

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра Нанотехнологии материаловедение и механика

(наименование)

22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Современные материалы и технологии их производства

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Усталостная прочность и строение изломов крупнозернистой
и ультрамелкозернистой аустенитной стали 08X18H9

Студент

Г.С. Назаралиев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Доктор технических наук, профессор, Н.А. Клевцова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2022

Аннотация

Цель выпускной квалификационной работы - расширение области применения аустенитной стали 08X18H9 при изготовлении медицинского инструмента и для работы внутри организма.

В процессе выполнения работы получены образцы по механизму равноканального углового прессования. Исследованы их характеристики, такие как твердость, прочность, пластичность. Изучена микроструктура образцов. Для испытания образцов на усталостную прочность применяли схему трехточечного изгиба.

Для исследования образцов применяли передовое современное оборудование.

Полученные результаты дают возможность сделать вывод о том, что равноканальное угловое прессование увеличивает прочность и твердость стали 08X18H9. Размер зерен уменьшается от 30 мкм до 0,5 мкм.

Выпускная квалификационная работа включает в свой состав пояснительную записку на 44 страницах, рисунки, общим количеством 30, и таблицы в количестве 13.

Abstract

The purpose of the final qualification work is to compare the kinetics of fatigue failure and the structural features of the fractures of austenitic steel 08X18N9 with an ultra-fine-grained structure compared to the original steel.

In the course of the work, samples were obtained using the mechanism of equal-channel angular pressing. Their characteristics, such as hardness, strength, plasticity, are investigated. The microstructure of the samples was studied. A three-point bending scheme was used to test the fatigue strength of the samples.

The results obtained make it possible to conclude that equal-channel angular pressing increases the strength and hardness of steel 08X18N9. The grain size decreases from 30 microns to 0.5 microns.

The final qualifying work includes an explanatory note on 44 pages, drawings, a total of 30, and tables in the amount of 13.

Содержание

Введение.....	5
1 Аналитический обзор. Кинетика и механизм усталостного разрушения металлических материалов в крунозернистом и ультрамелкозернистом состоянии	6
1.1 Свойства и характеристики стали 08X18H9.....	6
1.2 Исследования свойств сталей при знакопеременных нагрузках.....	8
1.3 Технологии интенсивной пластической деформации	14
2 Материал и методики исследования	21
2.1 Исследуемый материал и режимы РКУП	21
3 Результаты исследования и их обсуждение	27
3.1 Структура и механические свойства стали 08X18H9 при растяжении	27
3.2 Влияние РКУП на количество циклов нагружения до зарождения усталостной трещины при различных напряжениях цикла	28
3.3 Влияние РКУП на строение усталостных изломов	31
4 Безопасность и экологичность проекта	34
4.1 Технологическая характеристика объекта.....	34
4.2 Систематизация профессиональных рисков.....	35
4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков.....	36
4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта	38
4.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта	40
Заключение	42
Список используемой литературы и используемых источников.....	43

Введение

Аустенитная сталь 08X18Н9 относится к группе коррозионно-стойких сталей. Никель обеспечивает аустенитную структуру стали. Добавки никеля расширяют область существования γ фазы стали. При этом область существования аустенита зависит от суммарного содержания легирующих компонентов.

Данная сталь нашла применение не только в качестве корпусных конструкций, но и в качестве деталей машин, медицинских имплантантов, в химической нефтеперерабатывающей промышленности в судостроении. К достоинствам данного материала следует отнести достаточно высокие значения пластичности и ударной вязкости. Однако после традиционных технологий обработки для аустенитных сталей характерным являются низкие значения предела текучести. Он составляет 200-250 МПа. Повышение таких механических характеристик прочности аустенитных сталей возможно путем интенсивного деформационного воздействия. При этом структура сталей меняется на ультрамелкозернистую. Необходимо сравнить структуру таких сталей со сталью с исходной КЗ в горячекатаном состоянии и УМЗ – ультрамелкозернистое состояние.

Исследование усталостных изломов стали 08X18Н9 обеспечит исследователя такой информацией как причина зарождения усталостной трещины, особенности ее распространения [1]. Исследование усталостной прочности стали 08X18Н9 обеспечит такой информацией как сравнительная усталостная прочность образцов в ультрамелкозернистом состоянии и в состоянии поставки.

Таким образом цель настоящей работы можно сформулировать следующим образом - расширение области применения аустенитной стали 08X18Н9 при изготовлении медицинского инструмента и для работы внутри организма.

1 Аналитический обзор. Кинетика и механизм усталостного разрушения металлических материалов в крупнозернистом и ультрамелкозернистом состоянии

1.1 Свойства и характеристики стали 08X18H9

Аустенитные нержавеющие стали могут содержать помимо никеля и хрома другие легирующие элементы. Элементы, содержащиеся в аустенитных сталях по-разному влияют на структуру стали. Например углерод, азот, никель, марганец, медь расширяют область существования аустенита. А такие элементы как хром, вольфрам, тантал, молибден, титан, ниобий, кремний, ванадий, алюминий расширяют область существования феррита. Такие элементы как ниобий, титан, тантал, хром склонны к карбидообразованию, при этом уменьшается количество свободного углерода, который расширяет область существования аустенита. Таким образом, можно сделать вывод, что каждый из химических элементов действует в нескольких направлениях. Для того, чтобы определить фазовый состав сталей наиболее широко применяют диаграмму Шеффлера, рисунок 1. Для работы с диаграммой следует определить количество элементов аустенизаторов и оказывающих ферритообразующее действие. Затем определяем точку указывающую фазовый состав сплава. Химический состав стали 08X18H9 представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали 08X18H9

.C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Cu
До 0,8	До 0,8	До 0,2	8-10	До 0,02	До 0,035	17-19	До 0,5	До 0,3

Определить величину эквивалента хрома можно по следующей расчетной зависимости:

$$Cr_{\text{ЭКВ}} = (Cr) + 2(Si) + 1,5(Mo) + 5(V) + 5,5(Al) + 1,75(Nb) + 1,5(Ti) + 0,75(W) \quad (1)$$

Результат расчетов:

$$Cr_3 = 18 + 2 \times 0,8 + 1,5 \times 0,5 = 20,35\%$$

Определить величину эквивалента никеля можно по следующей расчетной зависимости:

$$Ni_{\text{ЭКВ}} = (Ni) + (Co) + 0,5(Mn) + 0,3(Cu) + 25(N) + 30(C) \quad (2)$$

Результат расчетов: $Ni_{\text{ЭКВ}} = 9 + 0,5 \times 0,2 + 0,3 \times 0,3 + 30 \times 0,8 = 33\%$

Анализ исследуемого материала, стали 08X18H9 по диаграмме Шеффлера показывает что она относится к области содержащей целиком аустенитную фазу.

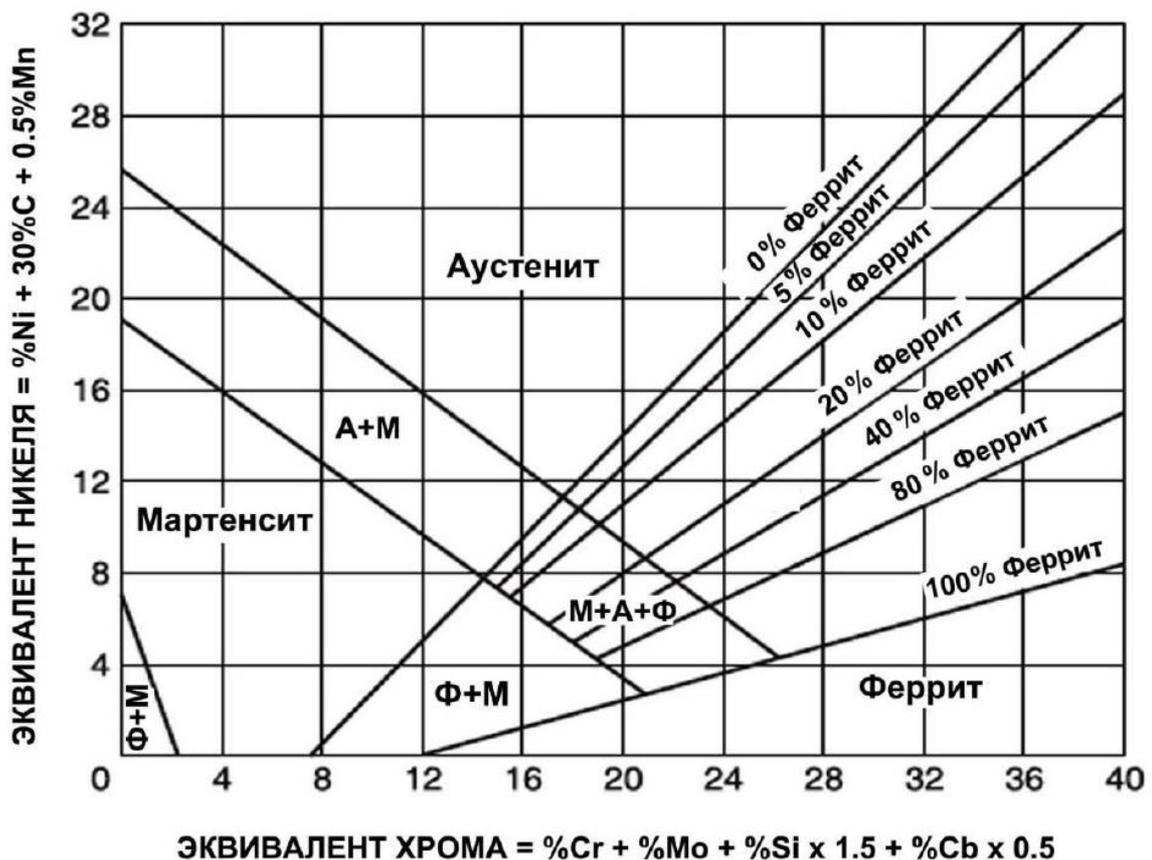


Рисунок 1 – Диаграмма Шеффлера

Для увеличения коррозионной стойкости аустенитных коррозионных сталей применяют термообработку, нагрев до 1000-1100°C и быстрое охлаждение. В итоге такой обработки получается γ -фаза с равномерным распределением элементов при отсутствии карбидов [2].

Аустенитные коррозионно-стойкие стали нашли широкое применение в ортопедии, для изготовления сосудистых стентов, назначение которых поддержание требуемого диаметра сосуда, при изготовлении компонентов кардиостимуляторов, и для медицинского инструмента. Естественно, что при таких условиях эксплуатации сталь должна отличаться высокой прочностью в сочетании с высокой пластичностью. Стент после введения в требуемый сосуд расширяется до требуемого размера. При этом, что в ортопедии, что в стентировании сталь работает в условиях знакопеременных нагрузок.

