

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

Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки: 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

Отделение материаловедения

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы	
Влияние скорости деформации на закономерности водородного охрупчивания аустенитной нержавеющей стали	

УДК 669.15-194.56:620.178.2-026.51

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б51	Фортуна Анастасия Сергеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения	Ваулина Ольга Юрьевна	К.Т.Н., доцент		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
В.н.с.ЛФСП ИФПМ СО РАН	Астафурова Елена Геннадьевна	д.ф.-м.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Подопригора Игнат Валерьевич	К.Э.Н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Лариса Александровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.03.01 Материаловедение и технологии материалов	Овечкин Б.Б.	К.Т.Н., доцент		

Томск – 2019 г.

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки (специальность) 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов
 Уровень образования бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения
 Период выполнения _____ осенний / весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.19
--	----------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Основная часть	75
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
	Социальная ответственность	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения	Ваулина Ольга Юрьевна	к.т.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.03.01 Материаловедение и технологии материалов	Овечкин Борис Борисович	к.т.н., доцент		

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

Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки (специальность): Материаловедение и технологии материалов

Отделение школы (НОЦ): Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) _____ Б.Б. Овечкин
(Дата)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Б51	Фортуна Анастасии Сергеевны

Тема работы:

Влияние скорости деформации на закономерности водородного охрупчивания аустенитной нержавеющей стали

Утверждена приказом директора ИШНПТ

Приказ №2775/с от 10.04.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:

30.05.19

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Стабильная аустенитная нержавеющая сталь Fe-17Cr-13Ni-1,7Mn-2,7Mo-0,6Si-0,01C, мас. % (01X17H14M3). Образцы подвергаются электролитическому наводороживанию и одноосному статическому растяжению.
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Установить влияние продолжительности наводороживания на эффекты водородного охрупчивания стали 01Х17Н14М3. 2. Выявить влияние электролитического наводороживания на механизмы деформации и особенности микроструктуры стали 01Х17Н14М3. 3. Установить влияние скорости деформирования на закономерности водородного охрупчивания стали 01Х17Н14М3. 4. Определить механизм влияния атомов водорода на динамику дислокаций и дислокационный ансамбль в стали 01Х17Н14М3 при различных скоростях деформирования. 5. Выявить зависимость механизма разрушения наводороженных образцов от скорости пластической деформации.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	<i>И. В. Подопригора, доцент отделения социально-гуманитарных наук НИ ТПУ</i>
<i>Социальная ответственность</i>	<i>Л. А. Скачкова, старший преподаватель НИ ТПУ</i>
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Реферат	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения	Ваулина Ольга Юрьевна	К.Т.Н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б51	Фортуна Анастасия Сергеевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 90 с., 10 рис., 21 табл., 56 источников.

Ключевые слова: водородное охрупчивание, аустенитная нержавеющая сталь, механические свойства, разрушение, дислокационная структура.

Объектом данного исследования является сталь 01X17H14M3. Образцы подвергали электролитическому наводороживанию.

Цель работы – выявить влияние скорости деформации на механические свойства, дислокационную структуру, механизмы деформации и разрушения аустенитной нержавеющей стали 01X17H14M3, подвергнутой электролитическому наводороживанию.

Для изучения механических свойств и микроструктуры образцов были использованы такие методы исследования, как одноосное статическое растяжение, включая тесты на релаксацию напряжений, растровая и просвечивающая электронная микроскопия.

В работе показано влияние продолжительности электролитического наводороживания на свойства и микроструктуру стали, а также изучены эффекты охрупчивания в среде водорода при различных скоростях деформирования. Выявлено, что эффекты водородного охрупчивания для стали данной марки обусловлены действием двух механизмов: наведенной водородом локализованной пластичности (так называемый HELP-эффект, Hydrogen Enhanced Localized Plasticity) и обусловленной водородом декогезии (HEDE-эффект, Hydrogen Enhanced Decohesion). При малых скоростях деформирования преобладает первый механизм, однако при увеличении скорости его роль ослабевает.

Результаты данной работы будут полезны при подборе материалов, пригодных для создания инфраструктуры водородной энергетики. В частности, сталь данной марки может быть использована для изготовления сосудов для хранения и транспортировки водорода.

Степень внедрения: исследования проведены при поддержке Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013– 2020 годы (проект III.23.2.6.).

ABSTRACT

Graduation thesis contains 90 p. 10 figures, 21 tables, 56 references.

Keywords: hydrogen embrittlement, austenitic stainless steel, mechanic properties, fracture, dislocation structure.

The object of the current research work was austenitic stainless steel Fe-17Cr-14Ni-3Mo-0.01C. Specimens were electrochemically charged with hydrogen.

The aim of this work was to reveal the influence of the strain rate on mechanical properties, dislocation structure and mechanisms of deformation and fracture of the hydrogen-charged stainless steel Fe-17Cr-14Ni-3Mo-0.01C.

In order to investigate mechanical properties and the microstructure of specimens such research methods as uniaxial static tensile test, including stress-relaxation test, scanning and transmission electron microscopy were used.

In the current work the influence of the hydrogen-charging duration on the mechanical properties and microstructure was demonstrated, and the hydrogen embrittlement effects at different strain rates was investigated. It was revealed the hydrogen embrittlement effects for the studied steel were caused by two mechanisms: HELP (Hydrogen Enhanced Localized Plasticity) and HEDE (Hydrogen Enhanced Decohesion). On low strain rates the former was prevailing, however it became weaker with increasing of the strain rate.

The results of the current work will be useful in the selection of suitable for hydrogen microstructure materials. In particular, this steel is appropriate for manufacturing tanks for hydrogen storage and transportation.

The degree of integration: the study was conducted with the support of the Program of Fundamental Research of the State Academies of Sciences for 2013–2020 (project III.23.2.6.).

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

1. AIDE – adsorption-induced dislocation emission;
2. HEDE – hydrogen-enhanced decohesion;
3. HELP – hydrogen enhanced localized plasticity;
4. ВО – водородное охрупчивание;
5. ГПУ – гексагональная плотноупакованная решётка (ϵ);
6. ГЦК – гранецентрированная кубическая решётка (γ);
7. ОЦК – объёмноцентрированная кубическая решётка (α);
8. ОЦТ - объёмноцентрированная тетрагональная решётка (α');
9. ПЭМ – просвечивающая электронная микроскопия;
10. РЭМ – растровая электронная микроскопия;
11. ЭДУ – энергия дефекта упаковки.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	12
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	14
1.1 Аустенитная нержавеющая сталь марки 01Х17Н14М3	14
1.2 Диффузия водорода в стали	15
1.3 Параметры водородного охрупчивания.....	16
1.4 Макроскопические эффекты взаимодействия водорода с различными металлами и сплавами	17
1.5 Теории водородного охрупчивания	18
2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	21
3 РЕЗУЛЬТАТЫ	24
3.1 Механические испытания.....	24
3.1.1 Влияние продолжительности наводороживания на эффекты ВО	24
3.1.2 Тест на релаксацию напряжений.....	26
3.1.3 Влияние скорости деформации на эффекты ВО.....	28
3.2 РЭМ-анализ.....	30
3.3 Влияние водорода на дислокационную структуру.....	36
4 ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ	41
5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	46
5.1 Технико-экономическое обоснование	46
5.2 Потенциальные потребители результатов исследования	46
5.3 SWOT-анализ.....	47
5.4 Планирование работ по НИР	49
5.4.1 Определение трудоемкости выполнения работ	50
5.4.2 Построение графика работ	51

