. Бейнит обладает высокой прочностью и ductильностью, и его структура похожа на комбинацию мартенсита и троостита.

Сталь можно разделить на несколько групп в зависимости от микроструктуры. Доэвтектоидные стали содержат углерод от 0,025 до 0,8%, и имеют ферритно-перлитную структуру[4, Приложение Б, рисунок 2]. Эвтектоидная сталь содержит 0,8% углерода и имеет перлитную структуру[4, Приложение Б, рисунок 2]. Заэвтектоидные стали содержат от 0,8 до 2,0% углерода, и имеют перлитные и цементитные структуры[4, Приложение Б, рисунок 2]. В отожженной стали ЦП располагается по границам перлитных зерен в виде сетки. Увеличение содержания углерода в стали приводит к увеличению количества цементита вторичного, что повышает твердость и снижает пластичность, вязкость и прочность стали. Техническое железо, содержащее менее 0,025% углерода, имеет структуру феррита или феррита с включениями цементита третичного ЦТ[4]. Цементит третичный выделяется по границам ферритных зерен в виде отдельных зерен или сетки. Таким образом, знание

микроструктуры стали позволяет определить ее свойства и использовать ее в различных конструкциях. При этом, чтобы избежать пластической деформации и ломкости, необходимо учитывать соотношение между твердостью и пластичностью стали.

Штамповая сталь обладает высокой устойчивостью к окислению, что важно для применений, в которых сталь подвергается воздействию высоких температур и суровых условий[10]. Это свойство достигается за счет использования специальных легирующих элементов, таких как хром, которые образуют защитный оксидный слой, на поверхности стали.

Штамповая сталь также обладает высокой устойчивостью к коррозии, что важно для применений, в которых сталь подвергается воздействию агрессивных сред, таких как кислотные или щелочные растворы[10]. Это свойство достигается за счет использования специальных легирующих элементов, таких как хром и никель, которые образуют защитный слой, на поверхности стали.

Штамповая сталь обладает определенными катализаторными свойствами, которые могут быть использованы в различных процессах химической промышленности[10]. Штамповая сталь может использоваться как катализатор благодаря своей способности к диспергированию других катализаторов и повышению их поверхностной площади. Кроме того, штамповая сталь имеет хорошую устойчивость к высоким температурам, что позволяет ей использоваться в катализаторах, работающих при высоких температурах[10].

Таблица 1.2 – Химический состав штамповых сталей [2,3,10]

Химические свойства	Наименования образцов			
	X12Ф1	5ХНМ	X12	4X5МФС
Устойчивость к коррозии	Неустойчив	Высокая	Неустойчив	Устойчива
Устойчивость к окислению	Неустойчив	Высокая	Неустойчив	Устойчива
Катализаторные свойства	Отсутствуют	Отсутствуют	Отсутствуют	Обладает

В заключение следует отметить, что химические свойства штамповой стали делают ее ценным материалом для изготовления штампов и пресс-форм.

1.3 Механические свойства

Штамповые стали обладают высокой прочностью и механическими свойствами, которые делают их идеальными для использования в различных отраслях промышленности. Одним из ключевых параметров при оценке механических свойств стали является ее предел прочности, который, обычно составляет от 400 до 1200 МПа[6,7]. Предел текучести для штамповой стали обычно составляет от 250 до 1000 МПа[6,7]. Предел пропорциональности является еще одним важным механическим параметром для оценки стали. Этот предел обычно составляет от 200 до 800 МПа[6,7]. Относительный коэффициент удлинения штамповой стали указывает на способность материала растягиваться без разрушения. Он может варьироваться от 10 до 30%[6,7], в зависимости от конкретного типа стали. Ударная вязкость обычно оценивается по методу испытания на ударную вязкость и может варьироваться от 30 до 100 Дж[6,7]. Твердость штамповой стали может быть оценена по различным шкалам, таким как Brinell, Rockwell и Vickers. Твердость штамповой стали обычно составляет от 150 до 300 НВ[6,7]. Выносливость штамповой стали может быть выражена различными показателями, такими как предел усталости, предел текучести при удлинении, деформация при разрушении, и т.д. Конкретное значение зависит от марки и состояния стали, а также от условий эксплуатации.

Таблица 1.3 – Механические свойства штамповых сталей [6,7,8]

Механические свойства	Наименования образцов			
	X12Ф1	5ХНМ	X12	4X5MΦC
Предел прочности, МПа	1200–1600	1000–1300	700–1000	800–1200
Предел текучести, МПа	1100–1400	800–1100	500–700	600–800
Предел пропорциональности, МПа	900–1200	750–900	350–450	500–700
Относительный коэффициент удлинения, %	5 - 10	11 - 15	10 - 15	12 - 16

Ударная вязкость, Дж/см ²	60–80	20–30	20–50	50–100
Твердость, HV	225–265	248–302	230–280	240–280
Выносливость, МПа	650–750	1270–1470	600–700	900–1000

1.4 Физические свойства

Помимо механических свойств, таких как прочность, текучесть и удлинение, штамповая сталь имеет ряд физических свойств, которые также важны при ее использовании.

Плотность штамповой стали зависит от ее состава и может варьироваться от 7,7 г/см³ до 8,1 г/см³[5]. Температура плавления стали обычно составляет около 1500 °С[5], а температура кипения - около 2700 °С[9]. Теплоемкость штамповой стали может варьироваться от 450 Дж/(кг·К) до 540 Дж/(кг·К) в зависимости от состава стали[5]. Теплопроводность определяет способность стали передавать тепло и может варьироваться от 15 Вт/(м·К) до 50 Вт/(м·К)[5,9].

Штамповая сталь может быть как проводником, так и изолятором электричества в зависимости от ее состава и структуры. Электрическая проводимость штамповой стали варьирует от $3,3 \cdot 10^6$ См/м до $6,9 \cdot 10^6$ См/м[5].

Магнитная проницаемость штамповой стали может варьироваться от нескольких единиц до сотен тысяч единиц[9].

Таким образом, физические свойства штамповой стали, такие как плотность, температура кипения и плавления, теплопроводность, электрическая проводимость, магнитная проницаемость и упругость, являются важными факторами при ее использовании в различных промышленных областях.

Таблица 1.4 – Физические свойства штамповых сталей [5,9]

Физические свойства	Наименования образцов			
	X12Ф1	5ХНМ	X12	4X5MФC
Плотность, г/см ³	7,7–7,9	7,7–7,9	7,8	Около 7,8
Температура плавления, °С	1450–1500	1420–1480	1420–1450	1420–1460
Температура	2800–3000	2700–3000	2800–3000	2800–3000

кипения, °С				
Теплоемкость, Дж/(г·К)	0,46	0,46	0,46	0,45
Теплопроводность, Вт/(м·К)	Около 27	Около 38	25	27
Электрическая проводимость, мсм/м	7,5	7,5	1,4–1,6	1,5
Магнитная проницаемость	Низкая	Низкая	Низкая	Обычно низкая

1.5 Технологические свойства

Штамповая сталь является одним из наиболее востребованных материалов в металлургической промышленности благодаря своим технологическим свойствам. Она обладает высокой жаропрочностью, что позволяет использовать ее в условиях высоких температур без потери своих механических свойств[6,7,8]. Штамповая сталь также хорошо справляется с жаростойкостью, что делает ее идеальным материалом для изготовления деталей, которые подвергаются высоким температурам в процессе эксплуатации[6,7].

Кроме того, штамповая сталь обладает хорошей свариваемостью и способностью к обработке, что делает ее удобной для производства сложных деталей[6,7]. Она также обладает высокой ковкостью и устойчивостью к износу, что позволяет использовать ее в условиях повышенной нагрузки и трения[8].

Относительная пластичность штамповой стали позволяет ей деформироваться без разрушения при сжатии и растяжении. Это свойство штамповой стали делает ее идеальным материалом для изготовления изделий с высокой формовочной сложностью, таких как крылья самолетов и корпуса автомобилей[8].

Кроме того, штамповая сталь обладает высокой прокаливаемостью, что позволяет ей сохранять свои механические свойства при изменении температуры. Это свойство делает ее идеальным материалом для изготовления лезвий, ножей и других остроконечных изделий, которые должны сохранять свою остроту и прочность в процессе эксплуатации[8].