1.2 Исследования свойств сталей при знакопеременных нагрузках

Исследования свойств материалов при переменных нагрузках проводят согласно ГОСТ 25.502-79. Данный документ предусматривает следующие варианты образцов для испытаний: круглого сечения; прямоугольного сечения.

Рабочая часть образца круглого сечения типа I, рисунок 2.

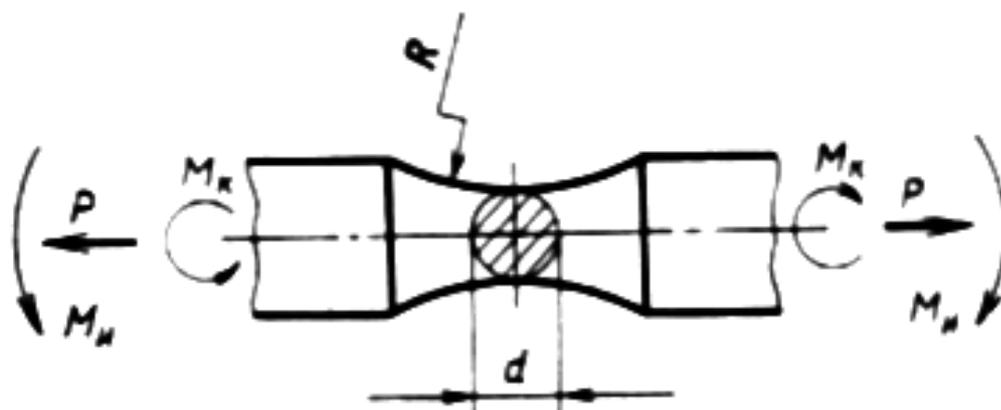


Рисунок 2 - Образец типа I

Диаметр рабочей части образца может составлять: 5,0; 7,5; 10; 12; 15; 20; 25 миллиметров. Радиус должен быть не менее $5d$, и не менее 90 мм для образцов диаметрами 20 и 25 мм.

Образец типа II напоминает стандартный пятикратный образец для исследования прочности, рисунок 3.

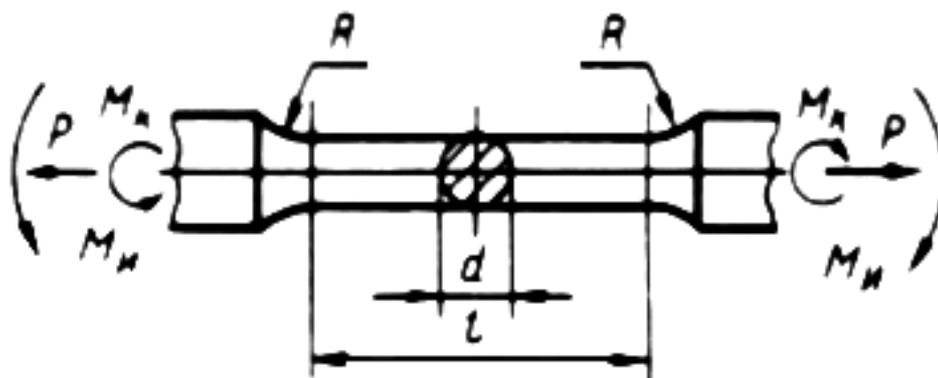


Рисунок 3 - Образец типа II

Диаметр рабочей части образца типа II может составлять: 5,0; 7,5; 10; 12; 15; 20; 25 миллиметров, так же как и для образца типа I. Длина рабочей части l равна $5d$.

Машины для проведения исследований материалов на знакопеременные нагрузки обеспечивают нагружение образцов по следующим схемам, чистый изгиб при вращении, применяется для образцов типа I, II, V, VIII, рисунок 4.

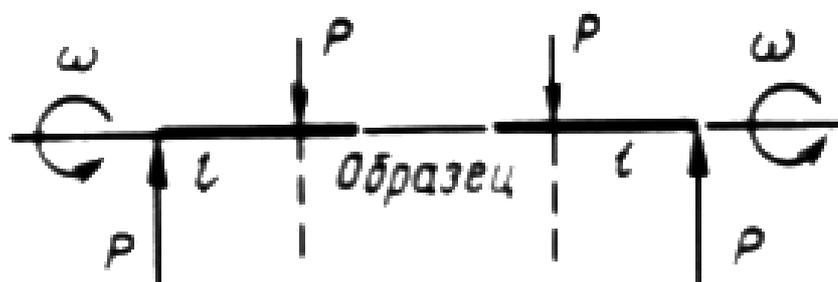


Рисунок 4 – Схема испытаний чистый изгиб при вращении.

Для образцов типа I, II, V, VIII, может быть применено консольное нагружение, рисунок 5.

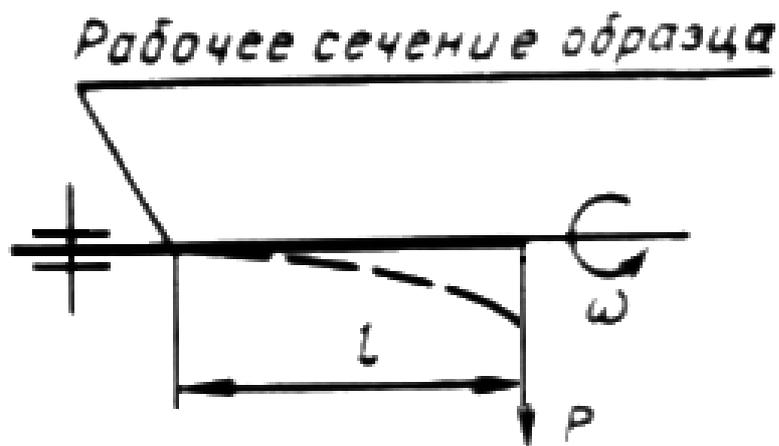


Рисунок 5 – Вариант консольного нагружения

Для образцов типа I - VIII, может быть применен чистый изгиб в одной плоскости, рисунок 6.

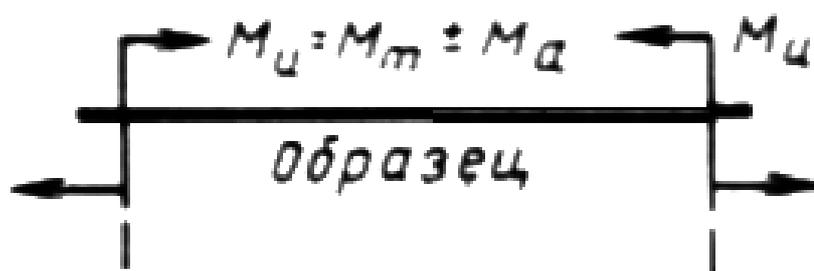


Рисунок 6 – Чистый изгиб в одной плоскости

Для образцов типа I - VIII, может быть применен поперечный изгиб при консольном нагружении, рисунок 7.

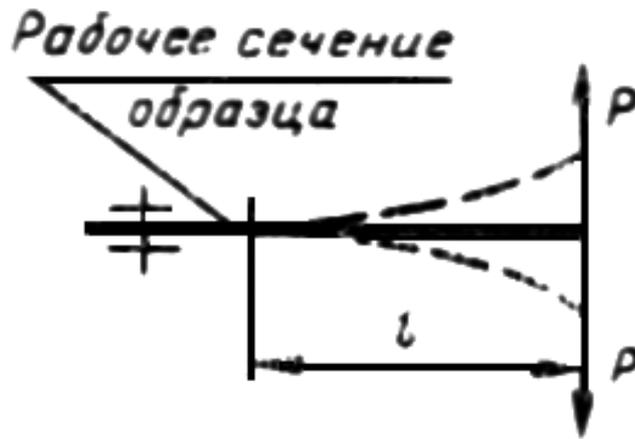


Рисунок 7 – Поперечный изгиб при консольном нагружении

Вариант нагружения при повторно переменном растяжении сжатии может быть применен для всех типов образцов, рисунок 8.



Рисунок 8 - Повторно переменное растяжение сжатие

Также для образцов типа I, II, V, VIII может быть применен вариант повторно-переменного кручения, рисунок 9.

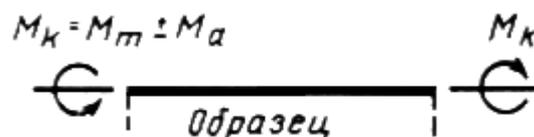


Рисунок 9 – Повторно-переменное кручение

В реальных условиях эксплуатации деталей машин и прочих технических объектов цикл нагружения может быть симметричным, рисунок 10 в.

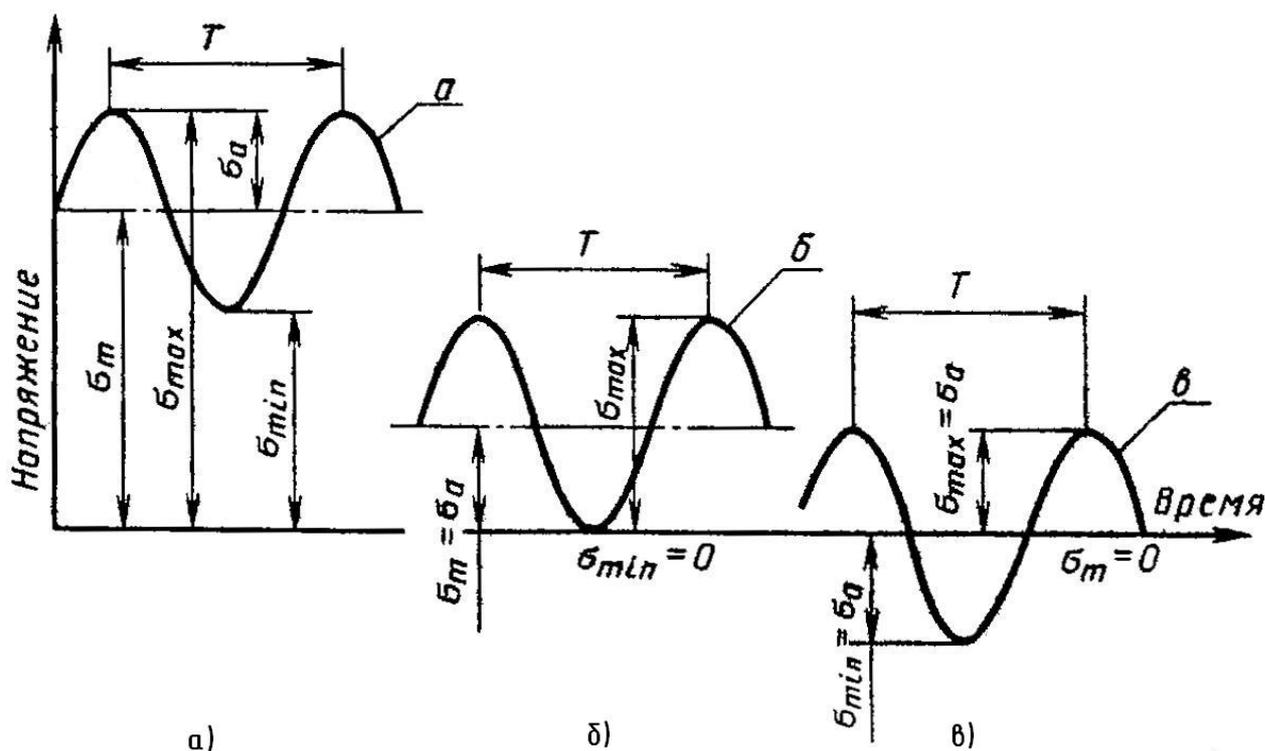


Рисунок 10 – Виды циклов нагружения

Возможен вариант при котором максимальное и минимальное напряжения цикла положительны, рисунок 10 а. Возможен вариант при котором нижний предел напряжений достигает нуля а верхний положителен, рисунок 10 б. Цикл 10 б называют еще пульсирующим циклом.

