

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт физики высоких технологий

Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов

Кафедра Материаловедение в машиностроении

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Влияние методов измельчения структуры на распределение по размерам и энергии внутренних границ раздела стали 12ГБА

УДК 669.141.24

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б21	Шумакова Дарья Алексеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
С. н. с.	Кузнецов П. В.	К.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова А. Е.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Назаренко О. Б.	Д. т. н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Материаловедение в машиностроении	Панин В.Е.	Д. ф.-м.н., акад. РАН		

Планируемые результаты обучения по ООП 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов (бакалавриат)

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Применять основные положения и методы гуманитарных наук при решении социально-общественных и профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P2	Использовать современное информационное пространство при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P3	Разрабатывать, оформлять и использовать техническую документацию, включая нормативные документы по вопросам интеллектуальной собственности в области материаловедения и технологии материалов
P4	Проводить элементарный экономический анализ ресурсов, технологий и производств при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P5	Эффективно работать в коллективе на основе принципов толерантности, использовать устную и письменную коммуникации на родном и иностранном языках в мультикультурной среде
P6	Эффективно выполнять трудовые функции по реализации высокотехнологичных производств материалов и изделий
P7	Проводить комплексную диагностику материалов, процессов и изделий с использованием технических средств измерений, испытательного и производственного оборудования
P8	Готовность к мотивированному саморазвитию, самоорганизации и обучению для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности в области материаловедения и технологии материалов
P9	Успешно использовать методы и приемы организации труда, обеспечивающие эффективное, экологически, социально и технически безопасное производство
P10	Использовать принципы производственного менеджмента и управления персоналом в производственной деятельности в области материаловедения и технологии материалов

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт физики высоких технологий

Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов

Кафедра Материаловедение в машиностроении

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Панин В. Е.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Б21	Шумакова Дарья Алексеевна

Тема работы:

Влияние методов измельчения структуры на распределение по размерам и энергию внутренних границ раздела стали 12ГБА	
Утверждена приказом директора ИФВТ	Приказ № _____ от _____

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	<i>Сталь 12ГБА в исходном состоянии, после всесторонней изотермической ковки, теплой прокатки. Литературные данные по исследованию структуры и механических свойств (ударной вязкости, температура вязко-хрупкого перехода) стали в различных состояниях полученных ВИК и теплой прокаткой. Методика исследования распределения по размерам зеренно-субзеренной структуры и оценки энергии границ простых металлов с ультрамелкозернистой структурой с помощью сканирующего туннельного микроскопа.</i>
---	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	<i>Провести литературный обзор по теме. Адаптация методики исследования распределения по размерам зеренно-субзеренной структуры и оценки энергии границ простых металлов с ультрамелкозернистой структурой с помощью сканирующего туннельного микроскопа для исследования многофазных материалов на примере стали 12ГБА. Для выявления структуры стали необходимо протравить образцы в спиртовом растворе азотной кислоты. Проведение эксперимента по получению СТМ-изображений структуры исследуемого образца. Обработка данных и построение гистограмм распределения ЗСС по размерам. На основании расчетов получить интегральные функции распределения относительной энергии границ раздела.</i>
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	<i>Гистограммы распределения ЗСС по размерам; Интегральные функции распределения; СТМ-изображения структуры; Профили линий-перпендикуляров к границе зерна; Распределение границ по углам разориентировки; Зависимость ударной вязкости от температуры.</i>
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Е.А. Грахова, ассистент, ТПУ кафедра МЕН
Социальная ответственность	О.Б. Назаренко, профессор, ТПУ кафедра ЭБЖ
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Реферат / abstract	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	8.02.2016
--	------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
С. н. с.	Кузнецов П. В.	К.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б21	Шумакова Дарья Алексеевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 79 страниц, 21 рисунок, 21 таблица, 24 источника, 0 приложений.

Ключевые слова: интенсивная пластическая деформация, ультрамелкозернистая структура, низкоуглеродистая сталь, размер зерна, энергия внутренних границ раздела стали.

Объектом исследования являются три образца стали 12ГБА в трех структурных состояниях: исходном крупнокристаллическом, после всесторонней изотермической ковки и тепловой прокатки.

Цель работы – оценка элементов зеренно-субзеренной структуры по размерам и энергии границ ЗСС стали 12ГБА в крупнокристаллическом состоянии, после всесторонней изотермической ковки и тепловой прокатки.

В процессе исследования проводились работы по выявлению структуры стали 12ГБА путем химического травления. Были получены изображения структуры с помощью сканирующего туннельного микроскопа, оптического микроскопа и интерферометра белого света New View. Проведена оценка относительной энергии границ зерен путем измерения двугранного угла канавки травления.

В результате исследования были сделаны выводы, что в результате тепловой прокатки и всесторонней изотермической ковки стали 12ГБА формируется УМЗ структура со средним размером фрагментов 0.2 – 0.5 мкм. Так же, получено, что после всесторонней изотермической ковки и тепловой прокатки наблюдается смещение интервала относительной энергии внутренних границ раздела в область меньших энергий, что коррелирует с изменением температуры их вязко-хрупкого перехода.

Область применения: трубопроводы, предназначенные для эксплуатации в условиях крайнего севера.

Значимость работы: увеличение срока службы магистральных нефте- и газотрубопроводов, работающих в сложных климатических условиях.

В будущем планируется провести винтовую экструзию предложенной стали и оценить изменение структурных характеристик методом сканирующей туннельной микроскопии.

Abstract

Final qualifying work 79 pages, 21 figures, 21 tables, 24 source, 0 applications.

Keywords: severe plastic deformation, ultrafine structure, low carbon steel, grain size, the energy of the internal boundaries become.

The object of the study are three samples of steel 12GBA in three structural states: initial coarse, after multiple isothermal forging and hot rolling.

The purpose of work - evaluation elements grain-subgrain structure the size and energy grain-subgrain structure steel 12GBA boundaries in a coarse state, after multiple isothermal forging and hot rolling.

During the research work was carried out to identify the structure of the steel 12GBA by chemical etching. The images of the structure were obtained using a scanning tunneling microscope, optical microscope and interferometer New View of white light. The estimation of the relative energy of the grain boundaries by measuring the dihedral angle of the groove etching.

As a result, studies have concluded that as a result of multiple isothermal forging and hot rolling steel 12GBA formed ultrafine structure with fragments an average size of 0.2 - 0.5 microns. Also, it was found, that after multiple isothermal forging and hot rolling, a shift interval of the relative power of internal interfaces to lower energies, which correlates with the temperature of ductile-brittle transition.

Applications: pipelines designed for operation in the far north.

Significance of the work: increase the service life of the main oil and gas pipelines, working in difficult climatic conditions.

In the future it is planned to hold a screw extrusion proposed steel and estimate the change in the structural characteristics by scanning tunneling microscopy.

Определения, сокращения, нормативные ссылки

Интенсивная пластическая деформация - способ получения беспористых металлов и сплавов с размером зерна около 100 нм, заключающийся в формировании за счет больших деформаций сильно фрагментированной и разориентированной структуры, сохраняющей в себе остаточные признаки рекристаллизованного аморфного состояния.

Интенсивная пластическая деформация (ИПД);

Зеренно-субзеренная структура (ЗСС);

Ультрамелкозернистая структура (УМЗ);

Сканирующая туннельная микроскопия, сканирующий туннельный микроскоп (СТМ);

Интегральная функция распределения (ИФР);

Всесторонняя изотермическая ковка (ВИК).