Штамповая сталь является сложным материалом, состоящим из различных элементов, которые обеспечивают ее уникальные технологические свойства. Например, жаропрочность и жаростойкость достигаются за счет добавления в состав хрома, молибдена, ванадия и других легирующих элементов. Эти

элементы повышают температуру плавления и улучшают механические свойства при высоких температурах[8].

Свариваемость и способность к обработке достигаются за счет добавления элементов, таких как марганец, кремний и фосфор, которые повышают текучесть и пластичность стали[6,8]. Ковкость достигается за счет добавления в состав углерода и марганца, а устойчивость к износу за счет добавления хрома и ванадия[6]. Относительная пластичность и высокая прокаливаемость достигаются за счет низкого содержания серы и фосфора в составе стали, а закаливаемость за счет добавления кобальта, марганца и никеля[7]. В целом, технологические свойства штамповой стали определяются сложным взаимодействием различных элементов в ее составе.

Таблица 1.5 – Технологические свойства штамповых сталей [6,7,8]

Технологические свойства	Наименования образцов			
	X12Ф1	5ХНМ	X12	4X5МФС
Жаропрочность	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая
Жаростойкость	Отличная	Отличная	Отличная	Отличная
Свариваемость	Низкая	Хорошая	Хорошая	Хорошая
Способность к обработке	Легко	Хорошая	Легко	Легко
Ковкость	Средняя	Высокая	Средняя	Легко
Устойчивость к износу	Хорошая	Высокая	Высокая	Высокая
Относительная пластичность	Низкая	Высокая	Высокая	Высокая

Прокаливаемость	Неплохая	Хорошая	Плохая	Хорошая
-----------------	----------	---------	--------	---------

2 Методическая часть

Любая сталь в своем изначальном составе имеет железо и углерод. Это обычный сплав. В зависимости от поставленной задачи в изделие добавляют химические соединения, которые и оказывают влияние на его дальнейшие характеристики. В свою очередь марка штамповой стали Х12Ф1 имеет ряд особенностей[2,3]: высокая надежность изделия; коррозионная устойчивость (при правильном уходе); длительная работоспособность; сохранение остроты режущей способности долгое время; хорошо поддается прокаливанию; отлично ведет себя в закаливании; устойчив к износу; широкий спектр применения в промышленности.

2.1 Обоснование выбора марки стали

Различные марки является одним из наиболее популярных материалов для использования в различных отраслях промышленности благодаря разнообразию самих сталей. В изучении различных разновидностей марок сталей заинтересованы учёные, крупные предприятия и инженеры для исследования их структуру и как они влияют на свойства этих объектов.

Кроме того, образец штамповой стали Х12Ф1 является отличным материалом для исследования свойств штамповой стали после термической обработки. Это связано с тем, что данная сталь хорошо поддается термической обработке, что позволяет изменять ее свойства в зависимости от нужд производства[2].

В результате термической обработки, сталь Х12Ф1 может приобрести новые свойства, такие как улучшенная коррозионная стойкость и износостойкость[2]. Это позволяет использовать этот материал для создания деталей с неплохими качествами, которые должны выдерживать большие нагрузки и длительное время эксплуатации.

Таким образом, выбор штамповой стали Х12Ф1 для исследования свойств после термической обработки является обоснованным, так как данный материал обладает уникальными свойствами, которые можно использовать для создания качественных и надежных деталей в промышленности.

2.2 Основы механического анализа штамповых сталей

Для правильной эксплуатации штамповых сталей необходимо знать их механические свойства, соответственно нужно провести испытания для дальнейшего анализа стали. В наше время существуют различные способы, в современной науке, для выяснения данных о свойствах материала.

Один из них методов определение механических свойств штамповой стали является определение твердости. Зная эту величину, можно определить основные механические свойства стали материала.

Определить твердость можно на микротвердомере ПМТ-3М.

Микротвердомер ПМТ-3М — это прибор для измерения твердости различных материалов по шкале твердости Роквелла. Он оснащен автоматическим приводом, позволяющим точно наносить нагрузку и измерять глубину впадины, что обеспечивает высокую точность измерений[13].

Микротвердомер ПМТ-3М является одним из наиболее точных приборов для измерения твердости материалов, включая Х12Ф1 штамповую сталь. Его преимущества включают: ПМТ-3М имеет высокую точность измерения твердости материалов, благодаря чему он может дать точные результаты для Х12Ф1 стали[13]; Микротвердомер ПМТ-3М легко использовать благодаря своему автоматическому приводу. Это позволяет быстро и точно измерять твердость Х12Ф1 стали[13]; Измерение твердости методом Роквелла осуществляется путем нанесения небольшой нагрузки на материал, что не приводит к повреждению его свойств[13].

Пирамида, используемая в микротвердомере ПМТ-3М, называется пирамидой Виккерса. Это трехгранный пирамидальный инструмент, который обычно имеет угол между гранями 136° . Для измерения твердости материала пирамида Виккерса наносится на поверхность образца с известной силой, а затем измеряется длина следа, оставленного пирамидой на поверхности материала. Твердость рассчитывается по формуле, которая учитывает силу, на которую наносится пирамида, и длину следа, оставленного на поверхности образца[13].

Принцип работы микротвердомера ПМТ-3М заключается в следующем: пирамида Виккерса наносится на поверхность образца с известной силой, которая может быть установлена с помощью специального весового блока. Затем пирамида поднимается, и на экране отображается длина следа, оставленного на поверхности образца. По этой длине следа можно определить твердость материала с помощью специальных формул[13].

Микротвердомере ПМТ-3М оснащен оптическим микроскопом и цифровой камерой для получения изображения впадины индентора на поверхности материала. Это позволяет более точно измерять размеры впадины и, следовательно, определять твердость материала[13].

Образец помещается на пластину с помощью прессика, дальше используя рукоятку для того, чтобы погрузить алмаз коснулся поверхности материала. После выдержки в течение нескольких секунд возвращаем рукоять в исходное положение. И через окулярный микрометр измеряем через шкалу диагональ отпечатка на исследуемом материале через центр перекрестия к одному краю диагонали и повторяем отсчет с другого края. Рассчитаем среднюю арифметическую диагонали отпечатка.

Значения твердостей определяется по формуле (1) [13]

$$HV = 1,8544 \times \frac{F}{d^2}, \quad (2.1)$$

где HV - твердость по Виккерсу, МПа;

P – нагрузка на пирамиду, Н;

d – длина диагонали отпечатка, мм.

Вычислим предел текучести, прочности и выносливости для этого используется формулы (2), (3), (4) [11]

$$HV=3,62 \times \sigma_{0,2}, \quad (2.2)$$

$$HV=3,16 \times \sigma_B, \quad (2.3)$$

$$\sigma_{-1}=0,47 \times \sigma_B, \quad (2.4)$$

где σ_B - предел прочности, МПа;

σ_{-1} - предел выносливости, МПа;

$\sigma_{0,2}$ - предел текучести, МПа.

Зная твердость, можно из формул (2), (3) найти предел текучести, предел выносливости и в дальнейшем предел прочности. Тогда преобразуем формулы (2), (3)

$$HV = 3,62 \times \sigma_{0,2} \Rightarrow \sigma_{0,2} = \frac{HV}{3,62}, \quad (2.5)$$

$$HV = 3,16 \times \sigma_B \Rightarrow \sigma_B = \frac{HV}{3,16}, \quad (2.6)$$

По вычислительным данным можно будет судить о механических свойствах стали.

2.3 Основы микроструктурного анализа штамповых сталей

На основе изображения микроструктуру материала можно судить о его свойствах. Для этого существуют различные микроскопы для наблюдения структур материала. В случай штамповой стали можно использовать металлографический микроскоп ИММ-901, который обычно используется для анализа металлических образцов и материалов, таких как штамповая сталь. Он позволяет получать изображения микроструктуры материала с высоким увеличением и разрешением, что дает возможность изучать детали структуры на микроуровне.

Металлографический микроскоп ИММ-901 оснащен оптической системой, которая позволяет производить измерения и наблюдения за микроструктурой материала в отраженном свете. Это позволяет определить микроструктуру, такие как зерна и включения, которые могут быть невидимыми в других типах микроскопов[12].

ИММ-901 также имеет возможность съемки изображений и создания фотографических снимков, которые могут использоваться для анализа и документирования результатов исследования[12].