Для испытания стали 08Х18Н9 в условиях знакопеременного нагружения возможны два варианта нагружения, мягкое нагружение, и жесткое нагружение. При мягком нагружении задается величина нагрузки. При жестком нагружении задается величина деформации.

При мягком нагружении нет ограничения в перемещении исследуемого образца, такой вид испытаний нашел большее применение. При жестком нагружении ограничивают перемещение исследуемого образца [20].

По результатам испытаний строят т.н. кривые усталости, рисунок 11. Принцип построения кривой усталости заключается в следующем, к образцу прикладывают напряжения σ_1 , проводят испытания, он разрушился, допустим через 10000 циклов нагружения, ставится точка 1. Затем нагрузку снижают, получается точка 2, допустим, через 20000 циклов нагружения, испытания продолжают. Наконец при значениях σ_R образец работает сколь угодно долго.

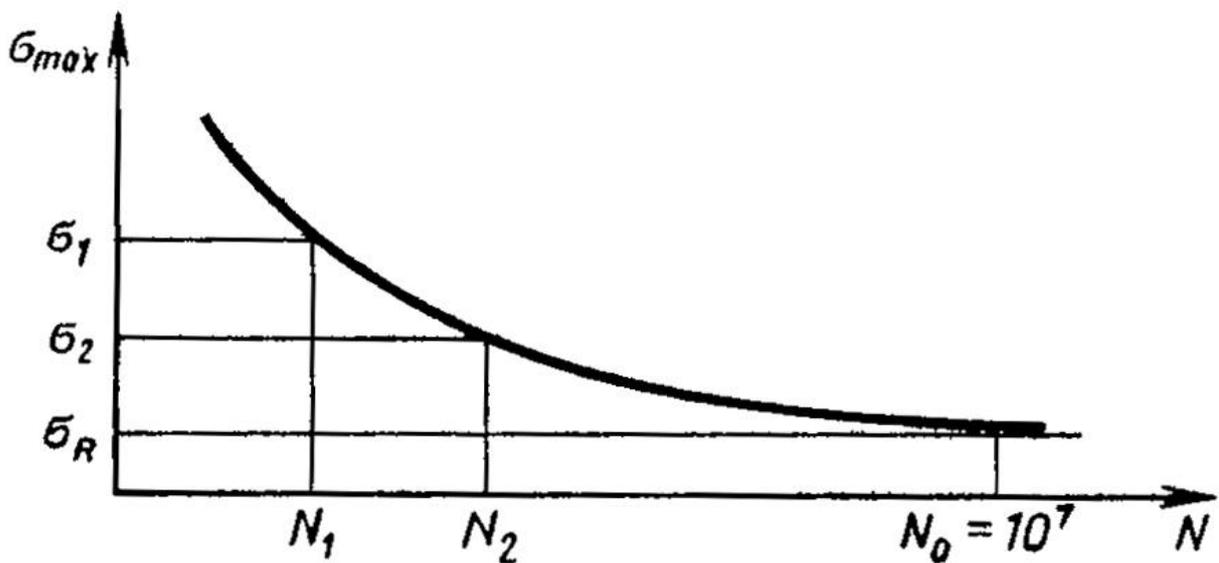


Рисунок 11 – Кривая усталости

Для наглядности Кривую усталости изображают в логарифмических координатах, рисунок 12. На этой кривой наглядно просматривается участок σ_r , т.е. при напряжениях меньших чем σ_r изделие может работать сколь угодно долго. Величина σ_r называется физический предел усталости (выносливости).

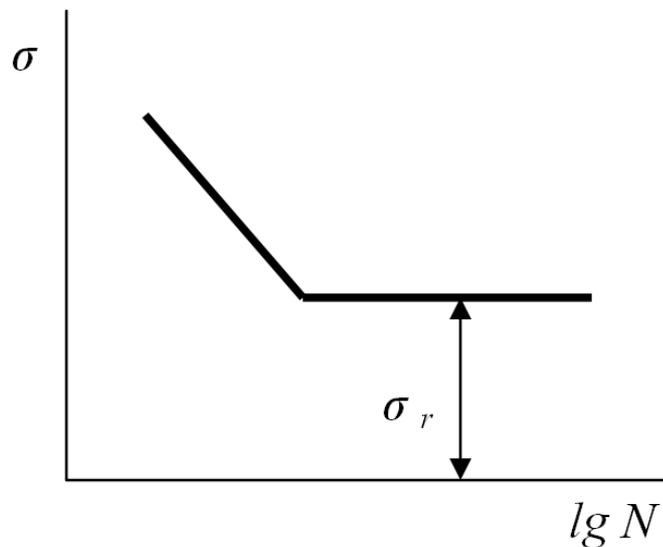


Рисунок 12 – Кривая усталости в логарифмических координатах

Для того, чтобы ограничить число испытаний, ведь это затратная процедура, требуется образцы изготовить, требуется заплатить лаборанту за работу с испытательной машиной, принята база испытаний 10^7 циклов

1.3 Технологии интенсивной пластической деформации

Повысить механические характеристики стали возможно при интенсивной пластической деформации. Данные технологии при увеличении прочности оставляют на высоком уровне пластические свойства. Сейчас на практике применяется несколько вариантов интенсивной пластической обработки:

- кручение под давлением;
- равноканальное угловое прессование;
- всесторонняя ковка [19].

Вариант кручения под давлением реализуется при зажатии цилиндрического образца между двумя штампами. К штампам прикладывается давление, несколько ГПа, затем начинается вращение одного из штампов,

образец деформируется сдвигом, рисунок 13. Для создания однородной наноструктуры требуется несколько оборотов. Диаметр получаемых образцов достигает 20 мм, толщина 0,2-0,5 мм [4].



Рисунок 13 – Обработка кручением под давлением

Технология всестороннейковки подразумевает операции осадки, кантовки, протяжки, рисунок 14.



Рисунок 14 – Последовательность операций всестороннейковки

Технология равноканального углового прессования представлена на рисунке 15. Принцип процесса заключается в продавливании образца через канал изогнутый под углом 90-150°. При этом происходит деформирование и измельчение зерен, даже после одного прохода [5].

Варианты проходов могут изменяться, исходная заготовка может после каждого прохода через канал штампа проходить в том же положении, маршрут А, может поворачиваться на угол 90°, маршрут Вс и Ва, может после каждого прохода поворачиваться на угол 180°, маршрут С. Эксперименты показали, что наиболее эффективен для формирования ультрамелкозернистой структуры маршрут Вс. При обработке по данному маршруту заготовка вращается в одном направлении, каждый раз на 90° [6].

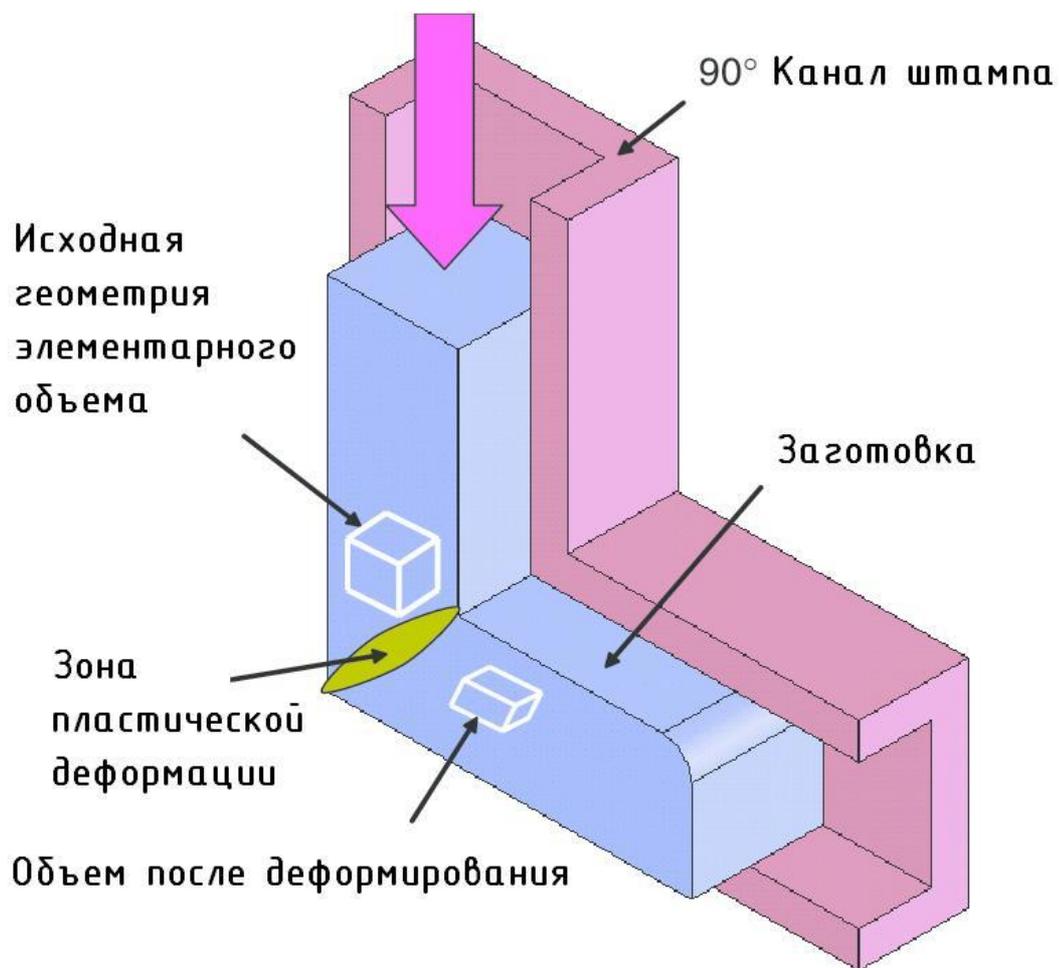


Рисунок 15 – Равноканальное угловое прессование

Помимо маршрута прохождения заготовки через канал важная роль принадлежит углу пересечения каналов, Φ , и дополнительному углу ψ . Угол ψ определяет кривизну угла пересечения внешней поверхности каналов, рисунок 16.

