



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

Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки 03.04.02

ООП/ОПОП Физика конденсированного состояния

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА

Тема работы
Исследование влияния водорода и термического воздействия на структурно-фазовое состояние и механические свойства титанового сплава

УДК 669.295.5:669.788:53

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ11	Кругляков Марк Александрович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ ТПУ	Степанова Е.Н.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Маланина В. А.	К.Э.Н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Сечин А. А.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры	Лидер А.М.	Д.Т.Н., профессор		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий.
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определить и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности
ОПК(У)-2	Способен в сфере своей профессиональной деятельности организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую деятельность для поиска, выработки и принятия решений в области физики
ОПК(У)-3	Способен применять знания в области информационных технологий, использовать современные компьютерные сети, программные продукты и ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее – сеть «Интернет») для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки
ОПК(У)-4	Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики конденсированного состояния и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта
ПК(У)-2	Способен свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения задач в профессиональной области и применять результаты научных исследований в проектной деятельности.
ПК(У)-3	Способен планировать и проводить фундаментальные исследования по проектам в области ядерно-физических исследований, взаимодействия излучения с веществом, модернизации современных и создания новых методов изучения механических, электрических, магнитных, тепловых свойств твердых тел
ПК(У)-4	Способен обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в профессиональной деятельности, осуществлять презентацию научных исследований
ПК(У)-5	Способен методически грамотно строить планы лекционных и практических занятий по разделам учебных дисциплин и публично излагать теоретические и практические разделы дисциплин в соответствии с утвержденными учебно-методическими пособиями при

	реализации программ бакалавриата в области физики
ПК(У)-6	Способен руководить научно-исследовательской деятельностью в профессиональной области обучающихся по программам бакалавриата



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

Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки (ООП/ОПОП) 03.04.02 Физика
Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП/ОПОП
_____ Лидер А.М.
(Подпись) (Дата) (ФИО)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

Обучающийся:

Группа	ФИО
ОБМ11	Кругляков Марк Александрович

Тема работы:

Исследование влияния водорода и термического воздействия на структурно-фазовое состояние и механические свойства титанового сплава	
<i>Утверждена приказом директора (дата, номер)</i>	<i>№ 27-78/с от 27.01.2023</i>

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:

06.06.2023

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(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 функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i></p>	<p>Объектом исследования является двухфазный титановый сплав Ti-6Al-4V, полученный методом электронно-лучевого сплавления (ЭЛС). Целью работы является изучение закономерностей влияния дополнительной термической и водородной обработки двухфазного титанового сплава Ti-6Al-4V, полученного методом электронно-лучевого сплавления (ЭЛС), на его структурно фазовое состояние и механические свойства</p>
<p>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке <i>(аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> – Литературный обзор – Материал и методы исследования – Экспериментальная часть работы – Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение – Социальная ответственность – Заключение

<i>работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)</i>	
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Маланина Вероника Анатольевна, Доцент ОСГН
Социальная ответственность	Сечин Андрей Александрович, Доцент ООД ШБИП
Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:	
Глава 1. Литературный обзор	

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

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ ТПУ	Степанова Е.Н.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ11	Кругляков Марк Александрович		



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

Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки (ООП/ОПОП) 03.04.02 Физика

Уровень образования магистратура

Отделение школы (НОЦ) отделение экспериментальной физики

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2022/2023 учебного года)

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

Обучающийся:

Группа	ФИО
ОБМ11	Кругляков Марк Александрович

Тема работы:

Исследование влияния водорода и термического воздействия на структурно-фазовое состояние и механические свойства титанового сплава

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.09.2022	Аналитический обзор литературы	15
25.12.2022	Изготовление опытных образцов для последующего исследования	15
05.02.2022	Экспериментальное исследование структурно-фазового состояния и механических свойств Ti-6Al-4V	20
30.04.2023	Сравнительный анализ результатов	15
01.05.2023	Социальная ответственность	15
01.05.2023	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
25.05.2023	Заключение	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ ТПУ	Степанова Е.Н.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП/ОПОП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры	Лидер А.М.	д.т.н., профессор		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ11	Кругляков Марк Александрович		

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертационная работа 115 страниц, 22 рисунка, 31 таблица, 50 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: титановые сплавы, Ti-6Al-4V, электронно-лучевое сплавление, водород, структурно-фазовый анализ, механические свойства.

Объектом исследования является двухфазный титановый сплав Ti-6Al-4V, полученный методом электронно-лучевого сплавления (ЭЛС).