Металлографический микроскоп ИММ-901 обладает рядом преимуществ, которые делают его лучшим выбором для наблюдения и анализа микроструктуры штамповой стали: ИММ-901 может обеспечить высокое разрешение изображений благодаря высокому увеличению, которое достигает до 1000-кратного увеличения. Это позволяет наблюдать мельчайшие детали микроструктуры стали, такие как фазы, зерна и дислокации[12]; ИММ-901 является относительно простым в использовании микроскопом, который обладает интуитивно понятным интерфейсом и широкими возможностями настройки[12]. Это делает его доступным для использования даже тем, кто не имеет большого опыта в работе с металлографическими микроскопами.

По микроструктуре штамповой стали можно составить объективную картину о строениях и свойствах материала.

2.4 Термическая обработки штамповых сталей

Рассмотрим, как X12Ф1 металл подвергался термическим обработкам.

Ковка — это технология обработки металлов, при которой металлические заготовки превращаются в готовые изделия путем их формования под воздействием ударной или пластической деформации при высокой температуре[1].

Закалка, отжиг и отпуск — это термические обработки металлов, направленные на изменение их механических и физических свойств.

Закалка осуществляется путем нагрева металла до определенной температуры, затем его быстрого охлаждения, что приводит к образованию мартенситной структуры. Закалка повышает твердость и прочность металла, но уменьшает его пластичность. В зависимости от типа стали и требуемых механических свойств, закалка может быть проведена в воде, масле, воздухе или другом средстве охлаждения[1].

Отжиг — это процесс нагрева металла до определенной температуры, с последующим медленным охлаждением в специальном режиме, например, в печи. Отжиг улучшает пластичность и уменьшает твердость металла, снижает внутренние напряжения и улучшает его обработку[1].

Отпуск — это процесс нагрева закаленного металла до определенной температуры, с последующим его медленным охлаждением. Отпуск направлен на уменьшение внутренних напряжений, улучшение пластичности и увеличение прочности металла[4].

Общие характеристики этих процессов заключаются в том, что они направлены на изменение микроструктуры металла, что в свою очередь влияет на его механические свойства.

В самой термической обработке использовались следующие оборудование: печь ПН-12, камерная печь Г-30. Камерная электрическая печь,

ванная-печь с температурой подогрева до 300 – 350°C, 2-ой подогрев в ванне-печи до 650 – 700°C, Окончательный нагрев в ванне-печи до 1000 – 1020°C. В конце электродная соленая ванна.

Ковка также может приводить к изменениям микроструктуры материала, так как при этом процессе металл подвергается интенсивным механическим воздействиям. В результате этого происходят изменения в кристаллической решетке, что приводит к улучшению механических свойств материала. Кроме того, при ковке также могут удаляться дефекты и неровности поверхности металла. Послековки штамповой стали достигается твердость HRC 52 – 54.

Отжиг является процессом нагрева материала до определенной температуры, при которой происходит рекристаллизация зерен, что приводит к уменьшению твердости и увеличению пластичности материала. При рекристаллизации зерна начинают перерастать и вытягиваться, образуя новую структуру, в которой уже нет следов деформации. Часто в процессе отжига также происходит разделение аустенита, образующегося при нагреве, на зерна других фаз. После отжига твердость стали становится равной не более HB 255 для стали X12Ф1. Структура стали после отжига: Пз +КІ +КІІ – оптимальная для последующей качественной закалки.

В результате закалки происходит переход материала в мартенситную фазу, которая характеризуется высокой твердостью, но низкой пластичностью. При закалке зерна материала охлаждаются настолько быстро, что не успевают перерастать, поэтому материал приобретает характерную мартенситную микроструктуру. После закалки в структуре штамповых сталей обязательно присутствует остаточный аустенит. Его количество зависит от получаемой степени легированности при нагреве под закалку. С увеличением легированности твердого раствора доля остаточного аустенита возрастает. Присутствие остаточного аустенита снижает твердость на 0,5–2,0 единицы HRC, предел текучести – примерно на 50 МПа на каждый процент аустенита. Микроструктура: М+КІ (5-10%)+Аост (до 20%). После закалки твердость стали X12Ф1 HRC 63–65.

В отпуске происходит превращением мартенсита в более пластичные фазы. В результате отпуска образуется байнитная структура, которая состоит из аустенита и тонких игольчатых участков цементита. Отпуск уменьшает твердость и увеличивает пластичность материала, что может быть важным для его дальнейшего использования в конструкциях. В результате отпуска твердость повышается до HRC 57–59. теплостойкость T=420°C, удовлетворительная прочность и вязкость, высокое сопротивление малым пластическим деформациям. Структура стали: М+КІ (10-15%)+Аост (до10%).

3 Экспериментальная часть

Был взят образец X12Ф1 для экспериментальной части. Образец X12Ф1 имел вид штампового диска. Образец предварительно подвергся термической обработке, был протравлен, отшлифован (отполирован).

В дальнейшем образец X12Ф1 был исследован 2 методами: микроструктурным анализом через металлографический микроскоп ИММ-901 и механическим испытанием на микротвердомере ПМТ-3М.

В результате исследование объекта через микроскоп получили изображение его микроструктуры



Рисунок 3.1 – Микроструктура штамповой стали X12Ф1

После этого получили показатель твердости на микротвердомере с сериями измерения и вычислили предел текучести, прочности и выносливости для этого используется формулы (2.1),(2.4),(2.5), и (2.6) с расчетом на Excel

Таблица 3 данные о твердости, предела текучести, предела прочности и предела выносливости штамповой стали и с нагрузки $P= 5.5Н$ и далее [1,2,3,6,7]

P,Н	d,мм	HV,МПа	$\sigma_{0,2}$,МПа	σ_B ,МПа	σ_{-1} ,МПа
0.5	0.0022	191528.9256	52908.54299	60610.4195	28486.89716
1	0.0024	321875	88915.74586	101859.1772	47873.81329
1.5	0.0025	444960	122917.1271	140810.1266	66180.75949
2	0.0024	643750	177831.4917	203718.3544	95747.62658
2.5	0.0023	876181.4745	242039.0813	277272.6185	130318.1307
3	0.0022	1149173.554	317451.2579	363662.517	170921.383
3.5	0.0026	959911.2426	265168.8515	303769.3806	142771.6089

4	0.0027	1017283.951	281017.6659	321925.3008	151304.8914
4.5	0.0021	1891836.735	522606.8328	598682.511	281380.7802
5	0.0023	1752362.949	484078.1627	554545.237	260636.2614
5.5	0.0025	1631520	450696.1326	516303.7975	242662.7848
6	0.0022	2298347.107	634902.5159	727325.034	341842.766
6.5	0.0027	1653086.42	456653.7071	523128.6138	245870.4485
7	0.0026	1919822.485	530337.7031	607538.7611	285543.2177
7.5	0.0022	2872933.884	793628.1448	909156.2925	427303.4575
8	0.0026	2194082.84	606100.2321	694330.0127	326335.106
8.5	0.0025	2521440	696530.3867	797924.0506	375024.3038
9	0.0027	2288888.889	632289.7483	724331.9269	340436.0056
9.5	0.0025	2818080	778475.1381	891797.4684	419144.8101

По этим данным можно судить о механических свойствах материала.

3.1 Анализ микроструктуры образцов, анализ механических свойств образцов и оценка влияния термической обработки на свойства штамповой стали

На основе данных механических свойств стали X12Ф1, можно построить графики зависимости одного показателя от другого. И на их основе анализировать образцы. Данные графики строились на программе Python.