Оглавление

Введение	10
1 Литературный обзор	12
1.1 Низкоуглеродистые и малолегированные стали	12
1.2 Методы пластической деформации (изотермическая ковка, теплая прокатка)	13
1.3 Существующие методы оценки энергии границ зерен	16
2 Материалы и методы	20
2.1 Сталь 12ГБА	20
2.2 Сканирующая туннельная микроскопия	21
2.3 Методы исследования структуры стали 12ГБА	23
2.4 Методика оценки неравновесности структуры с помощью измерения двугранного угла канавки травления	25
3 Результаты и их обсуждение	26
3.1 Структура стали 12ГБА	26
3.1.1 Исходное крупнокристаллическое состояние	26
3.1.2 Структура стали после всесторонней изотермическойковки	28
3.1.3 Структура после теплой прокатки	31
3.2 Энергия границ зерен	34
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	39
4.1 Оценка коммерческого потенциала исследования	39
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	39
4.1.2 SWOT-анализ	40
4.2 Планирование научно-технического исследования	41
4.2.1 Структура работ	41
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	42

4.2.3 Разработка графика выполнения научно-исследовательской работы	45
4.3 Смета затрат на проведение НИР	47
4.4 Определение ресурсной и финансовой эффективности научно-исследовательской работы	52
4.4.1 Анализ и оценка научно-технического уровня проекта	52
4.4.2 Оценка рисков при проведении исследования	54
5 Социальная ответственность	59
5.1 Производственная безопасность	59
5.1.1 Анализ выявленных вредных факторов	60
5.1.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды	66
5.2 Экологическая безопасность	70
5.3 Защита в чрезвычайных ситуациях	72
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	73
Заключение	75
Список публикаций студента	76
Список использованной литературы	77

Введение

В последнее время особое внимание специалистов – физиков, механиков, материаловедов, занимающихся созданием и исследованием новых материалов, вызывают наноструктурные материалы. Такие материалы обладают уникальной структурой и свойствами, многие из которых имеют непосредственный практический интерес. Это открывает перспективы улучшения существующих и создания принципиально новых функциональных и конструкционных материалов [1].

Кристаллические материалы со средним размером зерен или других структурных единиц, менее 100 нм, относят к наноструктурным материалам [1].

Методы интенсивной пластической деформации, которые широко развиваются в последнее время, позволяют формировать в материалах нанокристаллическую (НК) и ультрамелкозернистую структуру [1]. Формированием НК и УМЗ структуры достигаются прочностные свойства в материалах и сплавах такого уровня, который невозможно получить традиционными методами термической обработки.

К примеру, в низкоуглеродистой стали 12ГБА, создание УМЗ структуры методами интенсивной пластической деформации позволяет повысить механические свойства, такие как хладостойкость, коррозионная стойкость и ударная вязкость [2,3,4].

Для понимания механизмов изменения механических свойств стали после ИПД необходимы количественные исследования происходящих структурных изменений. Одним из важнейших параметров структуры материалов является средний размер зерна, который связан с пределом текучести материалов уравнением Холла-Петча. Другой важной количественной характеристикой УМЗ структуры материалов является энергия границ зеренно-субзеренной (ЗСС) структуры.

Как показано недавно в работе [5], эффективным методом количественной характеристики распределения по размерам ЗСС структуры является сканирующая туннельная микроскопия. Кроме того, благодаря трехмерному характеру получаемых данных, СТМ позволяет получать прямые оценки степени неравновесности границ зерен методом зернограничной канавки [5]. При этом удастся получать оценки от наиболее неравновесных границ, что не удастся сделать с помощью дифракционных методов исследования и просвечивающей электронной микроскопии.

Целью настоящей работы являлась оценка ЗСС по размерам и относительной энергии границ ЗСС стали 12ГБА в крупнокристаллическом состоянии, после всесторонней изотермическойковки и тепловой прокатки.

1 Литературный обзор

Низкоуглеродистые и малолегированные стали

Сталью является сплав железа с углеродом и другими элементами. В стали содержание углерода находится в интервале от 0,1 до 2,14 %.

Учитывая, что в стали могут присутствовать легирующие элементы, сталью называется сплав железа с углеродом и легирующими элементами, содержание Fe в стали не менее 45 % [6].

Низкоуглеродистые стали обладают высокой пластичностью, что позволяет подвергать их холодным деформациям без опасности образования трещин и способствует благоприятному перераспределению местных перенапряжений. Эти стали слабо закаливаются, малочувствительны к местному нагреву, хорошо свариваются. Недостатками низкоуглеродистых сталей, по сравнению с низколегированными, являются более низкая прочность, меньшая ударная вязкость, повышенная чувствительность к механическому старению [6].

Низколегированные стали – это стали, в химическом составе которых помимо железа, углерода и неизбежных примесей присутствуют легирующие примеси. Процент примесей в низколегированных сталях не превышает 2,5% [6].

Легирующие примеси могут включать никель, хром, марганец, кремний, вольфрам, ванадий, молибден, медь, кобальт, ниобий, титан, алюминий, бор, азот. Каждая из добавок позволяет придать стали определенные требуемые свойства.

Низколегированные стали, в сравнении с низкоуглеродистыми, имеют более высокие показатели: предела текучести (что позволяет облегчать конструкции из низколегированной стали и экономить металл в сооружении); ударной вязкости (что повышает надежность конструкций, эксплуатируемых при наличии динамических нагрузок в условиях крайнего севера, в районах с

суровым климатом); коррозионной стойкости (что повышает долговечность конструкций из стали, подвергающихся воздействию коррозии) [6].

Низколегированные стали чувствительны к концентрации напряжений при повторных нагрузках, что снижает эффективность применения низколегированной стали в конструкции, которая подвергается в период эксплуатации повторным нагрузкам. Эффективность использования низколегированной стали взамен низкоуглеродистой зависит от разницы в величинах пределов текучести, и от характера напряженного состояния элементов конструкций. Наибольший эффект достигается в растянутых элементах, так как в этом случае разница между значениями пределов текучести используется полностью; в сжатых элементах - наименьший эффект, вследствие известного уменьшения сопротивления продольному изгибу с увеличением предела текучести [6].

По ГОСТу для обозначения марок легированных сталей принято использовать буквенно-цифровую систему. В начале обозначения приводятся цифры, которые указывают процентное содержание углерода в сотых долях. Затем ставят буквы, обозначающие легирующий элемент, к примеру, Р - бор, Ю - алюминий, В - вольфрам, Ф - ванадий, Ц - цирконий, С - кремний, Д - медь, Г - марганец, Т - титан, Н - никель, М - молибден, Х - хром. Цифра, стоящая за буквами, указывает процентное содержание легирующего элемента. После буквенного обозначения легирующего элемента цифра не ставится, если его содержание не превышает 1 % [6].

Методы пластической деформации (изотермическая ковка, теплая прокатка)

Ковка - это высокотемпературная обработка различных металлов, нагретых до ковочной температуры. Для каждого металла существует своя ковочная температура, зависящая от физических (температура плавления, кристаллизация) и химических (наличия легирующих элементов) свойств. Для

железа температурный интервал 800 - 1250°C, для титана 900 - 1600°C, для меди 650 - 1000°C, для алюминиевых сплавов 400 - 480°C [7].

Различают:

- штамповка;
- ковка на молотах (пневматических, паровых и гидравлических);
- ручная ковка;

При ковке в штампах металл ограничен со всех сторон стенками штампа. При деформации он приобретает форму этой полости.

При свободной ковке (ручной и машинной) металл не ограничен совсем или же ограничен с одной стороны. При ручной ковке непосредственно на металл или на инструмент воздействуют кувалдой или молотом [7].

Свободную ковку применяют также для улучшения структуры и качества металла. При проковке металл упрочняется, завариваются так называемые несплошности и размельчаются крупные кристаллы, в результате чего структура становится мелкозернистой, приобретает волокнистое строение [7].

Машинную ковку выполняют на специальном оборудовании – молотах, с массой падающих частей от 40 до 5000 кг, или гидравлических прессах, развивающих усилия 2–200 МН, а также на ковочных машинах. Изготавливают поковки массой 100 т. и более. Для манипулирования тяжёлыми заготовками при ковке используют подъёмные краны грузоподъёмностью до 350 т, кантователи и специальные манипуляторы [7].

Ковка является одним из экономичных способов получения заготовок деталей. В крупносерийном и массовом производствах преимущественное применение имеет ковка в штампах, а в единичном и мелкосерийном – свободная ковка.