Целью данной работы являлось изучение закономерностей влияния дополнительной термической и водородной обработки двухфазного титанового сплава Ti-6Al-4V, полученного методом электронно-лучевого сплавления (ЭЛС), на его структурно-фазовое состояние и механические свойства. Испытания на одноосное растяжение при комнатной температуре показали, что с увеличением концентрации водорода до 0,2 масс. % в сплаве наблюдается рост пластических характеристик при сохранении прочностных. В результате испытаний при повышенных температурах было установлено, что при температуре 450°C гидриды начинают растворяться в твердом растворе, тем самым приводя к пластификации сплава, а при 600°C наблюдается частичная дегазация водорода, ухудшающая пластические характеристики.

Область применения: авиационная промышленность; изменение механических свойств титановых сплавов в условиях эксплуатации при повышенных температурах.

Экономическая эффективность/значимость работы технология является экономичной, энергоэффективной и экологичной, имеет маленький срок готовых результатов при проведении научного исследования.

Оглавление

Введение.....	11
Глава 1. Литературный обзор.....	13
1.1. Аддитивное производство. Метод электронно-лучевого сплавления (ЭЛС)	13
1.2. Перспективы получения и эксплуатация сплава Ti-6Al-4V, полученного методами АТ.....	15
1.3. Влияние водородного воздействия на структуру и механические свойства двухфазного Ti-6Al-4V.....	18
1.4. Модификация поверхности сплава Ti-6Al-4V с целью улучшения устойчивости к водородному воздействию.....	24
1.5. Управление механизмами изменения микроструктуры сплава Ti-6Al-4V путем термоводородной обработки	29
Вывод по главе	31
Глава 2. Материал и методы исследования.....	32
2.1. Исследуемый материал.....	32
2.2. Подготовка образцов: шлифование, электрохимическая полировка	32
2.4. Исследование структуры сплава Ti-6Al-4V методом рентгеновской дифракции.....	33
2.5. Измерение микротвердости методом Виккерса	33
2.6. Испытания на одноосное растяжение.....	34
2.7. Насыщение водородом.	35
2.8. Измерение концентрации водорода	36
Глава 3. Результаты экспериментальной работы.....	38
3.1. Сравнительные исследования структурно-фазового состояния ЭЛС- сплава Ti-6Al-4V в различных структурных состояниях	38
3.2. Сравнительные исследования механических свойств ЭЛС-сплава Ti-6Al- 4V в различных структурных состояниях	40

3.2.1. Результаты испытаний на одноосное растяжение при повышении температуры эксперимента в диапазоне температур 25°C - 600°C.....	40
Результаты и выводы	48
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	51
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	52
4.2 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.	53
4.3 Планирование научно-технического исследования	58
4.4 Бюджет научного исследования.....	65
4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	65
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	70
Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	72
Глава 5. Социальная ответственность.....	76
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	76
5.2 Производственная безопасность	77
5.3 Экологическая безопасность.....	86
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	87
Выводы по главе «Социальная ответственность»	89
Заключение	90
Список литературы	93
Приложение А	99
1.1. Prospects for the production and operation of the Ti-6Al-4V alloy obtained by AT methods.....	100
1.2. Influence of hydrogen action on the structure and mechanical properties of two-phase Ti-6Al-4V.....	102

1.4. Controlling the Mechanisms of Changing the Microstructure of the Ti-6Al-4V Alloy by Thermal Hydrogen Treatment	113
Conclusion of the chapter.....	114

Введение

Сплавы на основе титана являются распространенным и востребованным материалом во многих сферах науки и производства, в качестве основных областей применения принято выделять медицину, атомную энергетику, авиа- и машиностроение. Одним из самых распространенных в использовании представителей данного класса сплавов является двухфазный сплав Ti-6Al-4V, получивший широкое применение за счет компромиссного сочетания прочностных и пластических характеристик, а также высокой коррозионной стойкости. Вместе с развитием технологий возникает и потребность получения и использования титановых сплавов для изготовления изделий более сложной формы, лучшими прочностными и пластическими характеристиками, а также в некоторых случаях, характеризующихся наличием градиентной структуры [1-3].

В связи с необходимостью производства сплавов на основе титана, промышленность по изготовлению данных материалов начала стремительно набирать обороты, начали появляться новые методы производства сложных конструкционных материалов. Аддитивное производство (АП) – один из таких методов. Под АП принято понимать процесс изготовления деталей путем послойного соединения различных материалов без изменения его геометрии. Кроме того, АП предоставляет возможность изготовления деталей различного размера с высокой точностью, сложной внутренней структурой и сложной внешней формой [4].