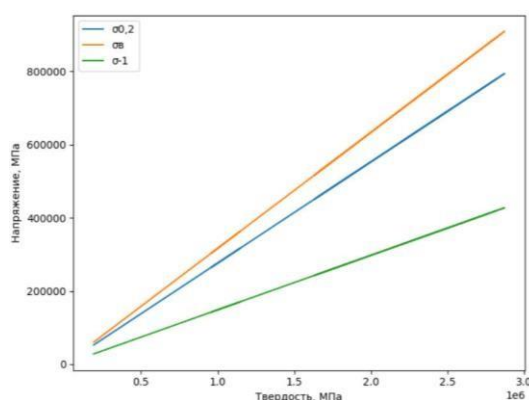


Рисунок 3.2 - Зависимости предела текучести, прочности и выносливости от твердости

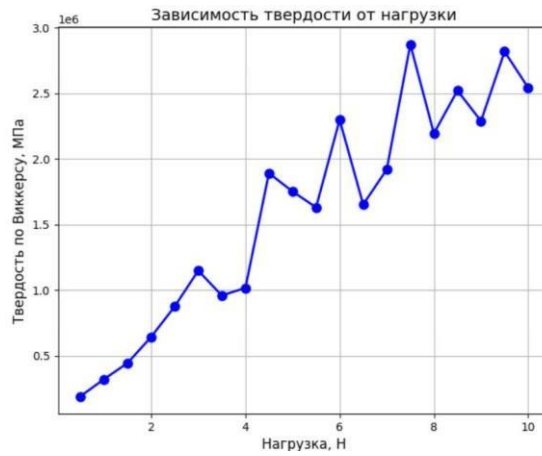


Рисунок 3.3 - Зависимость твердости от нагрузки

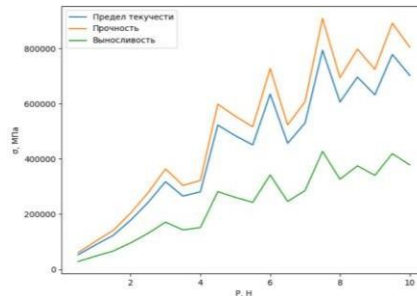


Рисунок 3.4 - Зависимости предела текучести, прочности и выносливости от нагрузки

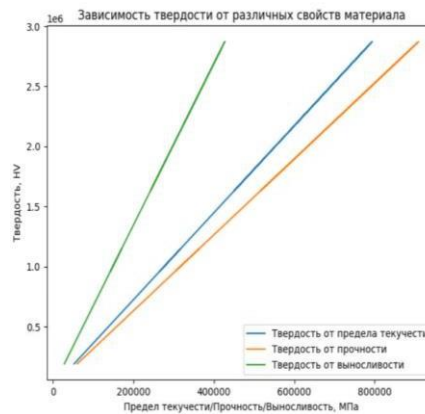


Рисунок 3.5 - Зависимости твердости от предела текучести, прочности и выносливости.

Из рисунков 3.2–3.5 предел выносливости не увеличивается, в свою очередь твердость, предел прочности и предел текучести достигает высоких значений. При увеличении этих показателей их значения уменьшаются, а предел

выносливости увеличивается. Это значит, что цикл нагрузки, оказываемой на материал, увеличивается, но теряет свою прочность. Поэтому сталь X12Ф1 имеет высокую прочность, но при высоких нагрузках легко разрушается и является хрупким материалом.

Для дальнейшего анализа свойств стали, можно построить графики зависимости механических свойств от содержания элементов в составе образца.

Единица измерения массовая - доля элемента в %, X12Ф1 имеет состав[2,3]:1,25-1,45 - углерод, 0,10-0,40 кремния, 0,15-0,45 марганца, 11,00-12,50 хром, 0,70-0,90 ванадия, менее 83,6 железа. Построим графики зависимости твердости, предел прочности, предел текучести и предел выносливости от состава углерода, железа, ванадий и хрома.

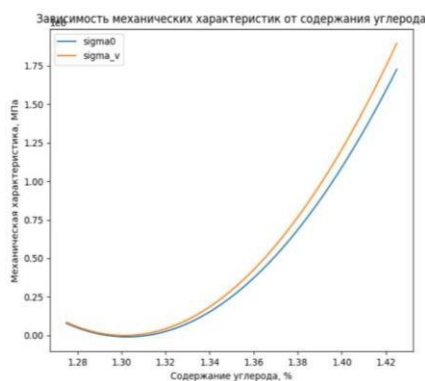


Рисунок 3.6 - Зависимости предела прочности и текучести от содержания углерода

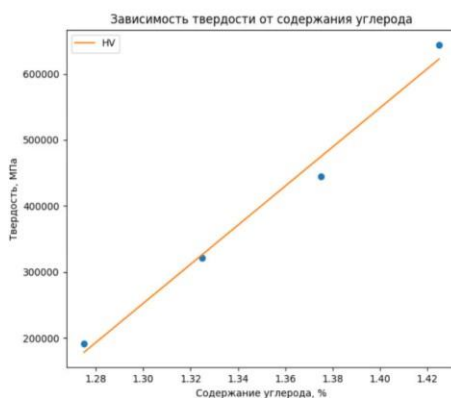


Рисунок 3.7 - Зависимости твердости от содержания углерода

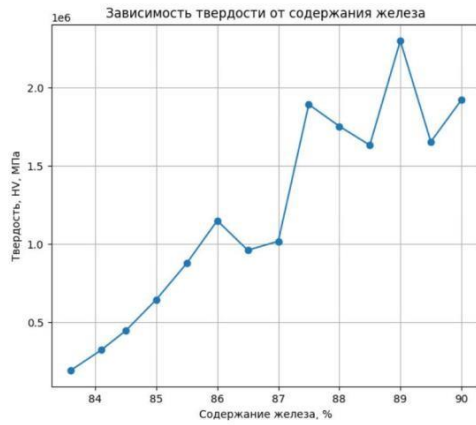


Рисунок 3.8 - Зависимость твердости от содержания железа

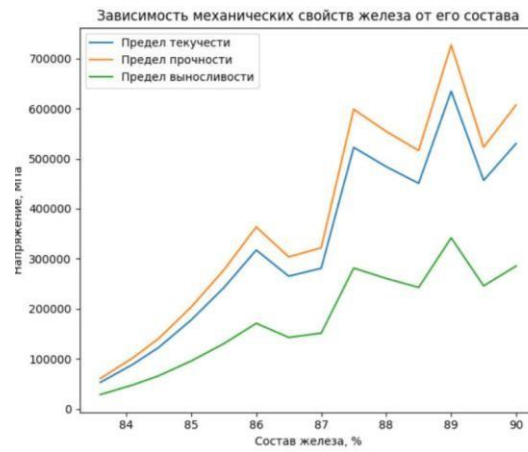


Рисунок 3.9 - Зависимости предела текучести, предела прочности и предела выносливости от содержания железа

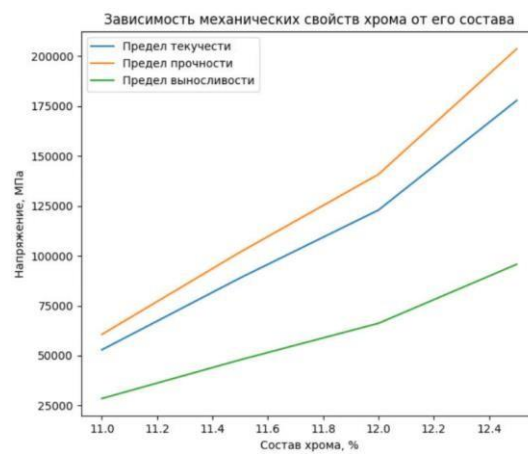


Рисунок 3.10 - Зависимости предела текучести, предела прочности и предела выносливости от содержания хрома

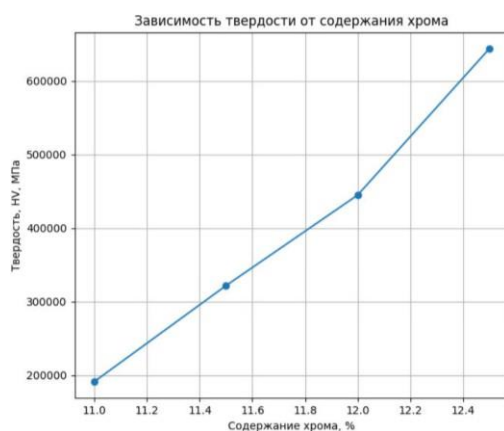


Рисунок 3.11 - Зависимость твердости от содержания хрома

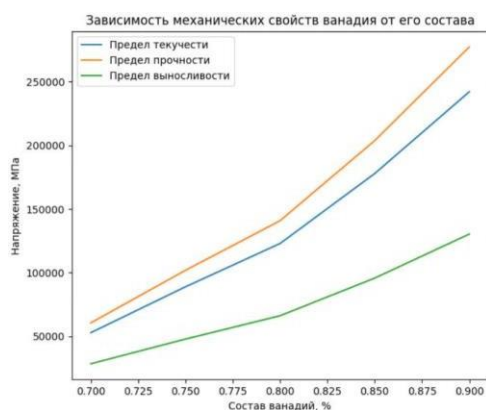


Рисунок 3.12 - Зависимости предела текучести, предела прочности и предела выносливости от содержания ванадия