Суммарная степень деформации оценивалась по истинному относительному сужению, рассчитанному по формуле:

$$\varphi = \sum \ln \left(\frac{F_{i-1}}{F_1} \right), (1)$$

где F_{i-1} и F_1 – начальная и конечная площади поперечного сечения поковки в каждом проходе осадки [8].

Прокатка - это процесс пластического деформирования тел на прокатном стане между вращающимися приводными валками (часть валков может быть не приводными). Словосочетание "приводными валками" означает, что энергия, которая необходима для осуществления пластической деформации, передается через валки, соединённые с двигателем прокатного стана.

Прокатка относится к числу основных способов обработки металлов давлением. Прокаткой получают изделия (прокат) разнообразных размеров и формы. Как и любой другой способ обработки металлов давлением, прокатка служит не только для получения нужной формы изделия, но и для формирования у него определенных свойств и структуры [9].

Процессы прокатки классифицируют по следующим признакам:

- по температуре проведения процесса прокатку делят на холодную (температура металла ниже температуры рекристаллизации) и горячую (температура металла при реализации процесса выше температуры рекристаллизации). Также имеет место так называемая теплая прокатка - обработка в области промежуточных температур;
- по взаимному расположению осей валков и полосы различают поперечно-винтовую или "косую" прокатку (оси валков находятся под некоторым углом друг к другу и к оси прокатываемой полосы и продольную (ось прокатываемой полосы перпендикулярна осям валков), поперечную (ось прокатываемой полосы параллельна осям валков);
- по характеру воздействия валков на полосу и условиям деформации прокатка бывает симметричной и несимметричной. Симметричной прокаткой называют процесс, при котором воздействие

каждого из валков на прокатываемую полосу является идентичным. При нарушении этого условия процесс следует отнести к несимметричному;

- по наличию или отсутствию внешних сил, приложенных к концам полосы, выделяют свободную и несвободную прокатку. Прокатка называется свободной, если на полосу действуют только силы, приложенные со стороны валков. Несвободная прокатка осуществляется с натяжением или подпором концов полосы [9].

Суммарная степень деформации оценивалась по истинному относительному сужению, рассчитанному по формуле:

$$\varphi = \sum \ln(F_{i-1}/F_1), (2)$$

где F_{i-1} и F_1 – начальная и конечная площади поперечного сечения поковки в каждом проходе осадки [8].

1.3 Существующие методы оценки энергии границ зерен

Энергия межзеренной границы γ определяется как свободная энергия, приходящаяся на единицу площади граничной поверхности. Так как межзеренная граница представляет собой поверхность раздела между двумя монокристаллами различной ориентации, большая часть атомов на границе смещена из позиций, которые они обычно занимают в совершенной кристаллической решетке. Следовательно, их свободная энергия выше, чем у атомов неискаженной кристаллической решетки. Концепция энергии межзеренной границы основывается на представлении самой границы как области, с которой связано определенное количество свободной энергии, обусловленное смещениями всех атомов, относящихся к этой области [10].

Существует несколько методов измерения энергии границ зерен: прямые и косвенные.

Прямые методы оценки энергии границ зерен.

Метод измерения двугранного угла канавки травления. Сканирующая туннельная микроскопия.

Оценку энергии границ зерен проводят путем измерения двугранных углов (ψ) зернограницных канавок, образующихся при травлении в равновесных условиях на пересечении зернограницных плоскостей со свободной поверхностью [11].

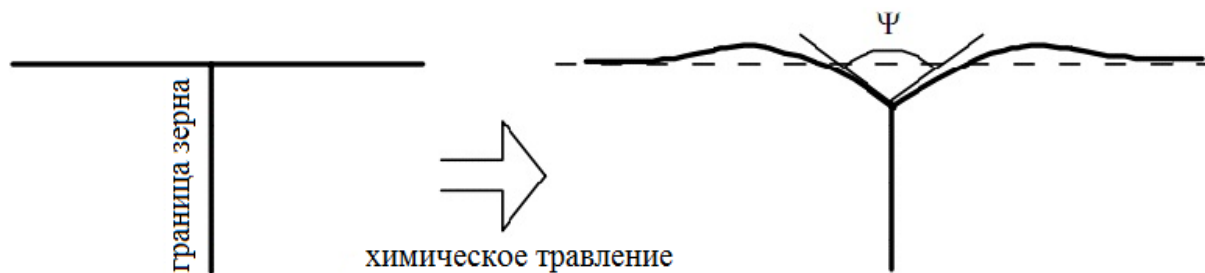


Рисунок 1 - Образование канавки химического травления

$$\frac{\gamma_b}{\gamma_s} = 2 \times \cos\left(\frac{\Psi}{2}\right), (3)$$

где γ_b - граничная, γ_s - поверхностная свободная энергия, Ψ - угол у дна канавки.

Уравнение основано на допущении о симметричности канавки, а значит, считает границу зерна перпендикулярной к поверхности, а поверхностную свободную энергию – независимой от ориентации [11].

Точность методов, в которых для оценки энергии границы используется образование канавок термического травления, зависит главным образом от точности измерения двугранного угла дна канавки. Этот угол может быть определен путем прямого измерения на сечении, перпендикуляром поверхности, на которую выходит канавка [11].

Перспективным методом оценки энергии равновесных границ зерен с помощью измерения двугранного угла канавки химического травления является сканирующая туннельная микроскопия. Методы СТМ не требуют специальной подготовки образцов, обладают высоким разрешением и приемлемым быстродействием, что позволяет получить масштабную и гораздо более представительную картину структуры материалов. Наибольшее распространение получила атомно-силовая микроскопия (АСМ). Это связано с универсальным характером взаимодействия Ван-дер-Ваальсовых сил, на

которых основан принцип работы АСМ. Известно, что силы Ван-дер Ваальса возникают между любыми молекулами и атомами, поэтому с помощью атомно-силовой микроскопии можно исследовать различные материалы: полупроводники, диэлектрики, металлы. С помощью АСМ можно исследовать различные особенности структуры материалов, в том числе и энергию границ зерен [12].

Сканирующую туннельную микроскопию, в отличие от атомно-силовой микроскопии, используют для исследования только проводящих материалов [13]. СТМ является бесконтактным методом, основанным на туннельном эффекте, который возникает под действием напряжения, приложенного между образцом и иглой, когда острая игла приближается к исследуемой поверхности на расстояние несколько ангстрем. Туннельный ток экспоненциально зависит от расстояния игла/образец и изменение этого расстояния на ~ 0.1 нм вызывает уменьшение туннельного тока примерно в ~ 10 раз [5].

Косвенные методы оценки энергии границ зерен.

К косвенным методам оценки энергии границ зерен относятся методы, основанные на измерении энергии дислокаций. Каждая дислокация в структуре границы зерна обладает упругой энергией, а энергии границы равна сумме энергий составляющих ее дислокаций [14]. Основной формулой расчета энергии таких границ остается формула Рида-Шокли [10]:

$$\gamma = \gamma_0 \theta (A - \ln \theta), \quad (4)$$

где γ_0 – параметр, определяющий величину упругого искажения решетки вокруг дислокаций, A – постоянная, зависящая от значения энергии ядра.

Таким образом, энергия границы возрастает с увеличением угла разориентировки θ .

Однако такой подход к описанию энергии границы не работает при $\theta > 15^\circ$, вследствие того, что модель Рида-Шокли не учитывает взаимодействие дислокаций и перекрытие их ядер. Большеугловые границы имеют более

сложную дефектную структуру, при углах порядка нескольких десятков градусов постепенно появляются новые свойства, не вытекающие непосредственно из дислокационной модели [15].

Метод дифракции обратно рассеянных электронов.