5.4.3.1 Расчет материальных затрат НИР	54
5.4.3.2 Расчет затрат на экспериментальное оборудование для НИР	55
5.4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	57
5.4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	59
5.4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	59
5.4.3.6 Накладные расходы	60
5.4.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	60
5.5 Определение финансовой эффективности и ресурсоэффективности ...	61
5.5.1 Определение финансовой эффективности	61
5.5.2 Определение ресурсоэффективности.....	62
5.6 Заключение по разделу	64
6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	66
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	66
6.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.	66
6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.	67
6.2 Профессиональная социальная безопасность.	67
6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	67
6.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.	68
6.2.2.1 Отклонение показаний микроклимата.....	69
6.2.2.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны	70
6.2.2.3 Воздействие химических веществ.....	71
6.2.2.4 Электрический ток	72

6.2.2.5 Опасность возникновения пожара	72
6.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.....	73
6.2.3.1 Отклонение показаний микроклимата.....	73
6.2.3.2 Недостаточная освещенность	73
6.2.3.3 Химические вещества.....	74
6.2.3.4 Электрический ток	74
6.2.3.5 Опасность возникновения пожара	75
6.3 Экологическая безопасность.....	75
6.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.	75
6.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.	76
6.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.	76
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	76
6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.	76
6.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.	77
6.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.	77
6.4.3.1 Загрязнение АХОВ и ОВ.....	78
6.4.3.2 Пожар	78
6.5 Заключение по разделу «Социальная ответственность»	78
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	80
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ	81
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ.....	85

ВВЕДЕНИЕ

Одной из серьезнейших проблем современности является проблема поиска новых источников энергии. Водород рассматривается как один из наиболее перспективных и экологически чистых видов топлива. Широкое его применение на данный момент ограничено. В первую очередь это обусловлено сложностью получения водорода в промышленных масштабах. Но также немаловажным препятствием распространению водородной энергетики является отсутствие требуемой инфраструктуры. Данная проблема обусловлена тем, что в среде водорода наблюдается изменение характера разрушения материала (характерное, в первую очередь, для металлических сплавов), так называемое водородное охрупчивание (ВО) [1]. Таким образом, для развития водородной энергетики необходима разработка материалов, устойчивых к этому явлению, и, как следствие, изучение механизмов водородного охрупчивания металлических материалов является актуальным вопросом современного материаловедения.

Одними из наиболее распространенных промышленных конструкционных материалов являются аустенитные нержавеющие стали. Несмотря на то, что нержавеющие стали относятся к коррозионностойким, они также подвержены охрупчиванию в среде водорода. Оно проявляется в изменении прочностных свойств материала и механизмов деформации. Однако среди прочих материалов, они обладают достаточно высокой стойкостью к охрупчиванию, так как значительного хрупкого растрескивания в среде водорода не происходит. В инфраструктуре водородной энергетики коррозионностойкие аустенитные стали могут быть применены для изготовления сосудов для хранения и транспортировки водорода.

К настоящему моменту известно несколько механизмов ВО, которые, часто, индивидуальны для каждого конкретного материала, но универсальный механизм ВО не установлен [2-3]. В работах [2-3] было показано, что немаловажную роль в данном процессе играют дефекты кристаллической

структуры, в частности, дислокации. Поэтому необходимо исследовать механизм взаимодействия атомов водорода и дислокационной структуры стали, образующейся в процессе деформации.

Целью данной работы было выявить влияние скорости деформации на механические свойства, дислокационную структуру, механизмы деформации и разрушения аустенитной нержавеющей стали 01Х17Н14М3, подвергнутой электролитическому наводороживанию.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Аустенитная нержавеющая сталь марки 01X17H14M3

Аустенитная нержавеющая сталь марки 01X17H14M3 (близкий состав со сталью 316L по стандарту AISI) легирована большим количеством хрома, никеля и молибдена, благодаря чему она обладает хорошей коррозионной стойкостью, в том числе при высоких температурах. Данная сталь характеризуется высокой пластичностью, ударной вязкостью и относительно высокой прочностью. Благодаря данным свойствам, из стали 01X17H14M3 изготавливают широкую номенклатуру продукции для химической, продовольственной, фармацевтической, нефтехимической промышленности, в том числе для производства труб и сосудов, работающих под давлением [4].

По структуре аустенитные нержавеющие стали делят на стабильные, то есть сохраняющие структуру аустенита при охлаждении с высоких температур до комнатных, и на метастабильные [5]. При деформировании метастабильной аустенитной стали возможно образование двух мартенситных фаз: α' -мартенсита с объёмно-центрированной тетрагональной решёткой и ϵ -мартенсита, имеющего гексагональную плотноупакованную решётку. Исследуемая в данной работе сталь считается стабильной по отношению к данным деформационным фазовым превращениям при комнатной температуре [2].

Одной из важных характеристик материалов является энергия дефекта упаковки (ЭДУ): для ГЦК материалов – энергия прослойки с ГПУ решёткой (дефекта упаковки), нарушающей порядок укладки плотноупакованных плоскостей {111}, в расчёте на единицу площади [6]. Её величина оказывает влияние на характер разрушения, склонность к механическому двойникованию и структуру дислокаций. Среди аустенитных нержавеющих сталей наиболее подвержены водородному охрупчиванию метастабильные стали с низкой энергией упаковки. Изучаемая сталь за счёт легирования

никелем и молибденом обладает достаточно высокой ЭДУ, которая оценивается в ≈ 35 МДж/м² [7].

Ещё одной особенностью стали данной марки является низкое содержание углерода (менее 0,01 %). Снижение концентрации углерода уменьшает склонность стали к образованию карбидов в интервале температур 773-1073 °К (это явление называется сенсбилизация). Однако углерод до концентрации 0,8 мас.% является стабилизатором аустенита, поэтому уменьшение его содержания может повысить склонность стали к деформационным мартенситным превращениям [8].

1.2 Диффузия водорода в стали

Скорость диффузии водорода в решётке металла зависит от типа решётки. Аустенитная сталь имеет гранецентрированную кубическую решётку. Коэффициент диффузии водорода D в ГЦК решётке при комнатной температуре составляет порядка 10^{-16} м²/с, что существенно ниже, чем в ОЦК (а также в ОЦТ), где она достигает 10^{-8} м²/с [9]. Благодаря этому аустенитные стали более устойчивы к водородному охрупчиванию. Следствием этого является повышенная чувствительность метастабильных аустенитных сталей к эффектам ВО по сравнению со стабильными, так как образующийся α' -мартенсит имеет структуру, близкую к ОЦК и, соответственно, характеризуется большим коэффициентом диффузии. Однако, согласно работе [10], образование ϵ -мартенсита не повышает склонность стали к охрупчиванию в среде водорода.

Глубина диффузии водорода x оценивается по формуле [11]:

$$x \approx \sqrt{2Dt}, \quad (1)$$

где t – продолжительность протекания диффузии, с.