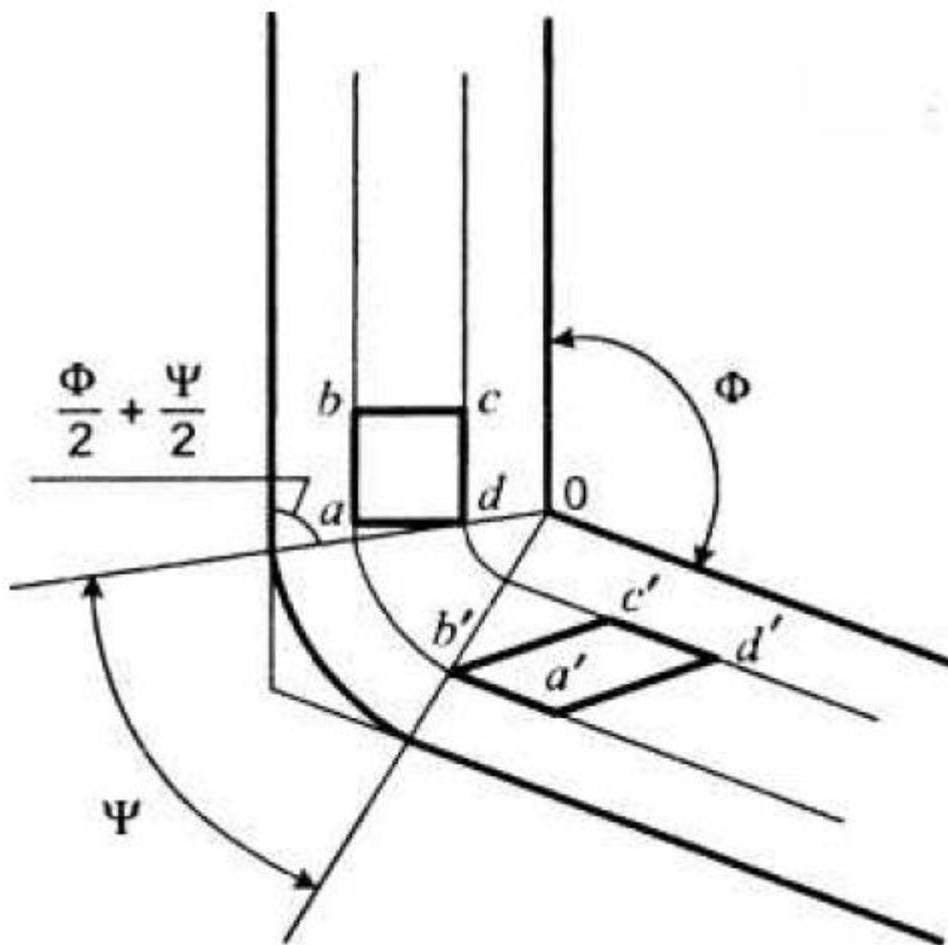


Рисунок 16 – Углы Φ и ψ

Определить степень деформации элементарного объема можно по расчетной зависимости:

$$\varepsilon_N = \frac{2N}{\sqrt{3}} \left(\cot \left(\frac{\Phi}{2} + \frac{\Psi}{2} \right) + \Psi \operatorname{cosec} \left(\frac{\Phi}{2} + \frac{\Psi}{2} \right) \right), \quad (1)$$

где N – количество проходов канала;

Φ – угол пересечения каналов;

ψ - внешний угол кривизны между каналами [7].

При этом температура при которой происходит деформация должна быть меньше, чем температура рекристаллизации.

Из приведенной формулы следует, что чем больше угол Φ , тем меньше степень деформации [9].

При интенсивной пластической обработке происходит фрагментация кристаллов. Рассматривается 2 механизма фрагментации. Согласно первому механизму в процессе релаксации напряжений возле стыков зерен образуются оборванные дислокационные субграницы с разориентировкой около одного градуса, рисунок 17. Это начальная стадия фрагментации. Затем, по мере продолжения деформации, границы проникают вглубь зерна. Постепенно фрагментация охватывает весь объем зерна [8].

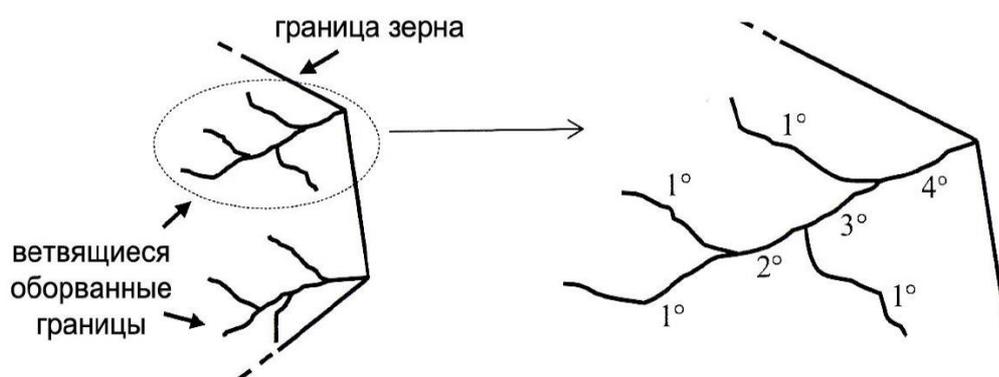


Рисунок 17 – Начальный этап фрагментации

Согласно второму механизму фрагментации предшествует образование дислокационных слоев. Слои не несут в себе разориентировки, однако препятствуют перемещению дислокаций. Это приводит к их повороту при последующих деформациях [10].

При деформациях в условиях комнатных температур возможно превращение аустенита в мартенсит деформации. Мартенсит формируется в полосах сдвига а также в местах пересечения границ зерен или в области

скопления дислокаций. Появление мартенсита происходит по механизму сдвиговой деформации. В процессе сдвигового превращения образующиеся кристаллы мартенсита закономерно ориентированы по отношению к решетке исходной фазы аустенита.

Если обработанные технологией интенсивной пластической деформации стали подвергнуть отжигу, то образовавшийся мартенсит превратится обратно в аустенит [11].

Так сталь Fe - 18%Cr - 8.5%Ni деформировали в холодном состоянии, температура 20°C, до величин деформаций 50% и 90%. Следствием такой обработки стало появление мартенсита деформации в количестве 95% в образце деформированном до 50% и 90%. У образца деформированного до 50% структура была пластинчатая, а у образца деформированного до 90% дислокационная ячеистая структура. Образцы были подвергнуты отжигу. Температура отжига составляла 500 °C, время отжига 1.5 часа. После отжига количество аустенита увеличилось до 20%. В образце после деформации 50% превращенный аустенит сохранял пластинчатое строение. В образце после деформации 90% превращенный аустенит имеет равноосную морфологию зерен со случайной ориентацией [15].

Выводы

По результатам анализа литературных источников отобран вариант равноканального углового прессования для получения ультрамелкозернистой структуры стали 08X18H9. Данный вариант обеспечивает обработку образцов значительных линейных размеров, что необходимо для получения из стали соответствующих медицинских изделий.

2 Материал и методики исследования

2.1 Исследуемый материал и режимы РКУП

В качестве исследуемых материалов в КЗ и УМЗ состояниях была выбрана широко применяемая в медицине коррозионностойкая аустенитная сталь 08X18H9, таблица 2.

Таблица 2 - Химический состав аустенитной стали 08X18H9 в весовых процентах

C	Cr	Ni	Mn	Mo	Si	Cu	Co
0,023	17.95	7.95	1.85	0.35	0.38	0.6	0.15

Аустенитную сталь 08X18H9 исследовали в исходном (горячекатаном) КЗ состоянии и в УМЗ состоянии. УМЗ структура была получена путем следующей обработки: закалка от температуры 1050 °С с предварительной выдержкой 1 час + равноканальное угловое прессование (РКУП) при температуре 350 °С (маршрут Вс, n=4, $\varphi=120^{\circ}$)¹⁾ [5, 7].

Исследование структуры КЗ стали проводили с использованием металлографического микроскопа Axiovert 40 MAT. Тонкую структуру УМЗ стали исследовали в просвечивающем электронном микроскопе (ПЭМ) JEM-2100¹⁾.

Приготовление микрошлифов выполнялось по стандартным методикам. Последовательное шлифование на абразивной бумаге с уменьшающимися номерами [14].

Причем, при переходе на номер абразивной бумаги меньше, направление шлифования меняли на 90°. Завершающая стадия подготовки шлифа включала в себя полирование на войлочном круге с использованием оксида хрома и

травление. При травлении применяли реактив, содержащий 30 миллилитров азотной кислоты и 20 миллилитров уксусного ангидрида [13].

Диапазон увеличений микроскопа Axiovert 40 MAT находится в пределах 50x-1000x. Микроскоп оснащен фото и видео выходом. Это позволяет сохранять изображения и в дальнейшем обрабатывать изображения на компьютере при помощи соответствующих программ [12].

Диапазон ускоряющих напряжений электронного микроскопа JEM-2100 следующий: 80; 100; 120; 160; 200 кВ. При сверхвысоком разрешении разрешение по точкам достигает 0,19 нм. Диапазон увеличений составляет 2000x – 1500000x. Уровень вакуума в электронной пушке должна быть не менее 10^{-8} Па. При диаметре электронного пучка 1 нм, сила тока составляет 0,5 нА.

2.2 Методика механических испытаний

Испытание стали на твердость проводили на твердомере ТН 300, рисунок 18.



Рисунок 18 - Полуавтоматический стационарный измеритель твердости ТН300 с выводом информации на компьютер

Статическое растяжение цилиндрических образцов диаметром 3 мм при температуре 20 °С проводили на универсальной испытательной машине Н50КТ, рисунок 19. Усталостные испытания призматических образцов толщиной 10 мм, рисунок 20, проводили при температуре 20 °С по схеме трехточечного изгиба, рисунок 21, на установке Instron 8802, рисунок 22, при $f=10$ Гц, $R=0.1$ и различных значениях ΔP .



Рисунок 19 - Универсальная испытательная машина Н50КТ, с компьютерным управлением предназначена для определения механических свойств материалов

Испытания механических характеристик образцов проводили на разрывной машине Н50КТ. Усилие, которое может развивать машина 50 кН, рама машины состоит из двух колонн. Машина имеет возможность подключения к компьютеру. Зажимы и фиксаторы исследуемых образцов отличаются разнообразием, в том числе обеспечивается растяжение образцов согласно ГОСТ 1497-84 (ИСО 6892-84) [11].