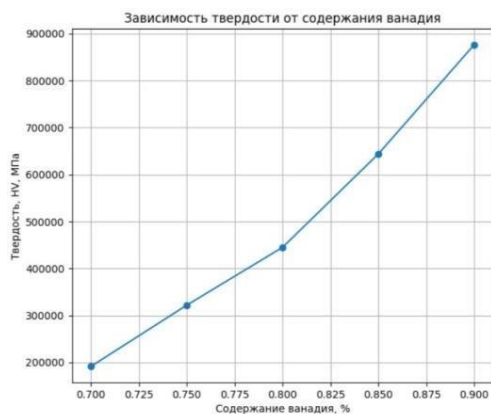


Рисунок 3.13 - Зависимость твердости от содержания ванадия

Из рисунков 3.6–3.7 предел прочности, предел текучести и твердости увеличивается при высоком содержаний углерода, но уменьшается пластичность. Поэтому предел выносливости уменьшается. Из рисунков 3.8-3.9 твердость, предел прочности и предел текучести увеличивается, но предел выносливости уменьшается из-за уменьшения вязкости. Из графика видно, что твердость материала увеличивается с увеличением содержания железа в нем до определенного значения, после чего начинает уменьшаться. Это объясняется тем, что при увеличении содержания железа происходит упрочнение материала за счет образования ферритной структуры, однако при дальнейшем увеличении содержания железа происходит переход к перлитной структуре, что приводит к уменьшению твердости. Из рисунков 3.10-3.11 за исключением предела выносливости, все показатели прочностей и твердость увеличиваются. При низких значениях содержания хрома предел выносливости сравнительно низкий, однако с ростом содержания хрома этот показатель увеличивается. Однако при дальнейшем увеличении содержания хрома происходит насыщение этого эффекта, и дальнейшее увеличение содержания хрома уже не приводит к существенному росту предела выносливости. Из рисунков 3.12-3.13 показатели твердости и пределов прочности и текучести увеличиваются, однако предел выносливости уменьшается. Это может быть связано с тем, что добавление ванадия в сталь может приводить к образованию карбидов ванадия, которые уменьшают пластичность материала и, следовательно, снижают его способность к деформации без разрушения. Также, увеличение содержания ванадия может привести к образованию более крупных зерен, что также негативно влияет на пластичность стали.

Теперь можем составить для оценки графики зависимости механических свойств стали от температуры обработки. Температура отпуска 350–400 °С. График зависимости твердости, предела прочности, предела выносливости и предела текучести от температуры отпуска.

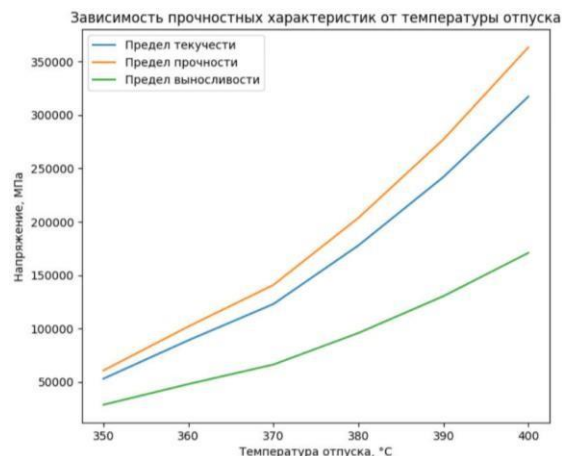


Рисунок 3.14 - Зависимости предела текучести, предела прочности и предела выносливости от температуры отпуска

Из рисунка 3.14 можно сделать следующие выводы о зависимости предела текучести, предела прочности и предела выносливости от температуры отпуска для штамповой стали Х12Ф1: Предел текучести и предел прочности имеют общую тенденцию - они сначала растут с повышением температуры отпуска, достигая максимума при температуре около 550-600 °С [1], а затем начинают снижаться при дальнейшем увеличении температуры. Предел выносливости имеет противоположную тенденцию - он сначала снижается при увеличении температуры отпуска, достигая минимума при температуре около 550-600 °С, а затем начинает повышаться при дальнейшем увеличении температуры. В интервале температур от 350 до 400 °С наблюдается рост предела текучести и предела прочности, а предел выносливости остается примерно на одном уровне.

Таким образом, для достижения максимальной прочности и текучести штамповой стали Х12Ф1 рекомендуется производить отжиг при температурах около 550-600 °С, а для достижения максимальной выносливости - при температурах ниже 550 °С[1].

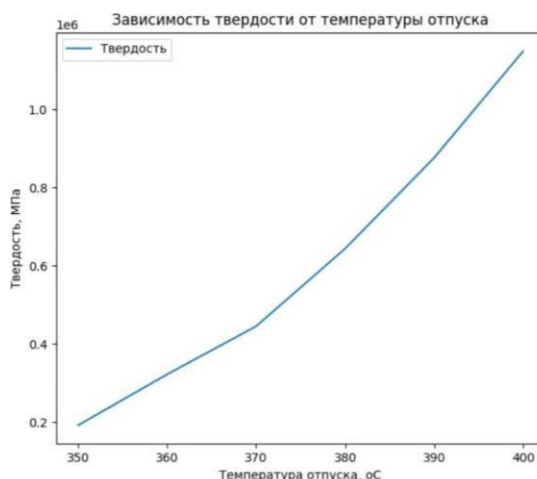


Рисунок 3.15 - Зависимость твердости от температуры отпуска

Рисунок 3.15 показывает зависимость твердости штамповой стали Х12Ф1 от температуры отпуска в диапазоне 350–400 °С. Из графика видно, что твердость увеличивается с увеличением температуры отпуска, достигая максимума при примерно 400 °С. При этом твердость наиболее чувствительна к изменениям температуры в интервале от 350 до 375 °С.

В целом, рисунок 3.15 позволяет оценить оптимальные параметры отпуска для достижения необходимых свойств стали.

Для того, чтобы проанализировать состав микроструктуры X12Ф1, помимо собственных выводов, может выяснит ключевые параметры изображение образца[14,15,16,17]:

1. Округлость (Roundness) — это мера, которая показывает, насколько близки зерна к идеальному кругу. Она вычисляется как отношение площади квадрата периметра зерна и может принимать значения от 0 (для линейных объектов) до 1 (для идеальных кругов);

2. Эксцентриситет (Eccentricity) — это мера, которая показывает, насколько овальной формы является зерно. Она вычисляется как отношение длинной оси эллипса, который наилучшим образом соответствует зерну, к короткой оси;

3. Соотношение сторон (Aspect Ratio) — это отношение длинной оси зерна к короткой оси;

4. Ориентация (Orientation) — это угол между главной осью зерна и горизонталью. Она измеряется в градусах и может быть любым значением от 0 до 180;

Для нахождения этих параметров использовалась программа MATLAB. В результате программа выдала следующие данные

Таблица 3.1 данные параметры микроструктуры штамповой стали

Округлость	Эксцентриситет	Отношение сторон	Ориентация, °
0.550843448	1.006173442	1.006173442	69.96388396
65535	1	1	0
2.551915845	1.552985739	1.552985739	71.56505118
65535	1	1	0
65535	1	1	0
3.940680989	1.463850109	1.463850109	-45
65535	1	1	0
6.542258754	2	2	0
6.542258754	2	2	0
6.542258754	2	2	0
2.453347033	3	3	90
65535	1	1	0
0.928750721	2.48752962	2.48752962	-37.98187827
0.824773649	1.891168788	1.891168788	37.2525757
65535	1	1	0
6.542258754	2	2	0
2.169210983	1.068846684	1.068846684	0