В работе [16] предложена методика оценки энергии границ зерен, основанная на расчете удельной протяженности границ зерен, нормированной на средний размер зерен. Энергия границ зерен, приходящаяся на одно зерно, зависит в общем случае как от углов разориентировки с соседними зернами (удельная энергия), так и от протяженности (кривизны) границ. Таким образом, повышение в результате взаимодействия с дефектами решетки протяженности границ зерен, приходящейся на одно зерно, может свидетельствовать о повышении их относительной энергии.

Для оценки удельной протяженности большеугловых границ зерен, приходящихся на одно зерно, использовали формулу:

$$L_{\text{уд}}^{\text{БУГ}} = \frac{L^{\text{БУГ}}}{2Nd}, \quad (5)$$

где $L^{\text{БУГ}}$ - протяженность большеугловых границ; N – число зерен; d – средний размер зерна.

В случае равновесного поликристалла $L^{\text{БУГ}} = \sim 1,5$, с повышением степени искривленности границ, оцениваемой величиной удельной протяженности, $L^{\text{БУГ}}$ увеличивается.

2 Материалы и методы

2.1 Сталь 12ГБА

Материалом исследования являлась сталь 12ГБА, которая была исследована в работах [2,3,4] с помощью методов дифракции обратно рассеянных электронов, просвечивающей и растровой микроскопии. Эта сталь широко используется при строительстве магистральных нефте- и газопроводов, работающих в сложных климатических условиях и при высоком давлении [4]. Поэтому актуальной задачей является понижения температуры вязко-хрупкого перехода, повышение ударной вязкости и коррозионной стойкости этой стали.

Таблица 1 – Химический состав стали 12ГБА

С	Mn	Nb	Al	Si	Cu	S	P
0.11	1.2	0.05	0.0026	0.25	0.35	0.005	0.0012

В работе были исследованы три образца стали 12ГБА в трех структурных состояниях: в исходном крупнокристаллическом состоянии поставки, после теплой прокатки и в состоянии после всесторонней изотермической ковки. В работе [3] теплую прокатку осуществляли на калибровочных на валках с калибрами прямоугольного сечения за несколько проходов до конечного сечения прутков 8мм х8мм с относительным сужением $\Psi=10-15\%$ в каждом проходе и с поэтапным понижением температуры с 750°C до 550°C. Изотермическую ковку образцов стали 12ГБА проводили в [4] на гидравлическом прессе в изотермических условиях. Бойки и образец нагревали до температуры 700, 600 и 500°C и при каждой из этих температур проводили по четыре образца на 40% со сменой оси деформации. В завершении такой обработки образец осаживали при 450°C в диск диаметром 80 мм и толщиной 8 мм. Из данной заготовки вырезали образцы для механических испытаний.

2.2 Сканирующая туннельная микроскопия

Предшественником всех сканирующих зондовых микроскопов исторически является сканирующий туннельный микроскоп. СТМ был первым устройством, который дал реальные изображения поверхностей с атомным разрешением [17].

В СТМ в качестве зонда используется острая проводящая игла. Между острием иглы и образцом прикладывается рабочее напряжение, и при подводе острия к образцу примерно до $0,5 \div 1,0$ нм электроны с образца начинают «туннелировать» через зазор к острию, или наоборот, в зависимости от полярности рабочего напряжения [5]. Визуализация топографии в СТМ проводится на основании данных о токе туннелирования. Что бы происходило туннелирование образец и игла должны быть проводниками или полупроводниками. Изображения непроводящих материалов СТМ дать не может.

Экспоненциальная зависимость туннельного тока от расстояния придает СТМ очень высокую чувствительность, считается, что с помощью туннелирования можно изменять объекты порядка 0,001 нм [5].

Основное приложение СТМ - это изменения топографии. Благодаря своей очень высокой чувствительности СТМ способен формировать изображения поверхностей с субангстремной точностью по вертикали и атомным латеральным (т.е. в горизонтальном направлении) разрешением [5].

В зависимости от режима сканирования образцов существуют два варианта конструкции СТМ. В режиме постоянной высоты острие иглы перемещается в горизонтальной плоскости над образцом, что приводит к изменению тока туннелирования. Исходя из данных о величинах тока туннелирования, промеренных в каждой точке сканирования поверхности образца, строится образ топографии [5].

В режиме постоянного тока СТМ действует система обратной связи для поддержания постоянного тока туннелирования путем подстройки высоты

сканирующего устройства над поверхностью в каждой точке. К примеру, когда система детектирует увеличение туннельного тока, она подстраивает напряжение, которое прикладывается к пьезоэлектрическому сканирующему устройству, так, чтобы отвести острие дальше от образца. В режиме постоянного тока визуализация топографии осуществляется на основании данных о величине вертикальных перемещений сканирующего устройства. Если система поддерживает ток туннелирования постоянным в пределах нескольких процентов, то расстояние между образцом и острием будет постоянным с погрешностью в несколько сотых ангстрема [5].

У каждого режима есть преимущества и недостатки. Так как системе не приходится передвигать сканирующее устройство вниз и вверх, режим постоянной высоты более быстрый, но при этом есть возможность получить полезную информацию только с относительно гладких поверхностей. В режиме постоянного тока можно с высокой точностью измерять нерегулярные поверхности, но измерения занимают больше времени [17].

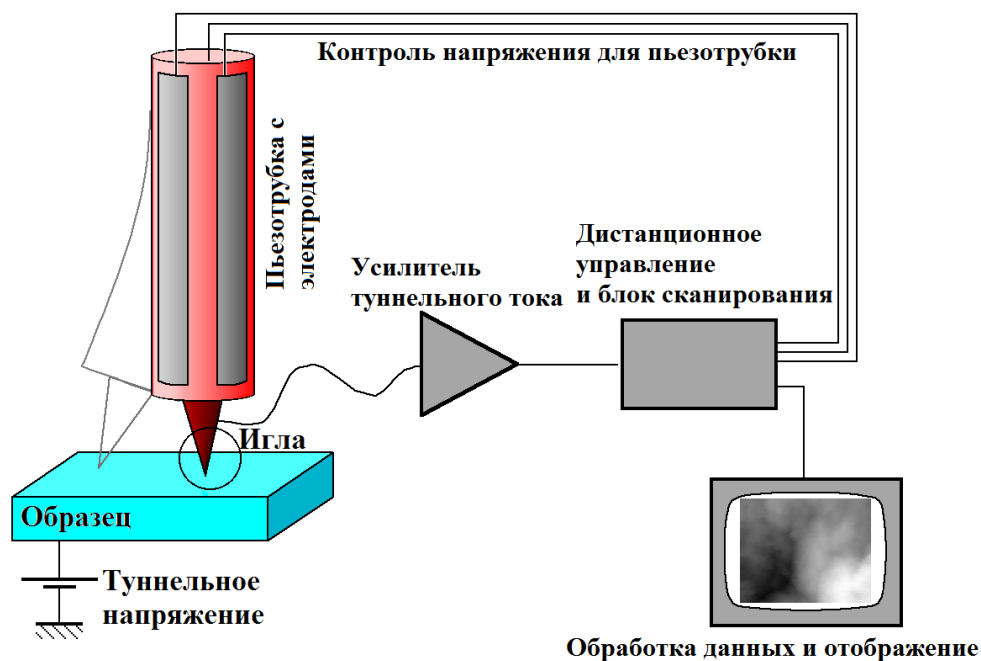


Рисунок 2 - Принцип действия СТМ [18]

В СТМ острая металлическая игла подводится к образцу на расстояние нескольких ангстрем (0,1 нм). При подаче на иглу относительно образца

небольшого потенциала возникает туннельный ток. Величина этого тока экспоненциально зависит от расстояния игла - образец.

В процессе сканирования игла движется вдоль поверхности образца, туннельный ток поддерживается стабильным за счёт действия обратной связи, и показания следящей системы меняются в зависимости от топографии поверхности. Такие изменения фиксируются, и на их основе строится карта высот. Другая методика предполагает движение иглы на фиксированной высоте над поверхностью образца. В этом случае фиксируется изменение величины туннельного тока и на основе данной информации идёт построение топографии поверхности.