Рисунок 20 – Образец для испытаний стали на усталость

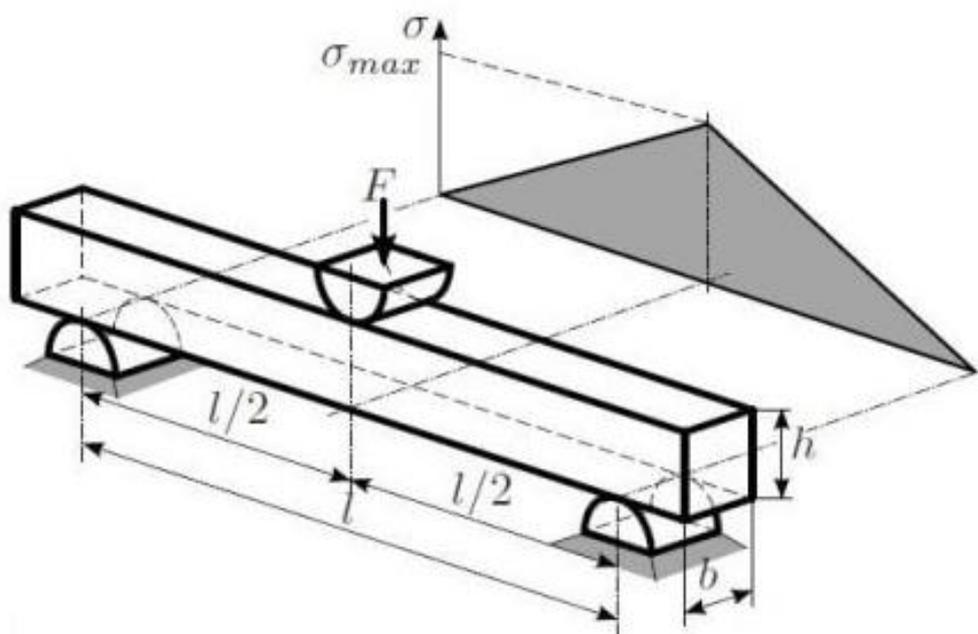


Рисунок 21 – Усталостное испытание образцов по схеме трехточечного изгиба

Испытательная установка Instron 8801 развивает усилие 100 кН. При этом обеспечивается точность измерения нагрузки $\pm 0,5\%$. Диапазон скоростей, в которых может работать машина составляет от 0,00005 до 1016 мм/мин. Установка позволяет производить испытания образцов на растяжение сжатие и статический изгиб при температурах от -70 до $+1200^{\circ}\text{C}$.



Рисунок 22 – Испытательная установка Instron 8801

Перечисленное оборудование позволит исследовать механические характеристики стали 08Х18Н9 в горячекатанном и ультрамелкозернистом состоянии [16].

2.3 Методика определения количества циклов нагружения до зарождения усталостной трещины в образцах

Известно, что общее количество циклов нагружения до разрушения образцов или деталей N включает в себя: количество циклов нагружения до зарождения усталостной трещины (N_3 , цикл.) и количество циклов нагружения на распространения усталостной трещины (N_p , цикл.), т.е.:

$$N = N_3 + N_p \quad (2.1)$$

Для определения количество циклов нагружения до зарождения усталостной трещины в образцах (N_3), на графике «Зависимость длины усталостной трещины в образце от количества циклов нагружения» (1 -N), рисунок 23, полученном на компьютере при усталостном испытании образцов, проводим прямую линию, параллельную оси ординат при значении длины трещины, равной длине надреза в образце. Отклонение кривой (1 -N) от прямой линии, рисунок 23, укажет количество циклов нагружения до зарождения усталостной трещины (N_3) [17].

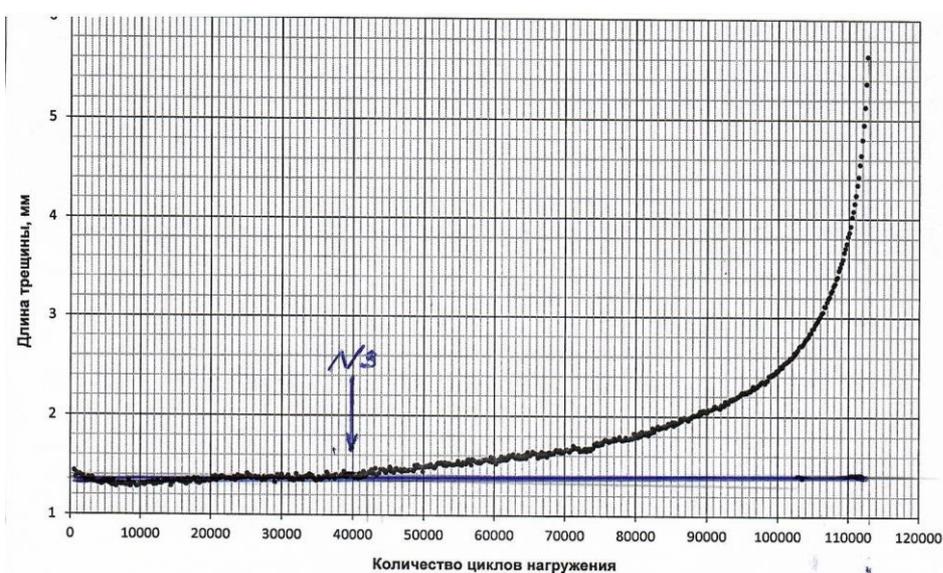


Рисунок 23 – Зависимость длины усталостной трещины в образце от количества циклов нагружения (N_3 – количество циклов нагружения до зарождения усталостной трещины)

Выводы

Во втором разделе работы разработана методика экспериментальных исследований на основании современных методик и современного оборудования. Планируется исследовать прочность образцов, их твердость,

3 Результаты исследования и их обсуждение

3.1 Структура и механические свойства стали 08X18Н9 при растяжении

Исследование микроструктуры стали 08X18Н9 показало, что в исходном состоянии средний размер зерна в стали составляет 30 мкм, рисунок 24 а. После РКУП в стали формируется УМЗ структура. Наблюдается полосчатая структура, скопление дислокаций, клубки дислокаций, их сплетения. Границы зерен имеют разориентировки порядка нескольких градусов и весьма протяженные. На фоне развивающейся ячеистой структуры образуются микрополосы и полосы сдвига, рисунок 24 б.

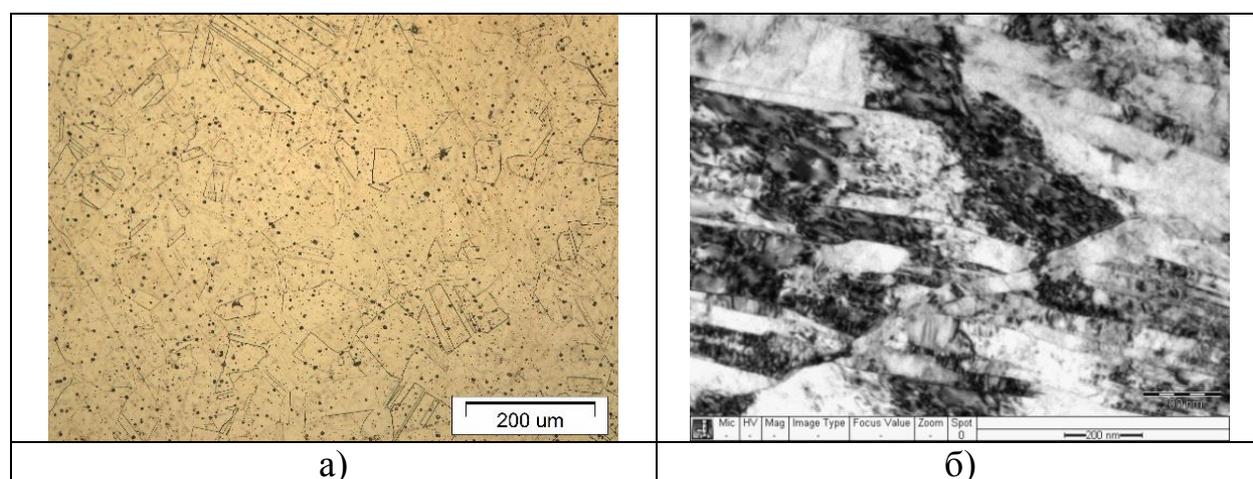


Рисунок 24 – Структура аустенитной стали 08X18Н9 в исходном состоянии (а) и после РКУП (б)

Механические свойства сплава в исходном состоянии и после технологии обработки равноканальным угловым прессованием представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Средние значения размера зерна (d_{cp}), твердости (НВ), предела прочности (σ_b), предела текучести ($\sigma_{0.2}$) и относительного удлинения стали 08X18H9 при растяжении

Состояние	d_{cp} , мкм	НВ	σ_b , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %
Исходное	30	159	624±6.0	283±2.0	65±0.7
После РКУП	0.55	363	1112±15	1065±15	20±0.5

Видно, что после РКУП твердость и прочность стали при растяжении повышаются, а пластичность снижается.

3.2 Влияние РКУП на количество циклов нагружения до зарождения усталостной трещины при различных напряжениях цикла

На рисунке 25 и 26 показано для примера зависимость длины усталостной трещины в образцах из УМЗ стали 08X18H9 от количества циклов нагружения. В таблице 4 представлены значения общее количество циклов нагружения образцов (N) до разрушения и значения количества циклов нагружения до зарождения усталостной трещины ($N_{зар.}$) в образцах из КЗ и УМЗ стали при различных значениях ΔP . Видно, что при увеличении количества циклов до разрушения образцов N, количества циклов нагружения до зарождения усталостной трещины ($N_{зар.}$) также увеличивается, рисунок 27. Однако в процентном отношении, согласно рисунку 28, количество циклов нагружения до зарождения усталостной трещины ($N_{зар.}$) практически одинаково для образцов из КЗ и УМЗ стали и составляет, примерно, 21 %.