Для аустенитной стали при продолжительности диффузии 1 час глубина диффузии составит 1 мкм.

Диффузия водорода протекает по межатомному пространству кристаллической решётки, однако наиболее выгодными областями для его накопления являются различные дефекты кристаллической структуры (ловушки). К ним относятся (перечисление в порядке усиления ловушек): растворенные атомы, вакансии и их скопления, ядра дислокаций, границы зёрен, границы между матрицей и включениями, поры и пустоты [12]. Дислокации способны осуществлять транспорт водорода за счёт образования в них водородных атмосфер Коттрелла. Кроме того, наблюдается повышенная концентрация водорода в областях упруго деформированной решётки.

Наводороживание материала можно производить как из газовой среды, так и электролитически, при этом существенных различий в эффектах ВО не наблюдается [9].

1.3 Параметры водородного охрупчивания

Прежде всего, восприимчивость материала к эффектам ВО возрастает при увеличении концентрации водорода в среде (в случае электролитического насыщения), а также при повышении давления газа (в случае насыщения в газовой среде). Однако данная зависимость действует только до достижения максимально возможной концентрации растворенного в решетке водорода, после чего она практически не изменяется [12].

Помимо концентрации, процесс ВО зависит от температуры среды, в которой проводится эксперимент. Во многих работах утверждается, что потеря пластичности вследствие ВО наиболее выражена при комнатной температуре [12]. При понижении температуры чувствительность материала к ВО постепенно снижается, что связывают со снижением коэффициента диффузии водорода, а также с осложнением транспорта водорода на дислокациях [9]. При повышении температуры до критической, которая часто лежит в области температур ниже 100 °С, чувствительно к ВО резко падает [12].

Также на эффекты ВО оказывают условия нагружения наводороженного образца. В общем случае, при повышении приложенной к деформируемому образцу нагрузки возрастает и восприимчивость материала к ВО. Однако за счёт некоторых структурных особенностей материалов результат может быть прямо противоположный [12].

1.4 Макроскопические эффекты взаимодействия водорода с различными металлами и сплавами

Макроскопические эффекты растворенного водорода различны для разных материалов. Например, А. Kimura и др. [13] обнаружил вызванное водородом разупрочнение в железе высокой чистоты. Для суперсплавов на основе никеля, кобальта и железа в работе [14] было показано, что предел текучести остается практически неизменным в среде водорода. Тем не менее, наблюдалось снижение прочности и пластичности, которые изменялись от незначительных до существенных величин. S. Jothi и др. [15] исследовали сплав Inconel 718 и обнаружили, что водород почти не оказывал влияния на величину предела текучести при скоростях деформации 10^{-3} и 10^{-4} с $^{-1}$, но предел прочности и удлинение до разрыва стали ниже.

Н. Luo и др. [16] продемонстрировали влияние водорода на высокоэнтропийный эквимоллярный сплав CoCrFeMnNi. Водород вызвал охрупчивание, однако в то же время способствовал повышению твёрдости и вязкости. Авторы работы связывают данный эффект с активацией при помощи водорода такого механизма упрочнения, как образование нанодвойников деформации. М. Коуата и др. [10] рассматривают возможность создания высокоэнтропийных сплавов на основе γ -железа, хрома, никеля и других элементов, считая данный класс материалов наиболее перспективным. За счёт высокой энергии дефекта упаковки и склонности к образованию ϵ -мартенсита данные сплавы, предположительно, будут обладать наименьшей чувствительностью к ВО.

Что касается сталей и сплавов на основе железа, Т. Michler и др. [3] исследовали аустенитные стали и сплавы на основе никеля разных марок со значениями энергии дефекта упаковки (ЭДУ) превышающими 20 мДж/м². В сталях 0.6C-12Mn (сталь Гадфильда) и 1C-31Mn-9Al наблюдалось разупрочнение, заметное снижение предела прочности и уменьшение удлинения до разрыва; для сплавов 18Cr-12.5Ni и 18Cr-35Ni Incoloy DS эффекты были незначительными; для 18Cr-19Mn-0.8N и 0.6C-23Mn сталей обнаружено упрочнение вместе с заметным снижением удлинения до разрыва и ростом предела прочности. D.P. Abraham и C.J. Altstetter [17] показали, что водород вызывает увеличение предела текучести аустенитной стали AISI 310, но не изменяет значение деформации до разрыва. Для монокристаллов стали AISI 316 М. Коуата и др. [18] обнаружили, что электролитическое насыщение водородом снижает предел прочности при растяжении, но не оказывает существенного влияния на предел текучести.

1.5 Теории водородного охрупчивания

Для объяснения механизма ВО на микроскопическом уровне были предложены различные теории.

Предложенный в работе [19] механизм связывает ВО с образованием гидридов. Эта теория работает только для материалов, где гидриды являются хрупкими и устойчивыми в условиях эксперимента, то есть для сталей она не применима.

Одна из самых ранних теорий, названная HEDE (hydrogen-enhanced decohesion), утверждает, что ВО вызвано ослаблением межатомных связей. Растворенный водород вынуждает атомы решетки отдаляться друг от друга, и при достижении критического расстояния (critical-tip-opening displacement) зарождается трещина, которая затем распространяется дальше [20]. Для образования транскристаллитных трещин водород должен быть сосредоточен на острие трещины или в решетке рядом с трещиной. Для реализации

декогезии в этом случае требуются высокие упругие напряжения и, следовательно, высокие гидростатические давления [21]. Для интеркристаллитного разрушения скопление водорода должно реализовываться по границам зёрен, но McMahon утверждает, что нет никаких доказательств переноса водорода к границам зерен в объемах, достаточно больших, чтобы вызвать разрушение [22]. Troiano [23] объясняет возникновение декогезии в сталях взаимодействием 1s атомов водорода с 3d атомами железа, однако В. Гаврилюк [24] утверждает, что водород усиливает металлический характер связи, что приводит к увеличению пластичности, а не к охрупчиванию.

D. Eliezer и др. [25] связывали ВО в метастабильной аустенитной стали AISI 304 с образованием α' -мартенсита. Позже было показано [2], что охрупчивание может происходить в отсутствие деформационных мартенситных превращений в стабильных аустенитных сталях, а склонность к охрупчиванию в водородной среде определяется дислокационной субструктурой материала.

HELP-теория (hydrogen enhanced localized plasticity), предложенная С. Beachem [26] и развитая Н. Birnbaum [27], является наиболее распространенной в настоящее время теорией. Согласно теории, ведущую роль в ВО играет взаимодействие между водородной атмосферой и дислокационной структурой материала. Растворенный водород экранирует силы отталкивания между дислокациями одного знака, таким образом вызывая уменьшение этих сил, что приводит к образованию скоплений дислокаций и ускорению их движения. Этот эффект приводит к аннигиляции дислокаций и, как следствие, к образованию микрополостей и, после их слияния (microvoid coalescence), к образованию трещины и разрушению. Взаимодействие водорода с дислокацией возможно только при относительно низких скоростях деформации, иначе атмосфера водорода не сможет диффундировать с движущимися дислокациями. In-situ ПЭМ-исследование движения дислокаций в чистом алюминии, проведенное Ferreira, Robertson and

Birnbaum [28; 29], в развитие вышеизложенного позволило сформулировать следующие особенности взаимодействия водорода с дислокациями: водород 1) уменьшает ЭДУ (что, в частности, может приводить к усилению механического двойникования); 2) стабилизирует краевые компоненты дислокаций (так как в ядре краевой дислокации происходит образование водородной атмосферы Коттрелла, снижающей энергию краевой дислокации), таким образом снижая способность к поперечному скольжению (образование винтовой дислокации потребует возврата водорода из ядра краевой дислокации в межатомное пространство решётки, что повысит энергию системы) и делая дислокационную структуру планарной; 3) вызывает микролокализацию сдвига. При этом трещина может распространяться как по телу зерна, так и по их границам в зависимости от местоположения водорода [12].