2.3 Методы исследования структура стали 12ГБА

Структуру выявляли путем травления в спиртовом растворе азотной кислоты.

Исследование структуры стали проводили с помощью оптического микроскопа Axiovert и интерферометра белого света New View и сканирующего туннельного микроскопа (СТМ).

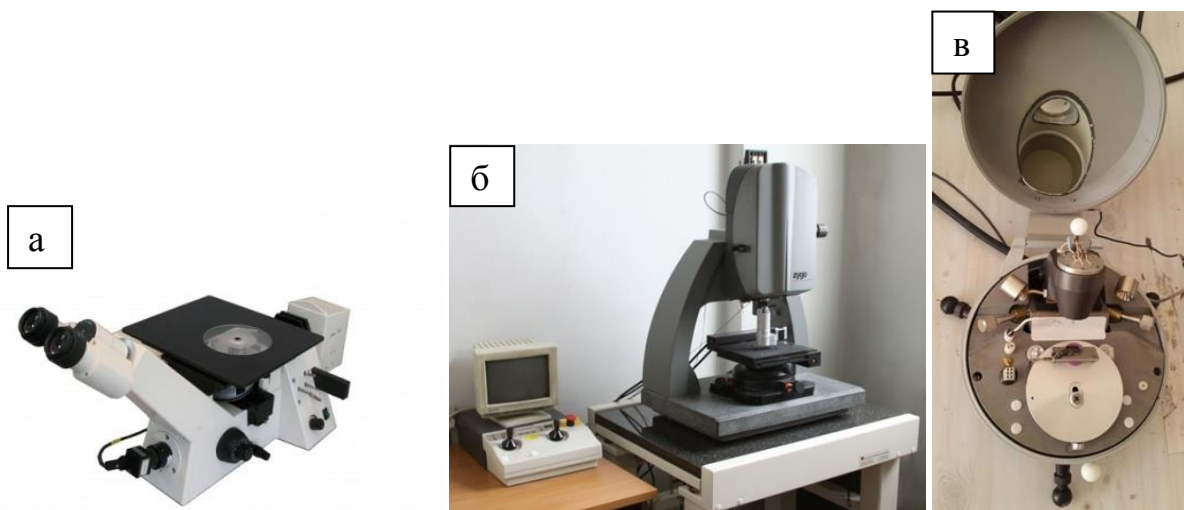


Рисунок 3 – Изображения: а) оптический микроскоп Axiovert;
б) интерферометра белого света New View, в) оптический микроскоп

Устройство микроскопа Axiovert: оптическая система микроскопа состоит из основных элементов — окуляра и объектива. Они закреплены в

подвижном тубусе, расположенном на металлическом основании, на котором имеется предметный столик. Увеличение оптического микроскопа без дополнительных линз между окуляром и объективом равно произведению их увеличений[19].

В современном микроскопе практически всегда есть осветительная система (в частности, конденсор с ирисовой диафрагмой), система управления положением конденсора, микро- и макро-винты для настройки резкости. В зависимости от назначения, в специализированных микроскопах могут быть использованы дополнительные системы и устройства.

Интерферометр белого света New View: прибор основан на принципе интерференционной микроскопии. Основной частью устройства является двухлучевые интерференционные объективы Миро и Майкельсона, которые освещаются источником излучения с широким спектром. В объективе излучение разделяется на измерительную волну, освещающую объект, и опорную волну, оптическая длина пути которой может изменяться при управляемом перемещении опорного отражателя. Точное определение положения максимума огибающей интерференционных полос позволяет повысить разрешающую способность до величины менее 0,1 нм [20].

Источник белого света – светодиод высокой интенсивности, который излучает волну. Волна проходит через фильтр, отражается от поворотных зеркал и освещает интерференционный объектив. Интерференция в объективах создается делением света с помощью полупрозрачного зеркала на два луча. Один луч отражается от внутренней высококачественной опорной поверхности, а другой – от измеряемой поверхности. Интерференция наблюдается только когда оптическая длина пути волновых фронтов от измеряемой и опорной поверхности – одинаковая [20].

2.4 Методика оценки неравновесности структуры с помощью измерения двугранного угла канавки травления

Методика оценки энергии границ зерен основана на измерении двугранных углов (ψ) зернограничных канавок, которые образуются при травлении в равновесных условиях на пересечении зернограничных плоскостей со свободной поверхностью. Основываясь на хорошо известном факте, что скорость травления границ ЗСС металлов зависит от степени их неравновесности, канавки в нашей работе получены путем химического травления образцов УМЗ стали 12ГБА.

Двугранный угол ψ рассчитывали из анализа профилей линий–перпендикуляров к границе зерна как показано на рис. Согласно [11], относительная энергия границы зерна пропорциональна косинусу угла двугранной канавки травления и вычисляется по формуле:

$$\gamma_{\text{rel}} = \frac{\gamma_b}{\gamma_s} = 2 \times \cos\left(\frac{\psi}{2}\right), (6)$$

где: γ_{rel} , γ_b и γ_s – безразмерная относительная энергия границы зерна, энергия границы зерна и поверхностная энергия, соответственно.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Б21	Шумакова Дарья Алексеевна

Институт	ИФВТ	Кафедра	ММС
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Научно-техническое исследование проводится в лаборатории физической мезомеханики и неразрушающих методов контроля ИФПМ СО РАН. В работе над проектом задействованы 3 человека: руководитель, ассистент, студент – дипломник
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам – 30% от ФОТ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Потенциальные потребители результатов исследования; SWOT - анализ.
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Планирование НТИ (цели и результаты проекта, перечень работ, определение трудоемкости работ, построение графика работ); Смета затрат на проведение исследования
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта	-Анализ и оценка научно-технического уровня проекта; -Оценка рисков

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT
2. Диаграмма Ганта
3. График проведения и смета затрат НТИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Е.А. Грахова			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б21	Шумакова Дарья Алексеевна		

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Методы интенсивной пластической деформации, широко развиваемые в последние десятилетия, позволяют формировать в материалах нанокристаллическую и ультрамелкозернистую структуру. Это обеспечивает повышение механических свойств материалов и сплавов, которое невозможно получить традиционными методами термической обработки [1]. Работа заключается в анализе влияния методов пластической деформации на механические свойства стали 12ГБА.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-технического исследования, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- оценка коммерческого и инновационного потенциала исследования;
- составление календарного плана и графика работ;
- оценка стоимости материально-технических, человеческих и финансовых ресурсов исследования,
- оценка ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности.

4.1 Оценка коммерческого потенциала исследования

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями результатов этого исследования являются предприятия нефтехимической промышленности, для изготовления трубопроводов, предназначенных для эксплуатации в условиях крайнего севера.

Данное исследование проводилось для нефтегазового предприятия ОАО «Сургутнефтегаз». Метод предназначен для увеличения срока

эксплуатации трубопроводов, изготовленных из стали 12ГБА, используемых в условиях крайнего севера. Если данная методика будет востребована, то появится возможность ее применения на таких предприятиях, как ПАО «Газпром», ОАО «Роснефть», ОАО «Лукойл» и др.

4.1.2 SWOT - анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательской работы (НИР). SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [21].

SWOT – анализ исследования позволяет оценить факторы и явления, способствующие или препятствующие продвижению работы на рынок. [21] Для анализа исследования составлена таблица 2.

Сначала описываются сильные и слабые стороны работы, для выявления возможностей и угроз для реализации НИР, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 2 – SWOT анализ НИР

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
С1. Определение относительной энергии границ зерен стали 12ГБА методом измерения зернограничной канавки угла травления; С2. Методика, описанная в работе, несет в себе экономичность и ресурсоэффективность; С3. Возможность применения данной методики, для любых сталей; С4. Актуальность темы; С5. Наличие опытного руководителя.	В1. Адаптация научного исследования под иностранные языки; В2. Перспектива применения методики в России; В3. Возможность использования методики на мировом уровне.
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
Сл1. Дорогостоящее оборудование для проведения эксперимента; Сл2. Возможность появления новых методов определения относительной энергии границ зерен; Сл3. Отсутствие квалифицированных кадров при работе с данной методикой.	У1. Возможность создания наиболее экономически выгодной методики; У2. Отсутствие спроса на новую методику; У3. Закрытие нефтегазовых предприятий на территории РФ.