08X18H9 УМЗ, $\Delta P = 5000$ Н, N = 41680

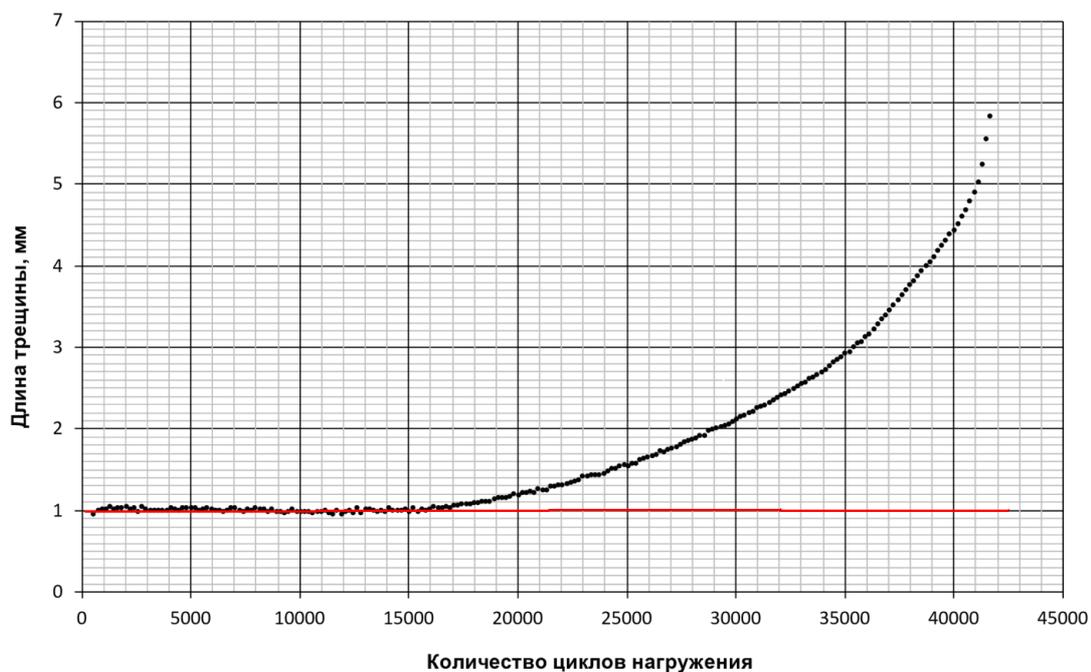


Рисунок 25 - Начало роста трещины усталости

08X18H9 УМЗ, $\Delta P = 5500$ Н, N = 30048

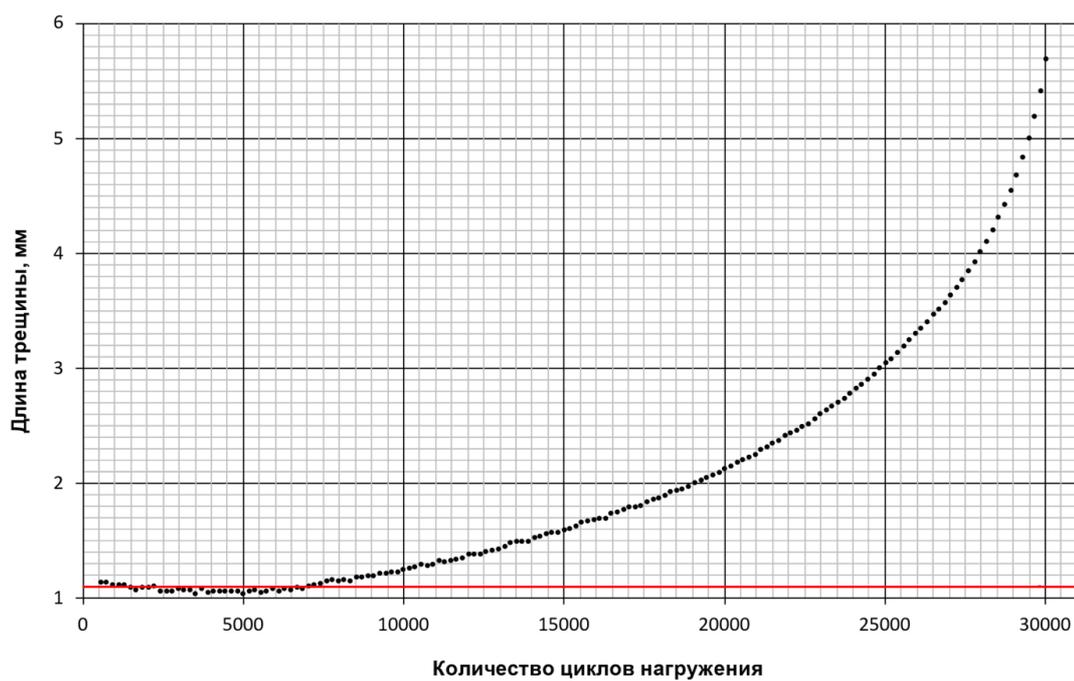


Рисунок 26 - Начало роста трещины усталости

Таблица 4 – Общая долговечность образцов (N) из стали 08X18H9 и количество циклов до зарождения усталостной трещины (N_{зар.})

Состояние	ΔP , Н	N, цикл	N _{зар.} , цикл / %
КЗ (Исходное)	3500	$2.09 \cdot 10^5$	$4.2 \cdot 10^4 / 20$
	4000	$7.753 \cdot 10^4$	$1.8 \cdot 10^4 / 23$
УМЗ (РКУП)	5000	$4,168 \cdot 10^4$	$9 \cdot 10^3 / 22$
	5500	$3,005 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^3 / 20$

Для определения процентов составлялась пропорция, общее количество циклов до разрушения принималось за 100%, количество циклов до зарождения трещины принималось за x [18].

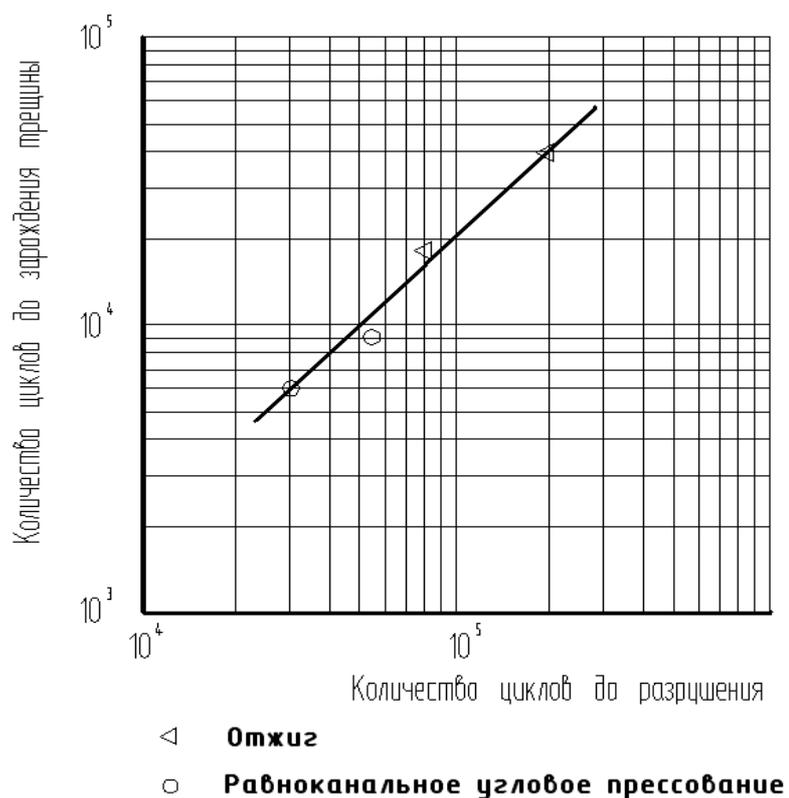


Рисунок 27 – Зависимость N_з (цикл) от N (цикл) в двойных логарифмических координатах

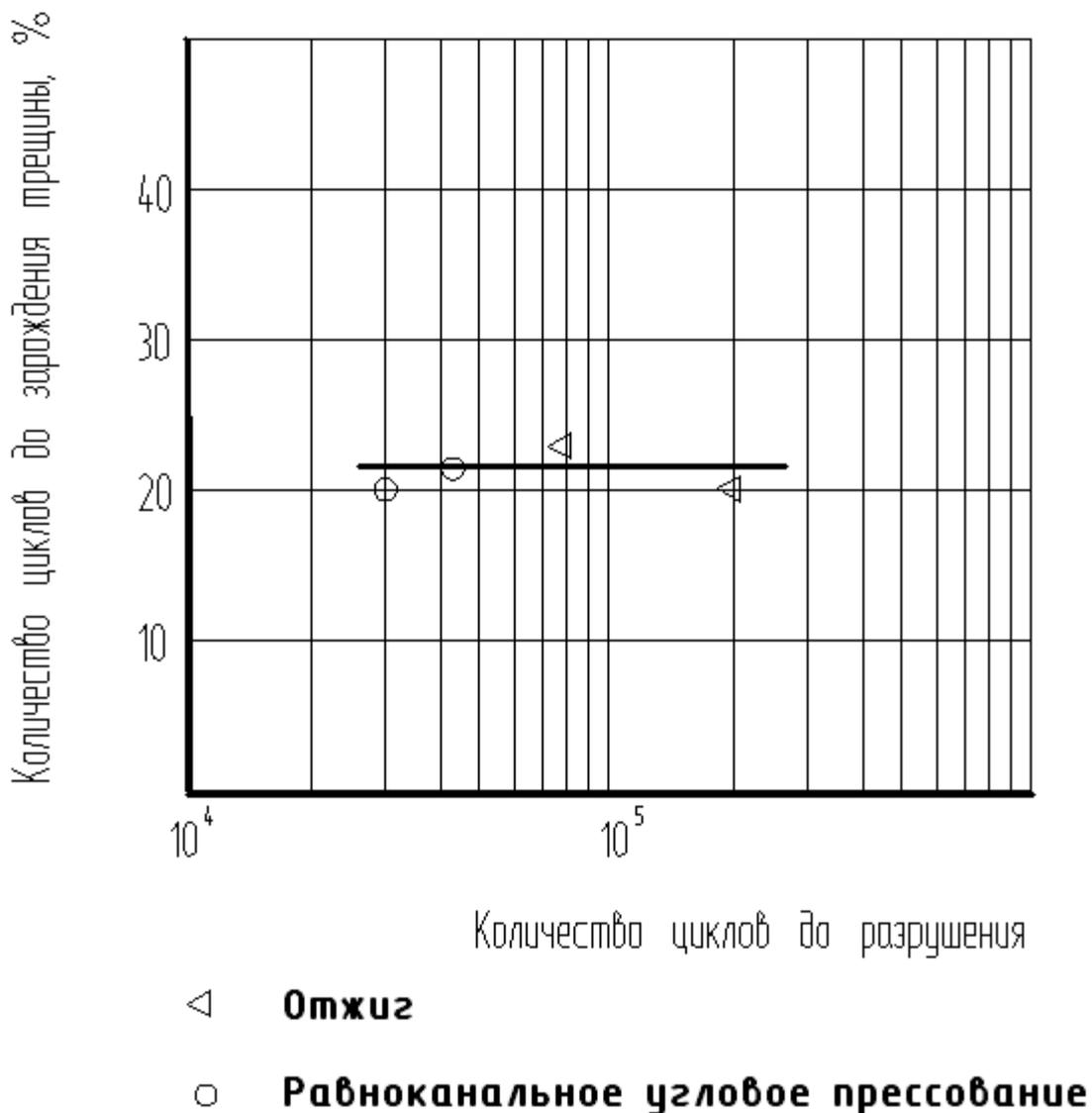
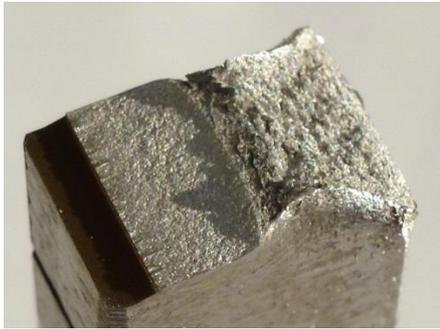


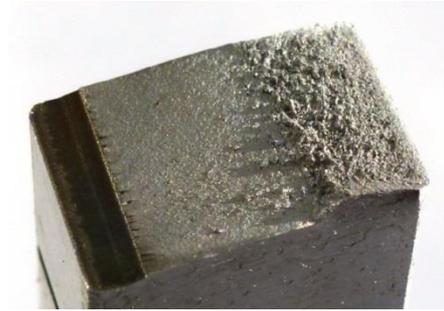
Рисунок 28 – Зависимость N_z (%) в обычных координатах от N (цикл) в полулогарифмических координатах

3.3 Влияние РКУП на строение усталостных изломов

На рисунке 29 показаны фотографии усталостных изломов стали 08X18H9. На рисунке 29 а приведен вид Усталостный излом КЗ стали характеризуется сравнительно гладкой зоной усталостного распространения трещины l_f . Зона долома характеризуется высокой степенью шероховатости. Усталостный излом УМЗ стали характеризуется более протяженной зоной усталостного развития трещины l_f ; зона долома менее шероховатая и меньше по размеру [19].