Ещё одна теория, получившая название AIDE (adsorption-induced dislocation emission) [21], объединяет в себе теории HELP и HEDE. Её суть заключается в следующем: растворенный в материале водород абсорбируется на поверхности зарождающейся трещины, то есть в области концентрации напряжений. Абсорбция водорода приводит к ослаблению межатомных связей (HEDE), в следствие чего облегчается начало скольжения атомных плоскостей, то есть зарождение дислокаций. После этого, зарождающиеся дислокации образуют скопления по механизму HELP, что приводит к дальнейшему распространению трещины.

Существующие на данный момент механизмы водородного охрупчивания не исчерпываются приведёнными выше, однако большинство экспериментальных работ описывают с их помощью или с помощью новых подходов, основанных на комбинации известных механизмов.

2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Химический состав исследуемых образцов стали 01X17H14M3 представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав стали 01X17H14M3 (мас.%), Fe-ост.

C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si
0,01	16,80	13,30	2,70	1,70	0,60

Образцы нагревали в печи при 1100 °С в течение 1 часа после чего закаливали в воду комнатной температуры. После обработки сталь имела структуру аустенита со средним размером зерна 19 мкм, без учета двойниковых границ.

Для проведения механических испытаний образцы вырезали в форме пропорциональных плоскопараллельных двойных лопаток с размерами рабочей части $8 \times 2,7 \times 0,5$ (мм). Перед электролитическим насыщением водородом и растяжением образцы шлифовали и электрохимически полировали в растворе: 50 г CrO_3 в 200 г H_3PO_4 .

Электролитическое наводороживание проводилось в 1N растворе серной кислоты H_2SO_4 + тиомочевина ($\text{CS}(\text{NH}_2)_2$) при плотности тока 50 мА/см² в течение 8 и 100 часов. После насыщения водородом в течение 100 часов концентрация водорода C_H по глубине образца h изменялась в соответствии с закономерностью, представленной на рисунке 1. Наводороженные образцы до испытаний на растяжение хранили в жидком азоте.

Испытания на одноосное статическое растяжение были проведены для наводороженных образцов и образцов в исходном состоянии (без водорода) при комнатной температуре. В работе использовалась универсальная испытательная машина LFM-125 (Walter + Bai AG, Швейцария). Истинные

зависимости напряжение-деформация получали из инженерных только для области однородной деформации.

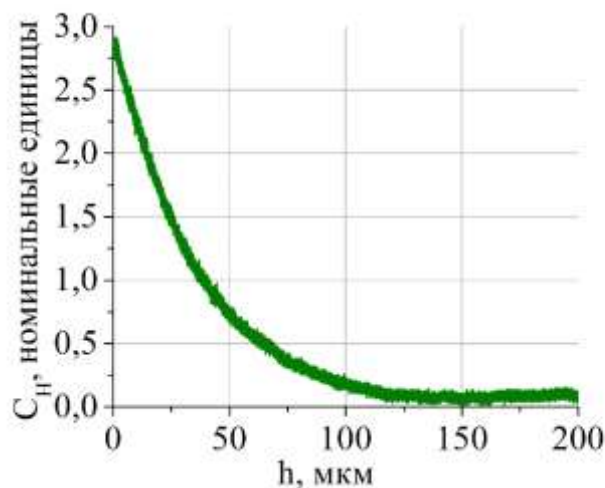


Рисунок 1 – Распределение водорода по глубине образца после наводороживания в течение 100 ч

Первый тест на растяжение проводился с относительной скоростью деформации $1 \times 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ до разрушения. Были испытаны образцы в исходном состоянии и наводороженные в течение 8 и 100 часов. Для исследования микроструктуры методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) часть образцов была извлечена из захватов при достижении 10 % пластической деформации.

Тест на релаксацию напряжений заключался в растяжении с относительной начальной скоростью деформации $1 \times 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ до 10 % пластической деформации. После этого часть образцов была разгружена. Остальные образцы выдерживали в испытательной машине с остановленной движущейся траверсой в течение 60 с или 1000 с, а затем разгружали. Образцы, разгруженные после деформации без релаксации напряжений и после релаксации в течение 60 с, исследовали методом ПЭМ.

Для исследования влияния скорости деформации на механизм ВО образцы были испытаны на растяжение с относительными скоростями

деформации $6,2 \times 10^{-5} \text{ с}^{-1}$, $6,2 \times 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ и $6,2 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ до разрушения. Фольги для ПЭМ были изготовлены из образцов, которые были извлечены из испытательной машины при достижении 5 % пластической деформации.

Боковые поверхности и поверхности разрушения образцов исследовали методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) VEGA3 TESCAN. Микроструктуру исследовали с помощью просвечивающего электронного микроскопа JEOL JEM-2100 (200 кВ). Фольги для ПЭМ готовили путём механического утонения до толщины порядка 130 мкм, после чего из образцов вырезались шайбы диаметром 3 мм, которые затем подвергали струйной электролитической полировке в приборе Микрон-104 в охлаждённом электролите (95 % уксусной кислоты (CH_3COOH)+5 % хлорной кислоты (HClO_4)).

Расшифровка электронограмм, полученных методом ПЭМ проводилась по методике, описанной в [30], а также с использованием приведенных в работах [30, 31] справочных материалов. Расчет плотности дислокаций осуществлялся методом секущих [32].

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4Б51	Фортуна Анастасии Сергеевны

Инженерная школа	новых производственных технологий	Отделение	материаловедения
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	- При проведении исследования используется база ЦКП «Нанотех» ИФПМ СО РАН. - Участниками проекта являются 2 человека: студент-исполнитель и научный руководитель. - Сумма затрат на выполнение проекта составляет 750 тысяч рублей.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- Проект выполняется в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» - Минимальный размер оплаты труда на 2019 год составляет 11280 руб.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	- Согласно ст. 149 НК РФ данная НИР не подлежит налогообложению. - На основании ст. 58 закона №212-ФЗ ставка для расчета отчислений во внебюджетные фонды – 28,0%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	- Технико-экономическое обоснование НИР - SWOT-анализ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	- Планирование работ по проведению НИР - Расчет бюджета затрат на НИ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	-Расчёт интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT
2. График проведения и бюджет НИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Подопригора Игнат Валерьевич	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б51	Фортуна Анастасия Сергеевна		

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела является анализ успешности и перспективности научно-исследовательского проекта. Достижение поставленной цели требует решения следующих задач [35]:

- дать оценку коммерческому потенциалу проекта и перспективам его разработки;
- обозначить поэтапный план выполнения исследования;
- произвести расчёт бюджета исследования;
- оценить финансовую эффективность и ресурсоэффективность НИР.