По полученным данным можно сделать следующие выводы, что возможности, совместно с сильными сторонами, благоприятно влияют на развитие спроса исследованного проекта. Одна из основных угроз – возможность создания наиболее экономически выгодной методики.

4.2 Планирование научно-технического исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научно-исследовательской работы;
- определение участников каждого этапа работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

4.2.1 Структура работ

Трудоемкость выполнения НИР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Разделим выполнение исследовательской работы на этапы, представленные в таблице 3.

Таблица 3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Кузнецов П. В. – руководитель; Шумакова Д. А. – студент-дипломник.
Проведение НИР			
Выбор направления исследования	2	Изучение методики определения энергии границ зерен	Шумакова Д. А., Рахматулина Т. В.
	3	Выбор материала для проведения эксперимента	Кузнецов П. В., Шумакова Д. А.
	4	Календарное планирование работ	Кузнецов П. В., Шумакова Д. А.
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование проведения эксперимента по получению СТМ - изображений	Кузнецов П. В., Шумакова Д. А.
	6	Поиск необходимого оборудования	Кузнецов П. В., Шумакова Д. А.
	7	Получение СТМ - изображений	Шумакова Д. А., Рахматулина Т. В.
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ полученных результатов, определение относительной энергии границ раздела стали 12ГБА	Шумакова Д. А.
	9	Оценка эффективности полученных результатов	Кузнецов П. В., Шумакова д. А.
Оформление отчета (комплекта документации)	10	Сдача отчета по НИР	Шумакова Д. А.

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Расчет трудоемкости осуществляется опытно-статистическим методом, основанным на определении ожидаемого времени выполнения работ в человеко-днях по формуле:

$$t_{ож\ i} = \frac{3 \times t_{mini} + 2 \times t_{max\ i}}{5}, (7)$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Рассчитаем значение ожидаемой трудоёмкости работы:

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу:

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{ч_i}, (8)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k, (9)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения одной работы, календ. дн.;

T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

k – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}}, (10)$$

где $T_{кг}$ – количество календарных дней в году;

$T_{вд}$ – количество выходных дней в году;

$T_{пд}$ – количество праздничных дней в году.

Определим длительность этапов в рабочих днях и коэффициент календарности:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}} = \frac{365}{365 - 104 - 16} = 1,49, (11)$$

Тогда длительность этапов в рабочих днях, следует учесть, что расчетную величину продолжительности работ T_k нужно округлить до целых чисел. Результаты расчетов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Временные показатели проведения НИР

№ раб.	Исполнители	Продолжительность работ				
		t_{min} чел- дн.	t_{max} чел-дн	$t_{ож}$ чел-дн	T_p раб.дн	T_k кал.дн
1	Кузнецов П. В., Шумакова Д. А.	1	4	2	1	1
2	Шумакова Д. А., Рахматулина Т. В.	15	35	23	11,5	17
3	Кузнецов П. В., Шумакова д. А.	5	15	9	4,5	7
4	Кузнецов П. В., Шумакова Д. А.	5	16	9	4,6	7
5	Кузнецов П. В., Шумакова Д. А.	10	22	14,8	7,4	11
6	Кузнецов П. В., Шумакова Д. А.	6	21	12	6	9
7	Шумакова Д. А., Рахматулина Т. В.	4	13	7,6	3,8	11
8	Шумакова Д. А.	1	10	5	5	7
9	Кузнецов П. В., Шумакова Д. А.	3	13	7	3,5	5
10	Шумакова Д. А.	2	12	6	6	9
ИТОГО						84

По данным таблицы 4 видно, что в работе было задействовано 3 человека (руководитель, ассистент, студент), на выполнение НИР требуется 84 календарных дня.

4.2.3 Разработка графика выполнения научно-исследовательской работы

Наиболее удобным и наглядным видом календарного плана работ является построение ленточного графика проведения НИР в форме диаграмм Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [22].

График строится в рамках таблицы 5 с разбивкой по месяцам и неделям (7 дней) за период времени всех работ. При этом работы на графике выделяются различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 5 – Календарный график проведения НИР

Этапы	Вид работы	Исполнители	T _k	Февраль	Март	Апрель	Май
1	Составление и утверждение технического задания	Кузнецов П.В., Шумакова Д.А.	1				
2	Изучение методики определения энергии границ зерен	Шумакова Д.А., Рахмаулина Т.В.	17				
3	Выбор материала для проведения эксперимента	Кузнецов П.В., Шумакова Д.А.	7				
4	Календарное планирование работ	Кузнецов П.В., Шумакова Д.А.	7				
5	Планирование проведения эксперимента по получению СТМ-изображений	Кузнецов П.В., Шумакова Д.А.	11				
6	Поиск необходимого оборудования	Кузнецов П.В., Шумакова Д.А.	9				
7	Получение СТМ-изображений	Шумакова Д.А., Рахматулина Т.В.	11				
8	Анализ полученных результатов, определение относительно энергии границ раздела стали 12ГБА	Шумакова Д.А.	7				
9	Оценка эффективности и полученных результатов	Кузнецов П.В., Шумакова Д.А.	5				
10	Сдача отчета по НИР	Шумакова Д.А.	9				

- руководитель, - студент-дипломник, - ассистент.

4.3 Смета затрат на проведение научно-исследовательской работы

Затраты представляют собой все производственные формы потребления денег и измеримых в денежном измерении материальных ценностей, которые служат непосредственной производственной целью.

Рассчитываем смету расходов, включая затраты на приобретение необходимого оборудования для проведения НИР и текущие расходы. Затраты, образующие себестоимость продукции (работ, услуг), группируются в соответствии с их экономическим содержанием по следующим элементам:

$$K_{\text{проекта}} = I_{\text{мат}} + I_{\text{ам.тех}} + I_{\text{зп}} + I_{\text{соц. отч.}} + I_{\text{накл.расх}} + I_{\text{прочие}}$$

Материальные затраты отражают стоимость приобретенных материалов и сырья, которые входят в состав вырабатываемой продукции, образуя ее основу, или являются необходимыми компонентами при изготовлении продукции [22].

В данной работе использовались 3 образца стали 12ГБА. Стоимость 1 кг материала 56 руб. Вес одного образца 0,015 кг.

Стоимость 1 м² наждачной бумаги 120 руб. Затраты на наждачную бумагу, при условии, что на исследовании требуется 0,5 м² бумаги, составили 60 руб.

Затраты на электролитическую обработку образца составили 1500 руб.

Таблица 6 – Затраты на получение образцов

Стоимость 1 кг материала, руб.	56
Вес образца, кг	0,015
Стоимость материала образцов, руб.	15
Стоимость наждачной бумаги, руб.	60
Затраты на электролитическую обработку, руб	1500
Стоимость изготовления образца, руб.	1000
Общие затраты на получение образца, руб.	2631

Для проведения научно-исследовательской работы требуются следующие виды оборудования: источник тока, сканирующий туннельный микроскоп СММ-2000Т, оптический микроскоп Axiovert, интерферометр белого света New View, компьютер.

Срок полезного использования каждого вида оборудования:

1) Источник тока, сканирующий туннельный микроскоп СММ-2000Т, оптический микроскоп Axiovert, интерферометр белого света New View – по пятой группе (оборудование испытательное): 10 лет.

2) Компьютер – по третьей группе (техника электронно-вычислительная): 5 лет [23].