а)



б)

Рисунок 29 – Характерный вид усталостных изломов из КЗ (а) и УМЗ (б) стали 08X18H9

В таблице 5 приведены данные по общей долговечности образцов (N), количество циклов нагружения, затраченное на распространения усталостной трещины (N_p), и длиной зоны l_f .

Таблица 5 – Общая долговечность образцов (N) из стали 08X18H9, количество циклов на распространение усталостной трещины (N_p), длина зоны (l_f) на поверхности изломов

Состояние	ΔP , Н	N , цикл	N_p , цикл	l_f , мм
КЗ (Отжиг)	3500	$2.09 \cdot 10^5$	$1.67 \cdot 10^5 / 79\%$	6.2
	4000	$7.75 \cdot 10^4$	$5.953 \cdot 10^4 / 76\%$	5.7
УМЗ (РКУП)	5000	$4.17 \cdot 10^4$	$3.268 \cdot 10^4 / 78\%$	8.1
	5500	$3.01 \cdot 10^4$	$2.405 \cdot 10^4 / 79\%$	8.0

Из рисунка 30 видно, что с увеличением количества циклов, затраченных на распространения усталостной трещины, длина зоны l_f незначительно возрастает как для стали с КЗ, так и УМЗ структурой.

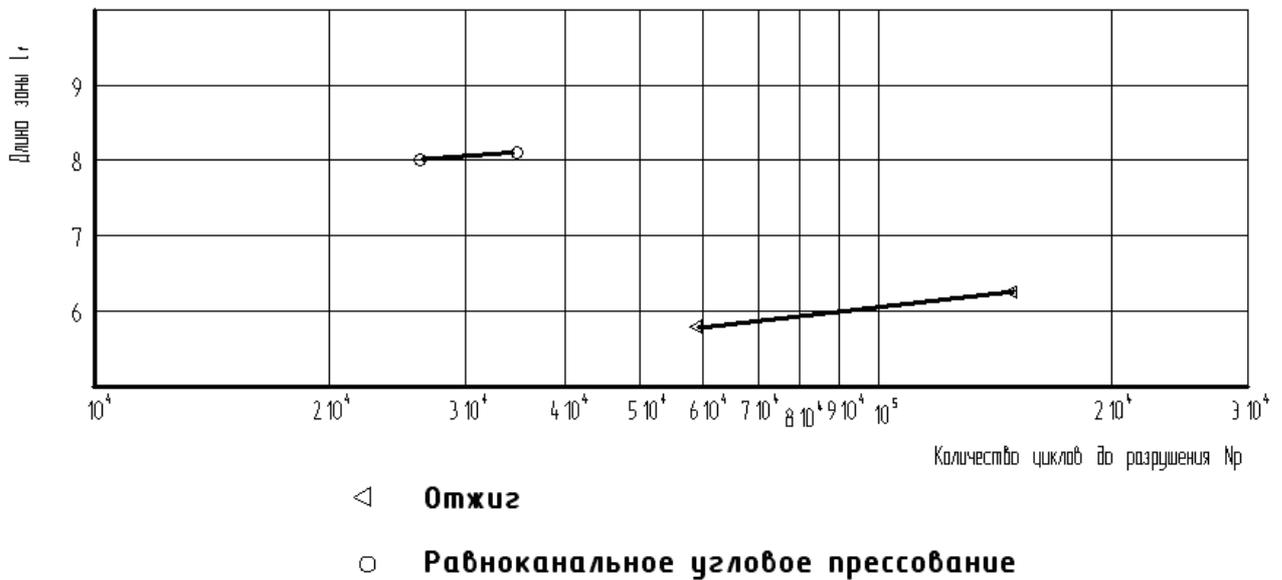


Рисунок 30 – Зависимость длины зоны I_f на поверхности изломов от количества циклов на распространение усталостной трещины (N_p)

Выводы

РКУП по приведенным в работе режимам повышает твердость стали 08X18H9 в 2.3 раза; предел прочности (σ_B) – в 1.8 2 раз больше; предел текучести ($\sigma_{0.2}$) – в 3.3 раза. При этом относительное удлинение снизилось в 3.3 раза.

При увеличении количества циклов нагружения до разрушения образцов N , количества циклов нагружения до зарождения усталостной трещины ($N_{зар.}$) увеличивается как для КЗ стали, так и для УМЗ стали. Однако в процентном отношении, количество циклов нагружения до зарождения усталостной трещины ($N_{зар.}$) практически одинаково для образцов из КЗ и УМЗ стали и составляет, примерно, 21 %.

С увеличением количества циклов, затраченных на распространения усталостной трещины, длина зоны усталостного развития трещины зоны I_f на поверхности изломов незначительно возрастает как для стали с КЗ, так и УМЗ структурой.

4 Безопасность и экологичность проекта

4.1 Технологическая характеристика объекта

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу исследования свойств стали 08X18H9 после следующих технологических воздействий – отжиг и равноканальное угловое прессование.

Любым производственным процессам сопутствуют опасные и вредные производственные факторы. В том числе в лабораторных условиях существует необходимость выполнения определенного рода правил, обеспечивающих нейтрализацию опасных и вредных факторов. Задача раздела безопасность и экологичность бакалаврской работы опасные и вредные производственные факторы выявить и нейтрализовать.

Таблица 6 - Технологический паспорт технического объекта

Наименование операции исследуемого технологического варианта	Должность исполнителя	Оборудование необходимое для реализации исследуемого технологического варианта	Вспомогательные материалы и вещества необходимые для исследуемого технологического варианта
1) контроль заготовок	Дефектоскопист	Измерительный инструмент.	Перчатки
2) подготовка заготовок к равноканальному угловому прессованию и отжигу	Слесарь-сборщик	Ветошь.	Перчатки
3) равноканальное угловое прессование и отжиг	Термист, слесарь сборщик	Пресс, электропечь типа СНО.	Перчатки
4) выполнение исследований	Лаборант	Установка Instron 8801, микроскоп Axiovert 40 MAT, твердомер ТН-300.	Азотная кислота, уксусный ангидрид, абразивная бумага
5) анализ результатов	Инженер	Стол письменный	

На основании разработанного технологического паспорта выполняю систематизацию рисков при выполнении исследовательских работ и выработаем мероприятия по борьбе с ними.

4.2 Систематизация профессиональных рисков

Рассмотрение операций исследовательского процесса в направлении поиска опасных и вредных факторов позволит систематизировать факторы для дальнейшего анализа, таблица 7. Травмы в процессе проведения исследований и профессиональные заболевания появляются по причине действия на организм работников опасных и вредных факторов. Если после непродолжительного действия появляются повреждения организма, это травма. Для появления профессионального заболевания требуется действие вредного фактора в течение продолжительного времени, месяцы, годы. В любом случае после систематизации профессиональных рисков потребуются разработка перечня мероприятий, технических и организационных, по нейтрализации воздействия рисков на человеческий организм [24].

Таблица 7 – Систематизация профессиональных рисков

Наименование операции	Выявленный опасный или вредный фактор, угрожающий жизни и здоровью производственного персонала	Производственные объекты, являющиеся источником опасного или вредного фактора
1	2	3
1) контроль заготовок	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования.	- инструменты
2) подготовка заготовок к равноканальному угловому прессованию и отжигу	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; - подвижные части производственного оборудования; - загазованность воздуха рабочей зоны	- стол; - инструменты.

Продолжение таблицы 7

1	2	3
3) равноканальное угловое прессование и отжиг	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; - подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения; 	<ul style="list-style-type: none"> - пресс, штамп; - электропечь типа СНО;
4) выполнение исследований	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; - подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; 	<ul style="list-style-type: none"> - установка Instron 8801; - микроскоп Axiovert 40 MAT; - твердомер ТН-300.
5) анализ результатов	<ul style="list-style-type: none"> - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека 	<ul style="list-style-type: none"> - стол письменный; - компьютер

Перечисленные в таблице 7 опасные факторы, позволяют перейти к следующему этапу – разработке мер борьбы с ними.

4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Для уменьшения воздействия на организм работающих исследовательской лаборатории опасных и вредных факторов применяется комплекс организационных и технических мероприятий.

В первую очередь следует по приему на работу и периодически разъяснять причины возникновения опасных и вредных факторов и методы борьбы с ними. Кроме того, различного рода плакаты, вывешенные на видных местах напоминают работникам каждый день о борьбе с опасными и

вредными факторами и причинах их возникновения. Все это организационные мероприятия. К техническим мероприятиям следует отнести различного рода барьеры, устанавливаемые вокруг опасного места, предохранительные устройства, срабатывающие при пересечении работником опасного места. Также для нейтрализации могут быть применены индивидуальные средства защиты, к которым относятся специальная одежда, выполненная для нейтрализации опасного или вредного фактора, различного рода маски, перчатки, специальная обувь, средства индивидуальной защиты.