5.1 Технико-экономическое обоснование

Охрупчивание металлов и сплавов в среде водорода является серьезной проблемой, тормозящей развитие инфраструктуры для водородной энергетики. Среди материалов, пригодных для применения в среде водорода, таких как, например, алюминиевые и никелевые сплавы, конструкционные высоколегированные аустенитные стали обладают наилучшим сочетанием конструкционной прочности, стойкости к водородной среде и экономической выгоды.

5.2 Потенциальные потребители результатов исследования

Проект выполнен в рамках научно-исследовательской работы для ИФПМ СО РАН. Проведенные в данной работе исследования представляют интерес для предприятий, производящих продукцию, работающую в водородной среде. К ним, в частности, относятся: производители водородных автомобилей на топливных элементах, изготовители баллонов для

транспортировки и хранения водорода, а также иным предприятиям, производящим продукцию, работающую в среде водорода. Кроме того, тема данных исследований является актуальной для Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ).

5.3 SWOT-анализ

Анализ внутренней и внешней среды научно-исследовательского проекта осуществляется при помощи SWOT-анализа. SWOT-анализ позволяет оценить сильные и слабые стороны проекта, а также следующие из них возможности и угрозы внешней среды (таблица 5).

Таблица 5 – SWOT-анализ проекта

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
С1. Наличие необходимого оборудования в лаборатории; С2. Малая потребность в расходных материалах; С3. Участники проекта обладают необходимой квалификацией для проведения всех запланированных исследований; С4. Изучаемый материал выпускается в промышленных масштабах.	В1. Возможность открытия фундаментального закона; В2. Простота перехода от фундаментальных исследований к практическому применению их результатов.
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
Сл1. Значительная трудоемкость процесса подготовки образцов к исследованиям; Сл2. Высокая стоимость изучаемого материала; Сл3. Многофакторность изучаемых процессов.	У1. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования; У2. Отсутствие спроса на результаты исследования в случае обнаружения более стойкого и более дешёвого материала.

Для определения стратегии работы, были определены взаимосвязи между внешней средой и сильными и слабыми сторонами проекта (таблица 6).

Возможность В1 обусловлена подготовкой кадров лаборатории (С3), а также доступностью всего необходимого оборудования (С1). Возможность В2 следует из относительной доступности изучаемого материала (С4), благодаря чему наладить выпуск контейнеров для водорода не будет из изучаемой стали проблематичным.

Таблица 6 – Взаимосвязь сильных и слабых сторон проекта со внешней средой

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	-	+	-
	B2	-	-	-	+
Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	
	B1	+	-	+	
	B2	-	+	-	
Сильные стороны проекта					
Угрозы		C1	C2	C3	C4
	У1	+	+	+	-
	У2	-	-	-	+
Слабые стороны проекта					
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3	
	У1	+	+	-	
	У2	-	+	-	

Сл1 и Сл3 могут помешать реализации В1, так как нет возможности изучить большое количество образцов из-за высокой трудоемкости процесса их подготовки, а многофакторность изучаемого процесса наводороживания может обусловить неправильность интерпретации результатов. Для того, чтобы проект был успешно реализован, необходимо определить оптимальное количество подготавливаемых образцов, а также по возможности, автоматизировать процесс их подготовки.

Высокая трудоемкость процесса (Сл1), а также высокая стоимость изучаемого материала (Сл2) приводят к возникновению угрозы У1, так как для реализации проекта необходимо оплатить труд работников, а также закупить расходные материалы. Во избежание возникновения подобной ситуации, необходимо вовремя и заранее подготовить необходимую документацию и оговорить сроки с заказчиком работ. Высокая стоимость изучаемой стали приводит к возникновению угрозы У2.

Угроза У1 за счёт всех имеющихся сильных сторон (С1-С4) может быть существенно снижена, так как не потребуются временные и финансовые затраты на закупку оборудования и поиск квалифицированных кадров. Угроза У2, на которую рассчитано наличие С4, на данном этапе является гипотетической, поэтому даже в случае, если будет открыт более устойчивый

к наводороживанию материал, потребуется время для налаживания процесса его промышленного производства.

Таким образом, значительных изменений в стратегию проведения исследований вносить не потребуется. Из рекомендаций можно вынести следующее:

1) эффективность исследований может быть повышена за счёт автоматизации процесса подготовки образцов, поэтому следует рассмотреть возможность приобретения необходимого оборудования

2) для обеспечения своевременного финансирования, важно довести до сведения заказчика все сроки проведения работ.

5.4 Планирование работ по НИР

Для анализа трудоемкости выполнения НИР используется экспертная оценка. Трудоемкость, выражаемая в человеко-днях, носит вероятностный характер, так как находится в зависимости от большого числа переменных факторов. Этапы данной работы приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Перечень этапов работ, распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка задания на НИР	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований в НИР	2	Изучение учебной литературы по теме	Студент
	3	Изучение актуальных статей по теме	Студент
	4	Выбор направления проведения исследований	Научный руководитель
	5	Составление плана проведения эксперимента	Научный руководитель

Продолжение таблицы 7

Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических расчетов	Научный руководитель, студент
	7	Проведение эксперимента	Научный руководитель, студент
	8	Обработка полученных экспериментальных результатов	Научный руководитель, студент
	9	Сопоставление полученных результатов с теоретическими	Научный руководитель, студент
Обобщение и оценка результатов	10	Оценка эффективности результатов	Научный руководитель, студент
	11	Оценка целесообразности дальнейшего проведения ОКР	Научный руководитель, студент
Оформление отчета по НИР	12	Составление пояснительной записки	Студент

5.4.1 Определение трудоемкости выполнения работ

При проведении научных исследований основную часть затрат составляют заработные платы (порядка 65%), поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления сметы.

Определение ожидаемой величины трудоёмкости проводится по формуле:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min\ i} + 2t_{\max\ i}}{5}, \quad (4)$$

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

$t_{\min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{pi} , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (5)$$

где $Ч_i$ - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

5.4.2 Построение графика работ

Для удобства построения графика полученную величину переводят в календарные дни по формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k_{кал}, \quad (6)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях (полученная величина округляется до целого числа;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Определение величины $k_{кал}$ проводится по формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - (T_{вых} + T_{пр})}, \quad (7)$$

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

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

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

В 2019 году количество выходных и праздничных дней суммарно составит 118 дней.

$$k_{кал} = \frac{365}{365 - 118} = 1,478 \approx 1,5 \quad (8)$$

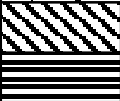
Все полученные значения T_{ki} приведены в таблице 8.

На основе полученной таблицы строится диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными по времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ (таблица 9). Построение осуществляется за период времени дипломирования, с разбивкой по декадам и месяцам.