1.101821451	2.648131812	2.648131812	22.85365968
1.789393056	2.702025135	2.702025135	-28.15496624
6.542258754	2	2	0
6.542258754	2	2	90
1.786740658	1.55367638	1.55367638	-24.40703742
2.551915845	1.552985739	1.552985739	-18.43494882
6.542258754	2	2	0
6.542258754	2	2	0
1.49116088	1.586742374	1.586742374	49.06505118
1.968662455	2	2	-18.43494882
6.542258754	2	2	0
2.478064461	1.5	1.5	0
0.395333768	1.811296536	1.811296536	-38.02903524
6.542258754	2	2	90
*Примечание: 65535-погрешность при расчете не учитывается			
Средний и общие показатели параметров зерна:			
Эксцентриситет: 0.4156			
Округлость зерен: 0.9032			
Отношение сторон: 1.6279			
Ориентация зерен: минус 5.5133			
Диаметр: 8.6333 мкм			
Массовая доля фаз 1: 0.2253			
Массовая доля фаз 2: 0.7747			
Плотность зерен: 0,0007297 зерно/мкм ²			
Балл зерен микроструктуры стали: 0.888065			

По этим данным составляем от округлости зёрен, эксцентриситета, отношение сторон, ориентации анализа[1,18]:

1. Статистический анализ - оценивает распределение каждого показателя, нужно построить гистограммы для каждого показателя, данные были выведены на программе Python;

2. Корреляционный анализ - оценивает взаимосвязь между различными показателями. Для этого нужно использовать корреляционную матрицу, которая показывает коэффициенты корреляции между всеми возможными парами показателей. Это поможет определить, какие показатели взаимосвязаны, и какая связь между ними, данные были выведены на программе Python;

3. Анализ микроструктуры - на основе по форме и размеру зёрен, их расположение, ориентацию и другие особенности. Сравнить эти данные с результатами статистического и корреляционного анализа, чтобы понять, какие свойства материала связаны с микроструктурой.

	округлость	эксцентриситет	отношение сторон	ориентация
округлость	1.000000	0.310522	0.310522	0.204608
эксцентриситет	0.310522	1.000000	1.000000	0.126629
отношение сторон	0.310522	1.000000	1.000000	0.126629
ориентация	0.204608	0.126629	0.126629	1.000000

Рисунок 3.16 - Данные корреляционной матрицы параметров микроструктуры штамповой стали X12Ф1

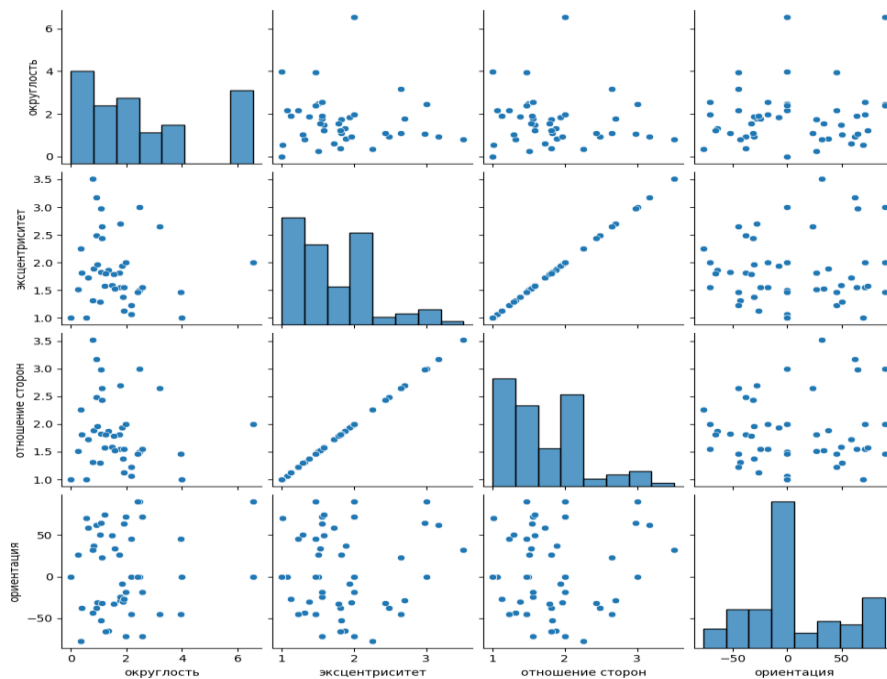


Рисунок 3.17 - Графики корреляционных данных параметров микроструктуры штамповой стали и их гистограммы X12Ф1

По микроструктуре и данных об гистограммах 3.17 и корреляционного анализа 3.16 можно проанализировать микроструктуру и сделать несколько выводов:

1. По гистограмме округлости значение округления зерен в микроструктуре стали X12Ф1 после отпуска принимает основное значение 0, то это может говорить о том, что зерна металла имеют более однородный размер, что может повысить механическую прочность и устойчивость к различным воздействиям. Если при этом встречаются небольшие значения 1,2,3,4, то это может свидетельствовать о наличии некоторых неоднородностей в

микроструктуре, которые могут оказывать негативное влияние на механические свойства стали. Обычно, при более крупных зернах металла, механические свойства могут ухудшаться, так как при нагружении металл может легче деформироваться между зернами[14,15,16,17]. Однако, слишком мелкие зерна могут быть более хрупкими, что также может ухудшить механические свойства. В целом, округленные зерна, в отличие от более крупных или более мелких, могут обеспечивать более равномерные свойства стали, такие как прочность, пластичность и устойчивость к различным видам нагрузок. С учетом данных о микроструктуре, полученных после отпуска, и на основе рисунка 3.1, можно сказать, что прочность материала увеличилась за счет более округлых зерен, из-за наличия карбида и мартенсита, но уменьшается из-за остаточного аустенита.

2. Эксцентриситет зерен микроструктуры может оказывать влияние на механические свойства стали. Значения эксцентриситета 1 и 2 не являются критически высокими, поэтому в целом микроструктура стали X12Ф1 должна обладать хорошей прочностью и стойкостью к различным механическим нагрузкам[14,15,16,17]. Это достигается за счет мартенсита и карбидов из рисунка 1.

3. Наибольшее значение эксцентриситета зерен микроструктуры штамповой стали X12Ф1 равно 2, то это может указывать на более равномерное распределение зерен и их форму в форме приблизительного шара[14,15,16,17]. Это может улучшить механические свойства стали, такие как усталостная прочность и ударная вязкость. Это достигается за счет карбидов (рисунок 3.1).

4. Ориентация зерен микроструктуры стали X12Ф1 после отпуска в основном близка к 0 градусам, то есть зерна ориентированы вдоль одного направления. Это может указывать на то, что сталь имеет высокую анизотропию свойств вдоль и поперек направления зерен[14,15,16,17]. Кроме того, наличие небольших промежутков с ориентацией зерен отличной от 0 может говорить о наличии деформаций в процессе обработки стали, что также может влиять на ее свойства. Деформации возникли за счет остатков аустенита (рисунок 3.1).

5. Значения эксцентриситета и соотношение сторон имеют корреляционную матрицу, которая показывает значение 1, это означает, что между этими двумя переменными существует положительная линейная связь. то это также может указывать на предпочтительное направление кристаллических зерен. В свою очередь, эти предпочтения (1,2) могут улучшить механические свойства штамповой стали.

6. Из данных можно сделать следующие выводы: эксцентриситет зерна равен 0.4156[14,15,16,17], что означает, что зерно имеет вытянутую форму. Округлость зерен равна 0.9032[14,15,16,17], что говорит о том, что зерна имеют достаточно округлую форму. Отношение сторон зерен составляет 1.6279[14,15,16,17], что может указывать на то, что зерна имеют неодинаковый размер или неидеальную форму. Ориентация зерен равна минус 5.5133, что говорит о том, что зерна не ориентированы в одном направлении. Массовая доля фаз 1 составляет 0.2253, а массовая доля фаз 2—0.7747, что говорит о том, что в микроструктуре присутствуют две различные фазы, и легирующие элементы

составляют большую массовую долю. Балл зерна равен 0.888065[14,15,16,17], что говорит о том, что микроструктура стали имеет хорошее качество (т.е. однородное) и содержит достаточное количество зерен.

На основе данных о микроструктуре на рисунке 3.1 [Приложение А, рисунок 1], можно сделать анализ и сравнить со статистическими и корреляционными данными. Как видно, из рисунка 3.1 [Приложение А, рисунок 1]: ферритно-перлитную структуру с карбидами включения с остаточным аустенитом. Это структура придает высокие показатели твердости и прочности. Балл примерно совпадает с экспериментальными данными. В целом микроструктурный анализ совпадает с статистическими и корреляционными данными и лишь подтверждает полученные данные.