Рассчитываем материальные затраты ($I_{\text{мат}}$). Результаты расчета сведем в таблицу 6.

$$I_{\text{мат}} = I_{\text{ист. тока}} + I_{\text{стм}} + I_{\text{опт.микр}} + I_{\text{интер.бел.св}} + I_{\text{комп}} + I_{\text{обр}}$$

$$I_{\text{мат}} = 27000 + 700000 + 999000 + 500000 + 50000 + 2631$$

$$= 2278631 \text{ руб.}$$

Таблица 6 – Материальные затраты

Материалы и оборудование	Ед. изм	Срок службы, год	Кол-во материала, ед	Цена за ед, руб	Затраты, руб
Сканирующий туннельный микроскоп СММ-2000Т	шт	10	1	700000	700000
Оптический микроскоп Axiovert	шт	10	1	999000	999000
Интерферометр белого света New View	шт	10	1	500000	500000
Источник тока	шт	10	1	27000	27000
Компьютер	шт	5	1	50000	50000
Образец стали 12ГБА	шт	-	3	877	2631
Итого:					2278631

Амортизация основных фондов – сумма амортизационных отчислений на полное восстановление основных производственных фондов, вычисленная исходя из их балансовой стоимости и утвержденных норм амортизации. Корректно при расчете затрат учитывать в году приобретения и в последующие годы только ту часть затрат, которая происходит от старения основных фондов в каждом году [22].

Рассчитаем амортизацию оборудования $I_{\text{ам.обор}}$, по следующей формуле:

$$И_{ам.обор} = \left(\frac{T_{исп.обор}}{365}\right) \times K_{обор} \times H_a$$

где $T_{исп.обор}$ – время использования оборудования;

365 дней – количество дней в году;

$K_{обор}$ – стоимость оборудования;

H_a – норма амортизации.

$$H_a = \frac{1}{T_{с.с.обор}}$$

где $T_{с.с.обор.}$ – срок службы оборудования

$$И_{ам. СТМ} = \left(\frac{T_{исп.обор}}{365}\right) \times K_{обор} \times H_a = \left(\frac{36}{365}\right) \times 700000 \times \left(\frac{1}{10}\right) = 6904,1 \text{ руб.},$$

$$И_{ам. ист.тока} = \left(\frac{T_{исп.обор}}{365}\right) \times K_{обор} \times H_a = \left(\frac{1}{365}\right) \times 27000 \times \left(\frac{1}{10}\right) = 7,3 \text{ руб.},$$

$$И_{ам. опт.микр} = \left(\frac{T_{исп.обор}}{365}\right) \times K_{обор} \times H_a = \left(\frac{1}{365}\right) \times 999000 \times \left(\frac{1}{10}\right) = 273,7 \text{ руб.},$$

$$И_{ам. интерф} = \left(\frac{T_{исп.обор}}{365}\right) \times K_{обор} \times H_a = \left(\frac{1}{365}\right) \times 500000 \times \left(\frac{1}{10}\right) = 136,9 \text{ руб.},$$

$$И_{ам. комп} = \left(\frac{T_{исп.обор}}{365}\right) \times K_{обор} \times H_a = \left(\frac{108}{365}\right) \times 50000 \times \left(\frac{1}{5}\right) = 2958,9 \text{ руб.},$$

$$\begin{aligned} \sum И_{ам. обор} &= K_{ам.СТМ} + K_{ам.ист.тока} + K_{ам.опт.микр} + K_{ам.интерф} + K_{ам.комп} \\ &= 6904,1 + 7,3 + 273,7 + 136,9 + 2958,9 = 10280,9 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Таблица 7 – Затраты на амортизацию оборудования

Наименование оборудования	$K_{обор}$, руб.	$T_{исп. обор}$, дней.	$И_{ам.обор}$, руб
Сканирующий туннельный микроскоп СММ-2000Т	700000	36	6904,1
Источник тока	27000	1	7,3
Оптический микроскоп Axiovert	999000	1	273,7
Интерферометр белого света New View	500000	1	136,9
Компьютер	50000	108	2958,9
Итого:	10280,9		

Расчет заработной платы – заработная плата рассчитывается в соответствии с занятостью исполнителей, с учетом районного и тарифного коэффициентов исполнителей.

В состав затрат на оплату труда включаются:

- выплаты заработной платы за фактически выполненную работу;
- выплаты стимулирующего характера по системным положениям;
- выплаты по районным коэффициентам;
- компенсации за неиспользованный отпуск;
- другие виды выплат [24].

Примем, что полный фонд заработной платы ($\Phi_{зп}$):

$$\Phi_{зп} = 20000$$

Отчисления на социальные нужды выражаются в виде единого социального налога, который включает в себя: обязательные отчисления по установленным законодательством нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда, государственного фонда занятости и медицинского страхования.

Единый социальный налог – 26%.

Рассчитываем отчисления на социальные нужды ($I_{соц.отч.}$):

$$I_{соц. отч} = ЕСН = 0,26 \times \Phi_{зп} = 0,26 \times 20000 = 5200 \text{ руб.}$$

Накладные расходы используют на следующее:

- 1) затраты на текущий ремонт;
- 2) амортизацию основных производственных фондов;
- 3) затраты на охрану труда и пожарную безопасность.

Для проектных отделов накладные затраты составляют 200% от полного фонда заработной платы Тогда:

$$I_{накл. расх} = 2 \times \Phi_{зп} = 2 \times 20000 = 40000 \text{ руб.}$$

Прочие затраты – затраты, к которым относятся налоги, сборы, отчисления в специальные внебюджетные фонды, платежи по обязательному страхованию имущества, вознаграждения за изобретение и

рационализаторские предложения, за подготовку кадров, оплата услуг связи и т.д. Эти затраты составляют 2% от всех издержек и вычисляются по формуле:

$$I_{\text{прочее}} = 0,02 \times (I_{\text{мат}} + \Phi_{\text{зп}} + I_{\text{ам. обор}} + \text{ЕСН})$$

$$I_{\text{прочее}} = 0,02 \times (2278631 + 20000 + 10280,9 + 5200) = 46282,238 \text{ руб.}$$

Рассчитываем себестоимость проекта ($K_{\text{проекта}}$).

$$K_{\text{проекта}} = I_{\text{мат}} + \Phi_{\text{зп}} + I_{\text{ам. обор}} + I_{\text{соц.отч}} + I_{\text{накл.расх}} + I_{\text{прочее}}$$

$$\begin{aligned} K_{\text{проекта}} &= 2278631 + 20000 + 10280,9 + 5200 + 40000 + 46282,238 \\ &= 2400394,138 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Рассчитываем плановые накопления (ПР). Стоимость проекта включает в себя 30% прибыли, таким образом:

$$\text{ПР} = 0,3 \times K_{\text{пр}} = 0,3 \times 2400394,138 = 720118,2414 \text{ руб.}$$

Рассчитываем стоимость проекта (Ц).

$$\text{Ц} = K_{\text{проекта}} + \text{ПР} = 2400394,138 + 720118,2414 = 3120512,3798 \text{ руб.}$$

В таблице 8 представлена смета затрат на НИР:

Таблица 8 - Смета затрат на научно-техническое исследование

Виды затрат	Обозначение	Сумма затрат, руб.
Материальные затраты	$I_{\text{мат}}$	2278631
Амортизация оборудования	$I_{\text{ам, обор}}$	10280,9
Затраты на оплату труда	ЗП	20000
Отчисления на социальные нужды	$I_{\text{соц.отч}}$	5200
Накладные расходы	$I_{\text{накл.расх}}$	40000
Прочие затраты	$I_{\text{прочие}}$	46282,238
Себестоимость проекта	$K_{\text{проекта}}$	2400394,138
Плановые накопления (прибыль)	ПР	720118,2414
Стоимость проекта (цена)	Ц	3120512,3798

4.4 Определение ресурсной и финансовой эффективности научно – исследовательской работы

4.4.1 Анализ и оценка научно-технического уровня научно-исследовательской работы

Для определения научно - технического уровня НИР, его научной ценности, технической значимости и эффективности необходимо, рассчитать коэффициент научно-технического уровня (НТУ).

Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок. Суть метода состоит в присвоении каждому из признаков НТУ определенного числа баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик.