Таблица 8 – Временные показатели проведения НТИ

№ раб.	Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	T_{pi} , раб. дни	T_{ki} , кал. дни
		$t_{min i}$ чел.- дни	$t_{max i}$ чел.- дни	$t_{ож i}$ чел.- дни			
1	Составление и утверждение технического задания	1	2	1	Научный руководитель, студент	1	2
2	Изучение учебной литературы по теме	5	10	12	Студент	7	11
3	Изучение актуальных статей по теме	10	15	12	Студент	12	18
4	Выбор направления исследований	1	2	1	Научный руководитель	1	2
5	Составление плана проведения эксперимента	2	4	3	Научный руководитель	3	5
6	Проведение теоретических расчетов	5	7	6	Научный руководитель, студент	3	5
7	Проведение эксперимента	30	36	32	Научный руководитель, студент	16	24
8	Обработка полученных экспериментальных результатов	14	20	16	Научный руководитель, студент	8	12
9	Сопоставление полученных результатов с теоретическими	3	5	4	Научный руководитель, студент	2	3
10	Оценка эффективности результатов	5	7	6	Научный руководитель, студент	3	5
11	Оценка целесообразности дальнейшего проведения ОКР	7	10	8	Научный руководитель, студент	4	6
12	Составление пояснительной записки	25	30	27	Студент	27	41

Таблица 9 – Календарный план-график проведения НИР

№	Название работы	Исполнители	T _{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ														
				январь	фев.			март			апр.			май			июнь	
				3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	Науч. рук., студент	2															
2	Изучение учебной литературы по теме	Студент	11															
3	Изучение актуальных статей по теме	Студент	18															
4	Выбор направления исследований	Науч. рук.	2															
5	Планирование эксперимента	Науч. рук.	5															
6	Проведение теоретических расчетов	Науч. рук., студент	5															
7	Проведение эксперимента	Науч. рук., студент	24															
8	Обработка полученных результатов	Науч. рук., студент	12															
9	Сопоставление полученных результатов с теоретическими	Науч. рук., студент	3															
10	Оценка эффективности результатов	Науч. рук., студент	5															
11	Оценка целесообразности дальнейшего проведения ОКР	Науч. рук., студент	6															
12	Составление пояснительной записки	Студент	41															
				 - студент  - руководитель														

Таким образом, запланированный комплекс работ может быть разделен на 12 этапов. На выполнение поставленных задач заданным коллективом требуется порядка пяти месяцев. График выполнения работ учитывает выходные и праздничные дни.

5.4.3 Бюджет научно технического исследования (НИР)

Основная задача планирования бюджета НИР заключается в полном и достоверном отражении всех возможных затрат на его реализацию. Принято использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты НИР;
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- накладные расходы научно-исследовательской работы (НИР).

5.4.3.1 Расчет материальных затрат НИР

Представляют собой суммарную стоимость всех приобретенных материалов, комплектующих, сырья, канцелярских принадлежностей (если они не включены в расходы на использование оборудования или накладные расходы) и т.д., необходимых при проведении НИР. Стоимость возвратных отходов исключается из затрат на материальные ресурсы.

Величина материальных затрат Z_m определяется по формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \times \sum_{i=1}^m (C_i \times N_{расхi}), \quad (9)$$

где m - количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении НИР;

$N_{расхi}$ - количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении НИР (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i - цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы и определяемый как отношение затрат по доставке материальных ресурсов к ценам на них. Его величина составляет обычно 15-25 %.

Значения цен определяются поставщиками или предприятиями-изготовителями. Их значения можно найти, пользуясь ресурсами сети Интернет.

Рассчитанные материальные затраты на проведение данного исследования приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Материальные затраты на проведение НИР

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Σ , руб.
Круг 70 мм сталь 01X17H14M3 (AISI 316L)	кг	20	525	10500
Жидкий азот (заправка баллона)	л	30	20	600
Серная кислота	кг	1	99	99
Ортофосфорная кислота	кг	1	105	105
Тиомочевина	кг	1	140	140
Оксид хрома (VI), порошок	кг	1	380	380
Хлорная кислота	кг	1	980	980
Итого:				12804

5.4.3.2 Расчет затрат на экспериментальное оборудование для НИР

Данная статья включает в себя расходы по приобретению необходимого оборудования: приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, испытательных машин и т.д., а также амортизационные расходы. Необходимое для проведения исследования оборудование приведено в таблице 11. Цена указана по прейскурантам компаний-поставщиков.

Как видно из таблицы 11, итоговые затраты составили 0 руб., что связано с наличием всего необходимого оборудования на базе ИФПМ СО РАН.

Таблица 11 – Затраты на приобретение оборудования для научных работ

Оборудование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты, руб.
Муфельная печь	шт	1	62397	0
Источник постоянного тока	шт	1	89146	0
Универсальная испытательная машина LFM-125	шт	1	10000000	0
Растровый электронный микроскоп VEGA 3TESCAN	шт	1	50000000	0
Просвечивающий электронный микроскоп JEOL JEM-2100	шт	1	150000000	0
Персональный компьютер	шт	1	21799	0
Итого:				0

Расчет амортизационных отчислений осуществляется исходя из базовой стоимости оборудования и утвержденных норм амортизации. Учёту амортизации подлежит оборудование сроком использования более года и стоимостью за единицу оборудования более 100 тыс. руб.

Расчёт амортизационных отчислений H осуществлялся по формуле:

$$H = \sum_{i=1}^n \frac{T_{уснi}}{365} \times K_i \times H_{ai}, \quad (10)$$

где n - число единиц оборудования стоимостью более 100 тыс. руб. и сроком службы более года;

$T_{уснi}$ – время использования i -ой единицы оборудования;

365 – количество дней в году;

K_i – стоимость i -ой единицы оборудования;

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

Норма амортизации является величиной, обратной сроку службы оборудования T_{cc} :

$$H_a = \frac{1}{T_{cc}} \quad (11)$$

Результаты расчета амортизации оборудования представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Затраты на амортизационные отчисления по оборудованию для проведения научных работ

Оборудование	Цена	Срок службы, лет	Срок использования в НТИ, кал. дни	<i>H</i> , руб.
Универсальная испытательная машина LFM-125	10 000 000	30	10	8333
Растровый электронный микроскоп VEGA 3TESCAN	50 000 000	более 20	5	37203
Просвечивающий электронный микроскоп JEOL JEM-2100	150 000 000	более 20	14	312500
Итого:				358036

5.4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Величина расходов по заработной плате рассчитывается по трудоёмкости выполняемых работ с учётом действующей систем окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30% от тарифа или оклада.

Основная заработная плата студента и руководителя от предприятия $Z_{осн}$ вычисляется по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \times T_p, \quad (12)$$

где T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дней (таблица 8);

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

Значение величины $Z_{дн}$ определяется как:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \times M}{F_{\partial}}, \quad (13)$$

где Z_M - месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней (таблица 13).

Таблица 13 – Действительный годовой фонд рабочего времени на 2019 г.

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	104	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	28	28
- невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	219	271

Расчет значения Z_M проводится по формуле:

$$Z_M = Z_{mc} \times (1 + k_{np} + k_d) \times k_p, \quad (14)$$

где Z_{mc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{np}=0,3$ – премиальный коэффициент;

$k_d=0,2$ – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях данный коэффициент назначается за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия);

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

Расчёт основной заработной платы показан в таблице 14.