Теперь сравним с имеющимися данными из литературы о других марках стали: сталь 5ХНМ содержит хром, молибден, никель и марганец в качестве легирующих элементов. Эти элементы повышают прочность и твердость стали, улучшают ее ударную вязкость при низких температурах и улучшают способность к закалке. Однако, высокое содержание молибдена может привести к ухудшению свариваемости стали[6,7]. Сталь Х12 содержит ванадий и молибден в качестве легирующих элементов. Эти элементы повышают твердость, прочность, усталостную прочность и улучшают способность к закалке. Однако, высокое содержание ванадия может привести к ухудшению свариваемости стали[7]. Сталь 4Х5МФС содержит хром, молибден, ванадий и никель в качестве легирующих элементов. Эти элементы повышают прочность, твердость и усталостную прочность стали, а также улучшают ее способность к закалке. Однако, высокое содержание молибдена может привести к ухудшению свариваемости стали[6]. Таким образом, при сравнениях данных сталь Х12Ф1 имеет хорошие показатели твердости и прочности, помимо железа и углерода, повышают эти характеристики, в свою очередь излишнее количество легирующих элементов (5ХНМ, 4Х5МФС) или недостаток (Х12) может привести к ухудшению технологических свойств, поэтому сталь Х12Ф1 является оптимальной при выборе в производстве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе полученных данных штамповой стали X12Ф1 и анализе можно сделать следующие выводы:

В результате штамповая сталь X12Ф1 обладает высоким показателем твердости, пределов прочности и текучести, но при этом имеет низкий показатель из-за предела выносливости, склона к хрупкости и образованию трещин. Для достижения оптимальных характеристик для эксплуатации нужно увеличить предел отпуска от 350 до 370 °С. При интервале 300-400 °С предел выносливости не меняется. Тогда твердость и пределы прочности и текучести увеличиваются, сама сталь не теряет свои сильные стороны. Предел легирования хрома при увеличений даст высокую выносливость, легирование ванадия нужно выдержать в 0,8 %, чтобы в процессе не образовались более крупные зерна, так как это может уменьшить пластичность. Железо необходимо при отжиге выбрать оптимальную температуру для того, чтобы в составе микроструктуры стали остался остаточный феррит для обеспечения высокой твердости, но при этом необходимо небольшое содержание для превращения большей части феррита в перлит, чтобы обеспечить пластичность стали. Значения углерода влияет на прочность, поэтому можно в процессе термической обработки в % - средние показатели содержания углерода выдержать для достаточной прочности, но не более (высокие показатели повредят пластичности). Параметры микроструктуры штамповой стали X12Ф1 имеют отличные показатели и за счет мартенсита и карбидов сталь демонстрирует высокую прочность и твердость, но из-за остаточного аустенита имеем небольшую склонность к ухудшению механических свойств. Поэтому в процессе отжига, закалки, нужно подобрать соответствующие температуры, чтобы в процессе отпуска аустенита был в интервале 5–10 %. После отпуска необходимо содержание аустенита в 5 %.

При этом состав такого количества ванадия и хрома позволит приобрести слабую устойчивость к коррозии, но не более. Помимо таких компромиссов при легировании и температуре термической обработки, можно получить неплохую относительную пластичность, хорошую устойчивость к износу, уже с учетом высокой способностью обработки, средней ковкости и жаропрочностью возможно получить неплохой материал с малыми недостатками.

Данные рекомендации на основе экспериментальных данных позволят получить штамповую сталь X12Ф1 с компромиссом пределов прочности, и текучести, твердости и пределом выносливости. Прочную сталь, которая может выдержать длительную нагрузку без разрушения и образования трещин при эксплуатации с высокими механическими и технологическими свойствами.

При выполнении работы получены следующие результаты:

1. Механические свойства штамповой стали X12Ф1: Проведены серий механический испытаний на микротвердомере ПМТ-3М на образце штамповой стали X12Ф1, найдены показатели твердости и проведены расчеты через данные о твердости: пределы прочности, предела текучести и пределы выносливости на

Excel; По данным механических показателей, температурой отпуска и содержания штамповой стали X12Ф1 построены на Python графики: Зависимости предела текучести, прочности и выносливости от твердости; Зависимость твердости от нагрузки; Зависимости предела текучести, прочности и выносливости от нагрузки; Зависимости твердости от предела текучести, прочности и выносливости; Зависимости предела прочности и текучести от содержания углерода; Зависимости твердости от содержания углерода; Зависимость твердости от содержания железа; Зависимости предела текучести, предела прочности и предела выносливости от содержания железа; Зависимости предела текучести, предела прочности и предела выносливости от содержания хрома; Зависимость твердости от содержания хрома; Зависимости предела текучести, предела прочности и предела выносливости от содержания ванадия; Зависимость твердости от содержания ванадия; Зависимости предела текучести, предела прочности и предела выносливости от температуры отпуска; Зависимость твердости от температуры отпуска;

2. Микроструктурный анализ штамповой стали X12Ф1: Изображения микроструктуры штамповой стали X12Ф1 получена на металлографическом микроскопе IMM-901; По программе MATLAB получены данные о параметрах микроструктуры на основе изображения; Построены на Python гистограммы параметров микроструктуры: округлость, эксцентриситет, соотношение сторон и ориентации зёрен и выведена корреляционная матрица параметров микроструктуры.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология термической обработки металлов / Самохоцкий А.И., Парфеновская Н. Г. – М.: Машиностроение, 1976. - 311с.
2. Штамповые стали / Позняк Л.А., Скрынченко Ю.М., Тишаев С.И. – М.: 1980. - 244с.
3. D.A. Romanov, E.A. Martusevitch, V.E. Gromov, Yu.F. Ivanov, A.P. Semin, A.D. Filyakov, "STRUCTURE AND PROPERTIES OF DIE STEELS MODIFIED BY ELECTROEXPLOSION METHOD" ВРМС, Vol.15, No.1, 2018, pp. 143-149
4. Материаловедение / Л.Н. Курдюмов- М.: Машиностроения, 2020. - 54 с.
5. Физические свойства сталей и сплавов, применяемых в энергетике, справочник, М. – Л., изд-во. «Энергия», 1967.- 240с.: черт.
6. Марочник сталей и сплавов. 4-е изд., переработ. и доп. / Ю.Г. Драгунов, М28 А.С. Зубченко, Ю.В. Каширский и др. Под общей ред. А.С. Зубченко – М.: 2014. - 1216 с.: илл.
7. Марочник сталей и сплавов. 2-ое изд., доп. и испр. / А.С. Зубченко, М.М. Колосков, Ю.В. Каширский и др. Под общей ред. Ю.Г. Драгунова и А.С. Зубченко – М.: Машиностроение, 2003. 784 с.: илл.
8. Методология выбора металлических сплавов и упрочняющих технологий в машиностроении : учебное пособие : в 2 т. Т. I. Стали и чугуны / М. А. Филиппов, В. Р. Бараз, М. А. Гервасьев, М. М. Розенбаум. – 2-е изд., испр. – Екатеринбург : Издво Урал. ун-та, 2013. – 232 с.
9. Материаловедение: учеб. для студентов вузов / В. С. Кушнер, А. С. Верещака, А. Г. Схиртладзе, Д. А. Негров, О. Ю. Бургонова.; под ред. В. С. Кушнера. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2008. – 232 с.
10. Основы материаловедения. Конструкционные материалы: учебное пособие / Ж.Г. Ковалевская, В.П. Безбородов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 110 с.
11. Ефименко Л.А., Прыгаев А.К., Определение фактических механических свойств металла трубопроводов на основе измерения твердости: Учебное пособие - М : РГУ нефти и газа, 2007 – 18 с.
12. Металловедение: макро- и микроскопический анализ металлов: учебно-методическое пособие / Л.П. Шестопалова, Т.Е. Лихачёва. – М.: МАДИ, 2017. – 56 с.
13. Основы материаловедения (металлообработка) : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / [В. Н. Заплатин, Ю. И. Сапожников, А. В. Дубов и др.] ; под ред. В. Н. Заплатина. — 8-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2017. — 272 с.
14. V. Özdalyan, S. Candan, H. Yılmaz, "The effect of grain orientation and deformation ratio on surface quality and hardness in wire drawing", Journal of Materials Research and Technology, Vol. 8, No. 4, 2019, pp. 4536-4545.
15. Y. Zhai, L. Wang, M. Xu, "Effect of crystallographic orientation on fatigue crack initiation behavior in TC4 titanium alloy", Materials Science and Engineering: A, Vol. 742, 2019, pp. 86-94.