Формула для определения общей оценки:

$$\text{НТУ} = \sum_{i=1}^n k_i * \Pi_i$$

где k_i – весовой коэффициент i – го признака; Π_i – количественная оценка i – го признака.

Таблица 9 - Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0,4
Теоретический уровень	0,3
Возможность реализации	0,3

Таблица 10 - Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
8-10	Сравнительно высокий НТУ
11-14	Высокий НТУ

Таблица 11 - Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка законов, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами	8
Разработка способа (алгоритм, устройство, программы)	6
Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, объяснение версий, практические рекомендации)	2
Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)	0.5

Таблица 12 - Возможность реализации по времени и масштабам

<u>Время реализации</u>	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	6
Свыше 10 лет	4
<u>Масштабы реализации</u>	Баллы
Одно или несколько предприятий	3
Отрасль	10
Народное хозяйство	5

Расчет НТУ:

$$НТУ = \sum_{i=1}^n k_i * \Pi_i$$

где $k_1 = 0,4$; $k_2 = 0,3$; $k_3 = 0,3$; $k_4 = 0,3$;

$\Pi_1 = 9$; $\Pi_2 = 8$; $\Pi_3 = 7$; $\Pi_4 = 7$.

$$НТУ = 0,4*9+0,3*8+0,3*7+0,3*7 = 10,2.$$

По полученным значениям коэффициент научно-технического уровня можно сказать о достаточно высоком научно - техническом уровне НИР, его научной ценности, технической значимости и эффективности.

4.4.2 Оценка рисков научно-исследовательской работы

Произведем оценку рисков. Определение рисков является одним из важнейших моментов при проведении НИР. Учет рисков даст возможность избежать опасные факторы, которые негативно отражаются на внедрении в жизнь НИР.

При оценке важности рисков оценивается вероятность их наступления (P_i). По шкале от 0 до 100 процентов: 100 – наступит точно, 75 – скорее всего наступит, 50 – ситуация неопределенности, 25 – риск скорее всего не наступит, 0 – риск не наступит. Оценка важности риска оценивается весовым коэффициентом (w_i). Важность оценивается по 10- балльной шкале b_i . Сумма весовых коэффициентов должна равняться единице. Оценка важности рисков приведена в таблицах 13-17.

Таблица 13 – Социальные риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i \cdot w_i$
1	Низкая квалификация ремонтного персонала	20	3	0,16	3,2
2	Непросвещенность компаний о предлагаемом методе	50	6	0,33	16,5
3	Несоблюдение техники безопасности	20	5	0,27	5,4
4	Увеличение нагрузки на персонал	30	4	0,24	7,2
	Итого		18	1	32,3

Таблица 14 – Экономические риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i \cdot w_i$
1	Инфляция	100	1	0,02	2
2	Экономический кризис	10	2	0,06	0,6
3	Недобросовестность поставщиков	20	5	0,16	3,2
4	Непредвиденные расходы в плане работ	40	4	0,12	4,8
5	Снижение уровня спроса на продукцию	30	10	0,32	9,6
6	Низкие объемы сбыта	40	10	0,32	12,8
	Итого		32	1	33

Таблица 15 – Политические риски

№	Риски	P _i	b _i	w _i	P _i ·w _i
1	Смена власти	0	1	0,14	0
2	Угроза национализации	0	1	0,14	0
3	Отсутствие поддержки со стороны чиновников	50	5	0,72	36
	Итого		7	1	36

Таблица 16 – Технологические риски

№	Риски	P _i	b _i	w _i	P _i ·w _i
1	Возможность поломки оборудования	20	7	0,27	5,4
2	Низкое качество поставленного оборудования	20	8	0,31	6,2
3	Неправильная сборка оборудования	30	7	0,27	8,1
4	Опасность для работающего персонала и аппаратуры	30	4	0,15	4,5
	Итого		26	1	24,2

Таблица 17 – Научно-технические риски

№	Риски	P _i	b _i	w _i	P _i ·w _i
1	Развитие конкурентных технологий	70	7	0,20	14
2	Риск невозможности усовершенствования технологии	50	8	0,23	11,5
3	Получение отрицательного результата при внедрении производство	20	10	0,30	6
4	Несвоевременное патентование	20	9	0,27	5,4
	Итого		34	1	36,9

Таблица 18 – Общие риски

№ п/п	Риски	Ранг (P _i)	Вес (W _i)	Вероятность (v _i)	Общая оценка проекта (w _i *v _i)
1	Социальные	5	0,2	32,3	6,46
2	Экономические	9	0,2	33,0	6,60
3	Политические	4	0,1	36,0	3,60
4	Технологические	10	0,2	24,2	4,84
5	Научно-технические	10	0,3	36,9	11,07
Итого		38			32,57

Итоговая оценка риска НИР составляет 32,57%. Эта цифра говорит о том, что риск считается допустимым, и он может быть осуществлен.

Исходя из раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» можно сделать следующие выводы по НИР:

1. Согласно оценке коммерческого и инновационного потенциала НИР, возможности, совместно с сильными сторонами, благоприятствуют развитию спроса. Одна из основных угроз – возможность создания наиболее экономически выгодной методики. На данный момент исследуемая сталь 12ГБА является одной из перспективных при изготовлении газонефтепроводов, эксплуатируемых в условиях крайнего севера.

2. При составлении календарного плана НИР было рассчитано количество требуемых календарных дней работ – 84 дней, а для выполнения работ над НИР задействовано 3 человека, а так же была использована диаграмма Ганта, позволяющая скоординировать план работ. Такое количество людей позволяет уменьшить время проведения НИР.

3. Затраты на проведение НИР, включая материальные затраты на закуп оборудования и образцов, затраты на оплату труда, отчисления на социальные нужды, накладные расходы и прочие затраты, составляет 2 400 394 рублей.

4. Итоговая оценка риска НИР составляет 32,57%. Эта цифра говорит о том, что риск считается допустимым, и он может быть осуществлен, хотя и не лишен вероятных препятствий. Мероприятия по снижению возможных рисков: социальные – ведение журнала по технике безопасности, применять таблички и плакаты при проведении работ, составить общие правила для персонала, проводить тщательный подбор персонала; экономические – заранее просчитывать расходы с запасом и учетом инфляции, выбирать ответственных и проверенных поставщиков, производить рекламную кампанию; технологические – выбирать проверенных перевозчиков при транспортировке оборудования, проводить тщательную проверку оборудования перед монтажом, производить заказ оборудования у известных брендов; научно-технические – постоянно оптимизировать методику/технологию.

Таким образом, при правильном и ответственном подходе к работе возможно избежать практически всех рисков. Политические риски практически невозможны, так как развитие материалов, работающих в условиях крайнего севера, на данный момент является перспективным, а смены власти в ближайшее время не ожидается.

Список публикаций студента

1. Шумакова Д.А. Влияние методов измельчения структуры на распределение по размерам и энергию внутренних границ раздела стали 12 ГБА. / Д.А. Шумакова, П.В. Кузнецов, Т.В. Рахматулина // Материалы и технологии новых поколений в современном материаловедении. Сборник трудов международной конференции. – 2016. – С. 31-36.

2. Шумакова Д.А. Формирование градиентной субмикроструктурной структуры в приповерхностных слоях поликристаллов никеля при ультразвуковой финишной обработке. / Д.А. Шумакова, В.Е. Панин, П.В. Кузнецов, Ю.И. Почивалов, И.В. Беляева, Т.В. Рахматулина // Тезисы докладов Международной конференции «Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций». – 2015. – С. 249-250.

3. Шумакова Д.А. Особенности формирования градиентной субмикроструктурной структуры в поверхностных слоях никеля при ультразвуковой финишной обработке. / Д.А. Шумакова, В.Е. Панин, П.В. Кузнецов, Ю.И. Почивалов, И.В. Беляева, Т.В. Рахматулина // Тезисы докладов VI Всероссийской конференции молодых ученых «Материаловедение, технологии и экология в третьем тысячелетии». – 2016. – С. 29-32.