Таблица 8 – Используемые с целью снижения влияния отрицательных производственных условий средства и методики

Выявленный опасный или вредный фактор, угрожающий жизни и здоровью производственного персонала	Организационные и технические средства нейтрализующие выявленные опасные и вредные факторы.	Средства нейтрализующие опасный или вредный фактор при размещении непосредственно на работнике.
1	2	3
1) острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования.	1) на видных местах вывешиваются плакаты и информационные стенды по правилам поведения в той или иной ситуации; 2) вводные и периодические инструктажи по технике безопасности	Спецодежда, перчатки.
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;	1) ограждения и барьеры; 2) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек 3) установка предохранительных устройств	Спецодежда, перчатки
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;	1) местные вытяжные устройства; 2) устройства общеобменной вентиляции;	Защитные маски
4) повышенное значение напряжения в электрической цепи.	1) организация защитного заземления; 2) периодические инструктажи по технике электробезопасности;	Спецодежда, перчатки
5) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	1) проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности; 2) удаление производственного персонала из места действия данного опасного фактора	Спецодежда, перчатки

Идентификация опасных и вредных производственных факторов, совокупное или раздельное действие которых приводит к возникновению профессиональных рисков позволила предложить для каждого из них стандартные технологические и организационные мероприятия, позволяющие устранить действие этих факторов или уменьшить их действие до приемлемого уровня.

4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

По определению пожар – это неконтролируемый процесс горения. Причиной пожара может быть нарушение технологического регламента, неисправность производственного оборудования, несоблюдение сотрудниками правил пожарной безопасности. Соответственно и мероприятия по обеспечению пожарной безопасности направлены на борьбу с перечисленными причинами. Если рассматривать исследовательскую лабораторию то возможный пожар можно классифицировать как «Е» - горение веществ и материалов под напряжением. Для того, чтобы разработать предложения по предотвращению пожара необходимо проанализировать его опасные факторы, таблица 9.

Таблица 9 – Распознавание классов и опасных условий пожара

Участок	Установлено в лаборатории оборудование	«Классификация по виду горящего вещества» [23]	«Наименование основных опасных факторов пожара» [23]	Наименование вторичных опасных факторов пожара
Лаборатория в которой осуществляется исследование свойств стали 08X18N9.	- Установка Instron 8801, микроскоп Axiovert 40 MAT, твердомер ТН-300.	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим	«Резкое повышение температуры на участке и вокруг него; выделение при горении токсичных продуктов и угарного газа; выделение аэрозолей, снижающих видимость на участке и вокруг	«Короткие замыкания на оборудовании, запитанном высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов.

На основании выполненного анализа, мы можем разработать перечень технических и организационных мероприятий, нейтрализующих причины возникновения пожара, таблица 10.

Таблица 10 – Перечень мер по обеспечению пожарной безопасности

Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.	Средства, применяемые в начале возгорания
Специализированные расчеты (вызываются)	Мобильные средства пожаротушения
Нет необходимости для применения на производственном участке	Стационарные установки системы пожаротушения
Нет необходимости для применения на производственном участке	Средства пожарной автоматики
Пожарный кран	Пожарное оборудование
План эвакуации	Средства, обеспечивающие эвакуацию персонала
Ведро конусное, лом, лопата штыковая	Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)
Кнопка оповещения, телефон в помещении начальника участка	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.

Для обеспечения защиты участка на высоком уровне также необходимы мероприятия организационного характера, их краткий перечень отражен в таблице 11.

Таблица 11 – Организационные мероприятия по обеспечению пожарной безопасности исследовательской лаборатории

Наименование участка	Перечень мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Лаборатория исследования свойств стали 08X18N9	Инструктаж сотрудников лаборатории правилам предупреждения возгораний	На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве.

Перечисленные мероприятия обеспечивают защиту персонала и имущества предприятия от возможного пожара.

4.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта

Опасные и вредные факторы сварочного участка помимо действия на производственный персонал оказывают негативное действие на окружающую среду, таблица 12. Меры борьбы отражены в таблице 13.

Таблица 12 – Систематизация факторов негативно влияющих на окружающую среду

Наименование технологического процесса	Перечень операций, технологического процесса	Факторы, негативно влияющие на атмосферу	Факторы, негативно влияющие на гидросферу	Факторы, негативно влияющие на литосферу
Исследования структуры и свойств стали 08X18N9 после соответствующих технологических воздействий	контроль заготовок подготовка заготовок к отжигу и равноканальному угловому прессованию, исследования структуры и механических свойств	«Выделяемые в процессе отжига аэрозоли, частицы сажи и газообразные частицы» [14]	«Химикаты, используемые в процессе травления шлифов» [14].	«Упаковочный материал, мусор – бытовой и производственный» [14].

Таблица 13 – Борьба с факторами негативно влияющими на окружающую среду

Наименование мер борьбы	Сварка
Борьба с факторами негативно влияющими на атмосферу.	«Оснащение вентиляционной системы фильтрами, позволяющими выполнить сбор и утилизацию выделяющихся при отжиге вредных продуктов» [6].
Борьба с факторами негативно влияющими на гидросферу	Контроль утечек химикатов при проведении травления микрошлифов.
Борьба с факторами негативно влияющими на литосферу	«Установка на участке сварки соответствующих емкостей для сбора отходов производственного цикла и при проведении повторных инструктажей подробное разъяснение необходимости складирования отходов производственного цикла в установленные емкости» [6].

В рамках решения 4 задачи бакалаврской работы выявлены факторы, оказывающее негативное влияние на производственный персонал и окружающую среду. Для успешной борьбы с выявленными факторами предложены уже применяющиеся методики, включающие в себя организационные и технические мероприятия. К числу организационных следует отнести периодические разъяснения причины возникновения опасных и вредных факторов и методы борьбы с ними, во время проведения вводных и ежеквартальных инструктажей. Кроме того, различного рода плакаты, вывешенные на видных местах напоминают работникам каждый день о борьбе с опасными и вредными факторами и причинах их возникновения. К числу технических мероприятий следует отнести различного рода барьеры, устанавливаемые вокруг опасного места, предохранительные устройства, срабатывающие при пересечении работником опасного места. Также для нейтрализации факторов, оказывающих негативное влияние, могут быть применены индивидуальные средства защиты, к которым относится специальная одежда, выполненная для нейтрализации опасного или вредного фактора, различного рода маски, перчатки, специальную обувь.

Заключение

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу исследования свойств стали 08X18H9 после следующих технологических воздействий – отжиг и равноканальное угловое прессование. В процессе проведенных исследований выявлено что процесс равноканального углового прессования позволяет получить ультрамелкозернистую структуру.

Для проведения исследований применяли передовые методы с использованием современного оборудования. Испытание стали 08X18H9 на твердость проводили на твердомере ТН 300, имеющего возможность подключения к компьютеру. Статическое растяжение цилиндрических образцов диаметром 3 мм проводили на универсальной испытательной машине Н50КТ. Усталостные испытания призматических образцов толщиной 10 мм, проводили при температуре 20 °С по схеме трехточечного изгиба на установке Instron 8802. Для исследования микроструктуры образцов применяли микроскоп Axiovert 40 MAT.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что равноканальное угловое прессование обеспечивает увеличение предела прочности для образцов подвергнутых данному технологическому воздействию почти в 2 раза. Увеличение предела текучести составило почти 3 раза.

В рамках выполнения бакалаврской работы были выявлены факторы, оказывающее негативное влияние на производственный персонал и окружающую среду [17]. Для успешной борьбы с выявленными факторами предложены уже применяющиеся методики, включающие в себя организационные и технические мероприятия [9]. К числу организационных следует отнести периодические разъяснения причины возникновения опасных и вредных факторов и методы борьбы с ними, во время проведения.

Кроме того, различного рода плакаты, вывешенные на видных местах напоминают работникам каждый день о борьбе с опасными и вредными факторами и причинах их возникновения.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Ботвина, Л.Р. Кинетика разрушения конструкционных материалов / Л.Р. Ботвина. – М. : Наука, 1989. – 230 с.
2. Ботвина, Л.Р. Макро- и микрофрактографические особенности рассредоточенного ударного разрушения в стали 45 в интервале вязко-хрупкого перехода / Л.Р. Ботвина, Г.В. Клевцов // Металловедение и термическая обработка металлов, 1985. – № 2. – С. 27–29.
3. Гордеева, Т.А. Анализ изломов при оценке надежности материалов / Т.А. Гордеева, И.П. Жегина. – М. : Машиностроение, 1979. – 199 с.
4. Горина, Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учеб. пособие. Л. Н. Горина. Гриф УМО. Тольятти : ТолПИ. 2000. 79 с.
5. Гостюшин А. В. Энциклопедия экстремальных ситуаций. М.: Изд. «Зеркало», 1995. 288 с.
6. Гринин А. С., Орехов Н.А. Экологический менеджмент : учеб. пособие для вузов. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. 206 с.
7. Действия населения в чрезвычайных ситуациях. Пособие. Под общей редакцией В.А. Владимирова. М.: МЧС России, 1995. 230 с.
8. Егоров А.Г., Уполовникова Г.Н., Живоглядова И.А. Правила оформления выпускных квалификационных работ для бакалавриата и специалитета: учебно-методич. пособие по выполнению дипломного проекта. Тольятти.: ТГУ, 2011. 87 с.
9. Клевцов, Г.В. Пластические зоны и диагностика разрушения металлических материалов / Г.В. Клевцов. – М. : МИСиС, 1999. – 112 с.
10. Клевцова, Н.А. Разрушение аустенитных сталей и мартенситные превращения в пластических зонах / Н.А. Клевцова, О.А. Фролова, Г.В. Клевцов. – М. : Изд-во Академии естествознания, 2005. – 155 с.

11. Огневой В.Я. Основы фрактографии: Учебное пособие. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2004. – 95 с.
12. Расчеты и испытания на прочность : Классификация видов изломов металлов : метод. указания (РД 50-672–88). – М. : ВНИИНМАШ, 1988. – 32 с.
13. Фрактография и атлас фрактограмм : справочник /под ред. М.Л. Бернштейна ; пер. с англ. Е.А. Шура. – М. : Metallurgiya, 1982. – 489 с.
14. Энгель, Л. Растровая электронная микроскопия. Разрушение : справ. изд. / Л. Энгель, Г. Клингел. – М. : Metallurgiya, 1986. – 232 с.
15. Герасимова, Л.П. Изломы конструкционных сталей : справ. изд. / Л.П. Герасимова, А.А. Ежов, М.И. Маресев. – М. : Metallurgiya, 1987. – 272 с.
16. Умаров С. З. и др. Медицинское и фармацевтическое товароведение: Учебник - М.: ГЭОТАР - МЕД, 2004. - 368 с., с.204-206.
17. Фрактодиагностика разрушения металлических материалов и конструкций / Г.В. Клевцов [и др.]. – М. : МИСиС, 2007. – 264 с.
18. Фридман, Я.Б. Строение и анализ изломов металлов / Я.Б. Фридман, Т.А. Гордеева, А.М. Зайцев. – М : Машгиз, 1960. – 128 с.
19. Фрактография – средство диагностики разрушенных деталей / М.А. Балтер [и др.]. – М. : Машиностроение, 1978. – 184 с.
20. Чегуров М.К., Сорокина С.А. Основы фрактографического анализа изломов образцов из конструкционных сплавов: учеб. пособие / М.К. Чегуров, С. А. Сорокина; НГТУ им. Р. Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2018. – 79 с.