16.S. Yıldırım, Ş. Kılıç, B. Darendeliler, "Effects of grain size and shape on the mechanical properties of polycrystalline diamond compacts", *Diamond and Related Materials*, Vol. 92, 2019, pp. 149-156.

17.J. Hu, Y. Zhu, Y. Zhang, H. Ma, "Influence of grain size and shape on the tribological properties of nanocrystalline tungsten carbide coatings", *Applied Surface Science*, Vol. 471, 2019, pp. 874-882.

18.Hotelling, H. (1933). Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of Educational Psychology*, 24(6), 417.

Приложение А

Цвета для каждого типа элемента по программе MATLAB: austenite (аустенит) - красный цвет [255, 0, 0]; carbide (карбид) - желтый цвет [255, 255, 0]; martensite (мартенсит) - синий цвет [0, 0, 255]; bainite (бейнит) - зеленый цвет [0, 255, 0].

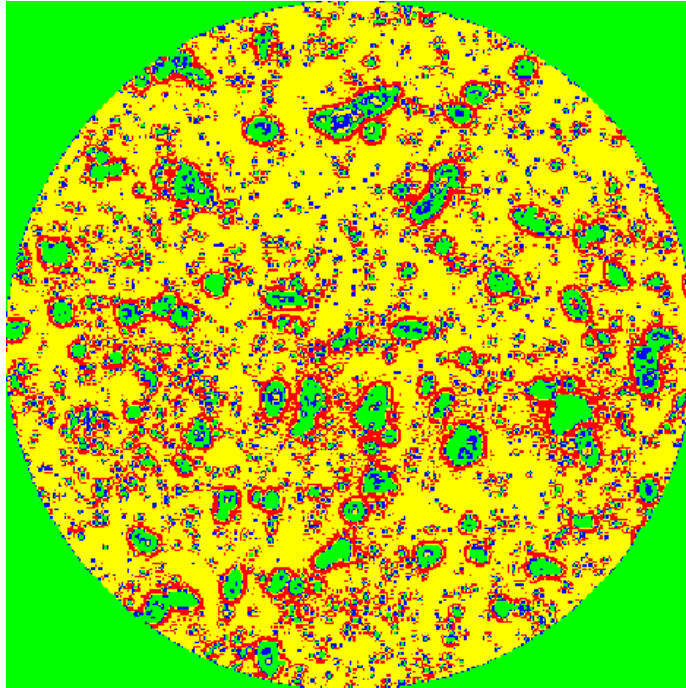


Рисунок 1 – Микроструктура штамповой стали X12Φ1 с колоризации

Приложение Б

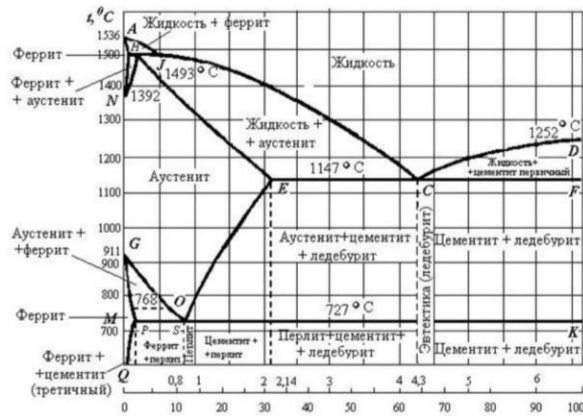
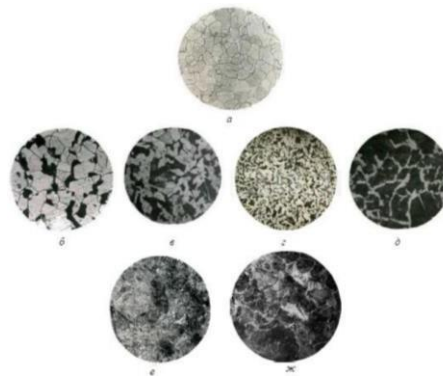


Рисунок 1 – Диаграмма железо-углерод[4]



а – техническое железо, феррит; б – 0,2 % С, феррит + перлит;
 в – 0,3 % С, феррит + перлит; г – 0,4 % С, феррит + перлит;
 д – 0,6 % С, перлит + феррит; е – 0,8 % С, перлит;
 ж – 1,2 % С, перлит и сетка цементита.

Рисунок 2 – Микроструктура сталей с различным содержанием углерода[4]

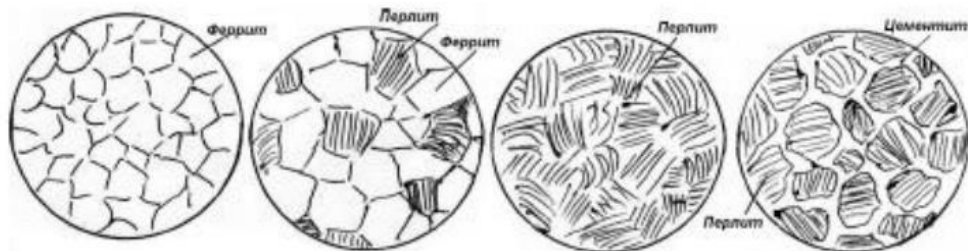


Рисунок 3 – Схемы зарисовки структуры стали[4]

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Ағыбаев Кәміл Ғазизұлы

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Изучения свойств штамповой стали после термической обработки

Научный руководитель: Кошимбаев Б. Ш.

Коэффициент Подобия 1: 4.1

Коэффициент Подобия 2: 2

Микропробелы: 4

Знаки из здругих алфавитов: 20

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

Дата

29.05.2023



Заведующий кафедрой

Кудайбергенов К.К.

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

На дипломную работу

(наименование вида работы)

Ағыбаев Каміл Газизлы

(Ф.И.О. обучающегося)

6В07109 – Инженерная физика и материаловедение

(шифр и наименование специальности)

Тема: Изучение свойств штамповой стали после термической обработки

В данном дипломной работе рассмотрены вопросы связанные с термической обработкой штамповых сталей. Были изучены состав и свойства штамповой стали X12Ф1. Проведены серия механический испытаний на микротвердомере ПМТ-3М на образце штамповой стали X12Ф1. Найдены показатели твердости и проведены расчеты через данные о твердости: пределы прочности, предела текучести и пределы выносливости.

Изображения микроструктуры штамповой стали X12Ф1 получены на металлографическом микроскопе IMM-901;. По программе MATLAB получены данные о параметрах микроструктуры на основе изображения. Построены на Python гистограммы параметров микроструктуры: округлость, эксцентриситет, соотношение сторон и ориентации зёрен и выведена корреляционная матрица параметров микроструктуры.

В целом дипломная работа заслуживает оценки «95», а студент Ағыбаев К.Г. заслуживает академической степени бакалавр по специальности 6В07109 – Инженерная физика и материаловедение

Научный руководи

Старший преподаватель

(должность, уч. степень, звание)



Кошимбаев Б.Ш..

(подпись)

« 5 »



2023 г.

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломный проект
(наименование вида работы)

Ағыбаев Кәміл Ғазизұлы
(Ф.И.О. обучающегося)

6В07109 «Инженерная физика и материаловедение»
(шифр и наименование ОП)

На тему: Изучение свойств штамповой стали после термической обработки

Выполнено:

- а) графическая часть на 20 листах
б) пояснительная записка на 42 страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Расчеты и вводная часть в дипломном проекте выполнено в полном размере. Все расчеты соответствуют теме дипломной работе. Были использованы программы Excel, Python, MATLAB.

Замечание: Недостаточно информации о подготовке материала к термической обработке.

Оценка работы

Дипломный проект оценивается по рейтинговой системе - 90 баллов (А) оценки «отлично», а дипломант Ағыбаев К.Ғ. рекомендуется к присвоению квалификации бакалавра по специальности 6В07109 «Инженерная физика и материаловедение».

Рецензент:

PhD, старший преподаватель кафедры
Физики твердого тела и нелинейной
Физики КазНУ им. аль-Фараби
(должность, уч. степень, звание)

Толепов Ж.К.
(подпись)

«30» Мая 2023 г.