Таблица 14 – Основная заработная плата исполнителей

Исполнитель	Z_{mc}	k_{np}	k_{ϕ}	k_p	Z_M	$Z_{\phi n}$	T_p	$Z_{осн}$
Научный руководитель	30765	0,3	0,2	1,3	59992	3013	41	123533
Студент	13190				25720	1044	82	85608
Итого:								209141

5.4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций. Определение величины дополнительной заработной платы $Z_{доп}$ ведется по формуле:

$$Z_{доп} = Z_{осн} \times k_{доп}, \quad (15)$$

где $k_{доп}=0,12$ – коэффициент дополнительной заработной платы.

Результаты вычислений $Z_{доп}$ приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Дополнительная заработная плата исполнителей

Исполнитель	$Z_{доп}$
Руководитель	14824
Студент	10273
Итого:	25097

5.4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Размер выплат находится по формуле:

$$Z_{внеб} = (Z_{осн} + Z_{доп}) \times k_{внеб}, \quad (16)$$

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

Согласно ст.58 Федерального закона №212-ФЗ, для организаций, основным видом экономической деятельности которых являются научные исследования и образование, отчисления в страховые фонды составляют 28%, откуда $k_{внеб}=0,28$. Затраты на отчисления приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Затраты на страховые отчисления

Исполнитель	$Z_{внеб}$
Руководитель	38741
Студент	26846
Итого:	65587

5.4.3.6 Накладные расходы

В данной статье учитываются все прочие расходы, не включенные в предыдущие статьи, такие как электроэнергия, печать документов, оплата услуг связи и т.д. Их величина определяется как:

$$Z_{накл} = (Z_{м} + Z_{осн} + Z_{доп} + Z_{внеб}) \times k_{пр}, \quad (17)$$

где $k_{пр}=0,16$ - коэффициент, учитывающий накладные расходы в данной работе.

$$Z_{накл} = (11824 + 209141 + 25097 + 65587) \times 0,16 = 49864 \quad (18)$$

5.4.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Бюджета затрат на НИР приведен в таблице 17.

Таблица 17 – Бюджет затрат на НИР

№	Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1	Материальные затраты НИР	12804	п. 4.4.3.1
2	Затраты на оборудование	358036	п. 4.4.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей проекта	209141	п. 4.4.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей проекта	25097	п. 4.4.3.4
5	Отчисления во внебюджетные фонды	65587	п. 4.4.3.5
6	Накладные расходы	49864	п. 4.4.3.6
Итого:		720529	-

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основной для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Таким образом, расчетные затраты не превышают запланированную сумму в 750 тыс. руб. Согласно таблице 17, наибольшие затраты по проведению НИР формируются за счёт затрат на заработную плату, а также на амортизационные расходы по дорогостоящему оборудованию.

5.5 Определение финансовой эффективности и ресурсоэффективности

Определение эффективности НИР производится посредством расчёта интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

5.5.1 Определение финансовой эффективности

Интегральный показатель финансовой эффективности НИР получают в ходе оценки бюджета затрат трех или более вариантов исполнения научного исследования. Для данного исследования существует только два исполнения: 1) электролитическое наводороживание и 2) наводороживание из газовой среды. Все остальные проводимые испытания являются типовыми и не имеют аналогов.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{фин}^{испi} = \frac{\Phi_i}{\Phi_{max}} \quad (19)$$

где Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения НИР.

Результат расчёта интегрального финансового показателя приведён в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет интегрального показателя финансовой эффективности

Исполнение	1) электролитическое наводороживание	2) наводороживание из газовой среды
Расходные материалы	Серная кислота + тиомочевина	Водород
Оборудование	Электролитическая ячейка + источник тока	Установка Сивертса
Φ_{pi}	89386	113000
$I_{фин}^{испi}$	0,79	1

Таким образом, для данной НИР показатель финансовой эффективности составляет 0,79. С учётом того, что электролитическая ячейка с источником постоянного тока имеется в лаборатории (в отличие от установки Сивертса), интегральный финансовый показатель данного исполнения НИР стремится к 0.

5.5.2 Определение ресурсоэффективности

Ресурсоэффективность проекта можно оценить с помощью интегрального показателя ресурсоэффективности, вычисляемого по формуле:

$$I_p^{испi} = \sum_{i=1}^n (a_i \times b_i) \quad (20)$$

где $I_p^{испi}$ – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – бальная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

В таблице 19 приведен расчет интегрального показателя ресурсоэффективности.

Таблица 19– Сравнительная характеристика вариантов исполнения НИР

Критерии	Весовой коэффициент	1) электролитическое наводороживание	2) наводороживание из газовой среды
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,15	3	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	3
3. Энергосбережение	0,20	3	3
4. Надёжность	0,35	5	4
5. Материалоёмкость	0,20	5	3
I_{pi}	1	4,4	3,65

Из таблицы следует, что вариант исполнения НИР, применяемый в данной работе, является более ресурсоэффективным.

Интегральный показатель эффективности определяется по следующей формуле:

$$I_{испi} = \frac{I_{p}^{испi}}{I_{фин}^{испi}} \quad (21)$$

Данный показатель равен:

$$\text{- для исполнения 1: } I_{исп1} = \frac{4,4}{0,79} = 5,57;$$

$$\text{- для исполнения 2: } I_{исп2} = \frac{3,65}{1} = 3,65.$$

Таким образом, исполнение 1 является наиболее эффективным.

5.6 Заключение по разделу

Для оценки эффективности стратегии проведения НИР проведён SWOT-анализ. По результатам анализа рекомендуется автоматизировать процесс подготовки образцов с целью снижения трудоёмкости исследования.

Составлен план проведения НИР. Весь исследовательский процесс может быть разделён на 12 этапов. На выполнение поставленных задач заданным коллективом требуется порядка пяти месяцев. Для иллюстрации календарного плана составлена диаграмма Ганта.

Рассчитанные затраты на проведение НИР не превышают заложенного бюджета, который составляет 750 тыс. рублей. Основными являются расходы на оборудование (амортизационные расходы) и расходы на заработную плату исполнителей.

Произведен расчёт финансовой эффективности и ресурсоэффективности применяемого метода наводороживания. Установлено, что электролитическое наводороживание является более эффективным по сравнению с наводороживанием из газовой среды.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4Б51	Фортуна Анастасии Сергеевны

Школа	новых производственных технологий	Отделение (НОЦ)	материаловедения
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Тема ВКР:

Влияние скорости деформации на закономерности водородного охрупчивания аустенитной нержавеющей стали	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования являются образцы стали марки 01Х17Н14М3 в исходном и наводороженном состояниях. Исследования проводились в помещениях ЛФСП ИФПМ СО РАН.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	- ТК РФ от 30.01.2001 №197 ФЗ - ПНД Ф 12.13.1-03 - ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ - ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	- Вредные: отклонение показателей микроклимата, недостаточная освещенность, вредные химические вещества - Опасные: вредные химические вещества, электрический ток, опасность возникновения пожара
3. Экологическая безопасность:	- Возможно попадание вредных химических веществ в атмосферу и гидросферу
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	- Загрязнение местности и атмосферы АХОВ и ОВ - Пожар

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Лариса Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б51	Фортуна Анастасия Сергеевна		

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. А.С. Фортуна. Влияние легирования водородом на механические свойства и характер разрушения стали X17H13M3 / А.С. Фортуна, В.-. Москвина, Г.Г. Майер, Е.В. Мельников, Е.Г. Астафурова // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2017 – №. 4. – С. 149–155
2. А.С. Фортуна. Влияние электролитического наводороживания на особенности дислокационной структуры, формирующейся в аустенитной нержавеющей стали 01X17H14M3 при одноосном растяжении / А.С. Фортуна, Е.Г. Астафурова, С.В. Астафуров, Г.Г. Майер, Е.В. Мельников, В.-. Москвина // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2018 – Т. 23 – №. 123 (Приложение к журналу). – С. 555–558
3. С.В. Астафуров. Влияние размера зерна и скорости деформации на механические свойства аустенитной нержавеющей стали 12х18н10т при одноосном растяжении / С.В. Астафуров, Е.Г. Астафурова, Г.Г. Майер, Е.В. Мельников, В.-. Москвина, А.С. Фортуна // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2018 – Т. 23 – №. 122 (Приложение к журналу). – С. 22–25
4. Г.Г. Майер. Изучение структурно-фазового состояния и микротвердости аустенитных Cr-Mn сталей с высокой концентрацией атомов внедрения после кручения под высоким давлением / Г.Г. Майер, Е.Г. Астафурова, Е.В. Мельников, В.-. Москвина, С.В. Астафуров, А.С. Фортуна, И.А. Тумбусова, Н.К. Гальченко // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2018 – Т. 23 – №. 122 (Приложение к журналу). – С.176–180
5. E.G. Astafurova. Hydrogen embrittlement of ultrafine-grained austenitic stainless steels / E.G. Astafurova, S.V. Astafurov, G.G. Maier, V.A. Moskvina, E.V. Melnikov and A.S. Fortuna // Rev. Adv. Mater. Sci. – 2018. – №54. – P. 25–45

6. S.V. Fortuna. Wire Feed Electron Beam Additive Manufacturing Of Metallic Components / A.V. Filippov, S.V. Fortuna, E.A. Kolubaev, A.S. Fortuna and D.A. Gurianov // AIP Conference Proceedings – 2018. – Vol. 2051. - Article number 020092.

7. G. Maier. Effect of age hardening on phase composition and microhardness of V-free and V-alloyed high-nitrogen austenitic steels / G. Maier, E. Astafurova, V. Moskvina, E. Melnikov, S. Astafurov, I. Tumbusova, A. Fortuna, M. Panchenko, Yu. Mironov, Yu. Mirovoy, N. Galchenko // AIP Conference Proceedings – 2018. – Vol. 2051. – Article number 020183.

8. G. Maier. Influence of Hydrogen-Charging on Microstructure and Microhardness of High-Nitrogen Austenitic Steel Processed by High-Pressure Torsion / G. Maier, E. Astafurova, V. Moskvina, E. Melnikov, S. Astafurov, A. Fortuna, N. Galchenko, A. Smirnov, V. Bataev // AIP Conference Proceedings. – 2018. – Vol. 2051. – Article number 020182.

Тезисы докладов

9. Е.Г. Астафурова. Изменение механизма разрушения коррозионностойкой аустенитной стали при наводороживании / Е.Г. Астафурова, Г.Г. Майер, Е.В. Мельников, А.С. Фортунa, В.-. Москвина // Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций: тезисы докладов Международной конференции, Томск, 9-13 Октября 2017. – Томск: ИФПМ СО РАН. - 2017 – С. 403–405

10. А.С. Фортунa. Влияние электролитического насыщения водородом на механические свойства и характер разрушения крупнокристаллической стали X17H13M3 / А.С. Фортунa, В.-. Москвина, Е.В. Мельников, Г.Г. Майер, Е.Г. Астафурова // Двадцать четвертая всероссийская научная конференция студентов-физиков и молодых ученых: материалы, Томск, 31 Марта-7 Апреля 2018. – Екатеринбург: АСФ России, 2018 – С. 522–524

11. В.-. Москвина. Влияние электролитического насыщения водородом на деформационное поведение и характер разрушения высокоазотистой аустенитной стали / В.-. Москвина, Г.Г. Майер, Е.В. Мельников, А.С. Фортуна, Е.Г. Астафурова // Двадцать четвертая всероссийская научная конференция студентов-физиков и молодых ученых: материалы, Томск, 31 Марта-7 Апреля 2018. – Екатеринбург: АСФ России, 2018 – С. 503–505

12. Г.Г. Майер. Влияние наводороживания на структурно-фазовое состояние и микротвердость высокоазотистой аустенитной стали после кручения под высоким давлением / Г.Г. Майер, Е.Г. Астафурова, В.А. Москвина, Е.В. Мельников, С.В. Астафуров, А.С. Фортуна, Н.К. Гальченко // Тезисы докладов Международной конференции «Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций». Томск, Россия, ИФПМ СО РАН. – 2018. – С. 140.

13. Е.В. Мельников. Влияние химико–деформационной обработки на механические свойства аустенитных сталей 17X18N9 и 01X17N13M3 / Е.В. Мельников, Е.Г. Астафурова, С.В. Астафуров, Г.Г. Майер, В.А. Москвина, А.С. Фортуна // Тезисы докладов Международной конференции «Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций». Томск, Россия, ИФПМ СО РАН. – 2018. – С. 164–165.

14. С.В. Астафуров. Исследование влияния скорости деформации на выполнение соотношения Холла-Петча при одноосном растяжении хромоникелевых аустенитных нержавеющей сталей / С.В. Астафуров, Е.Г. Астафурова, Г.Г. Майер, Е.В. Мельников, В.А. Москвина, А.С. Фортуна // Тезисы докладов Международной конференции «Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций». Томск, Россия, ИФПМ СО РАН. – 2018. – С. 332–333.

15. Е.Г. Астафурова. Влияние скорости деформации на закономерности водородного охрупчивания аустенитной нержавеющей стали

/ Е.Г. Астафурова, А.С. Фортуна, Г.Г. Майер, С.В. Астафуров, Е.В. Мельников, В.А. Москвина, А.Г. Бурлаченко // Тезисы докладов Международной конференции «Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций». Томск, Россия, ИФПМ СО РАН. – 2018. – С. 395.

16. Е.Г. Астафурова. Исследование механических характеристик аустенитных хромомарганцевых сталей с высоким содержанием примесей внедрения / Е.Г. Астафурова, С.В. Астафуров, Г.Г. Майер, Е.В. Мельников, В.А. Москвина, А.С. Фортуна, Н.К. Гальченко // Тезисы докладов Международной конференции «Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций». Томск, Россия, ИФПМ СО РАН. – 2018. – С. 396–397.

17. А.С. Фортуна. Влияние скорости деформации на закономерности водородного охрупчивания аустенитной нержавеющей стали / А.С. Фортуна // Сборник трудов Международной научно-технической молодежной конференции «Перспективные материалы конструкционного и медицинского назначения». – 2018. – С.96-97.