Как и любые конструкционные материалы, титановые сплавы в процессе эксплуатации подвергается пагубному воздействию агрессивных сред. В данной работе будут рассмотрены особенности воздействия водорода на выше представленный класс сплавов. На свойства титановых сплавов существенное влияние оказывают процессы поглощения, накопления и распределения водорода, которые в свою очередь зависят от микроструктуры материала, наличия дефектов, элементного и фазового состава [5].

Внедрение в производство изделий из титана более сложной формы с новыми свойствами приводит к необходимости исследований процессов взаимодействия водорода со сплавами, изготовленными в том числе и с помощью аддитивных технологий. В частности, одним из таких перспективных направлений является испытание аддитивно изготовленных сплавов при повышенных температурах, которые уже подвергались или будут в дальнейшем подвержены водородному воздействию. Кроме того, актуальным направлением является исследование особенностей и выявление закономерностей влияния термоводородной обработки на структурно-фазовый состав и механические свойства титановых сплавов, полученных методами АП. В таком случае стоит отметить и высокую актуальность проведения выше представленных исследований одного из самых распространенных в использовании представителей класса титановых сплавов – двухфазного сплава Ti-6Al-4V.

Целью данной работы являлось изучение закономерностей влияния дополнительной термической и водородной обработки двухфазного титанового сплава Ti-6Al-4V, полученного методом электронно-лучевого сплавления (ЭЛС), на его структурно-фазовое состояние и механические свойства. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Насыщение водородом образцов исследуемого материала до различных концентраций (0,1 и 0,2 масс. %);
2. Исследование структурно-фазового состояния методами сканирующей электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа;
3. Измерение микротвердости образца из сплава Ti-6Al-4V методом Виккерса.
4. Исследование механических свойств образца из сплава Ti-6Al-4V методом одноосного растяжения.

Глава 1. Литературный обзор

1.1. Аддитивные технологии. Метод электронно-лучевого сплавления (ЭЛС)

Аддитивное производство представляет собой изготовление изделий в результате поэтапного наслоения необходимого материала на платформу. В основе аддитивных методов производства лежит создание изделий с нуля из имеющегося расходного материала, а не извлечения изделий требуемой формы и размера из предварительно изготовленной болванки. Кроме того, АП позволяет уменьшить длительность производства различных изделий в несколько раз. Нельзя не отметить также и возможность изготовления деталей сложной формы, например, лопаток газотурбинных двигателей, кронштейнов и различных крепежных элементов, на изготовление которых традиционными методами уходит несколько десятков часов по причине наличия этапов промежуточной обработки. В некоторых случаях традиционное производство и вовсе не позволяет получать детали и изделия сложной формы. Например, если требуется изготовление биосовместимых костных протезов различного размера и степени пористости [6]. Кроме того, высокую сложность при изготовлении имеют детали, предназначенные для эксплуатации в авиации и космосе. Долговечность таких деталей имеет малый срок службы, а также скромные объемы производства по сравнению, например, с автомобильной промышленностью. Для космонавтики и авиации характерны длительные и крайне дорогостоящие циклы разработки, оценки и ввода в эксплуатацию новых аппаратов. Фактически требуется в среднем около десяти лет для перехода от состояния концепции до первого полета [7-9].

Одним из главных методов производства деталей и образцов при использовании аддитивных технологий (АТ) выделяют метод электронно-лучевого сплавления (ЭЛС). Данный метод характеризуется повышенной

плотностью и прочностью получаемых изделий за счет непосредственного сплавления слоев между собой, а не плавлению всего материала [10]. Границы слоев трехмерной модели выплавляются электронным пучком на участках взаимодействия с порошками металлов. Процедура сплавления производится в вакуумных камерах с целью избежать внедрения примесей в структуру получаемого изделия, а также чтобы не допустить протекания нежелательных реакций в результате высокотемпературного воздействия. Кроме того, особенности метода ЭЛС предоставляют возможность контролировать скорость и степень проплавки материала в широком температурном диапазоне. Такой результат достигается использованием в методе независимого источника излучения, что и предоставляет возможность варьировать время нахождения материала в необходимой агрегатной фазе. Применение независимого источника также предоставляет возможность удалять включения низкой и высокой плотностей с высокой степенью эффективности [11-14]. На рисунке 1.1 наглядно представлена принципиальная схема 3D печати методом ЭЛС [15].

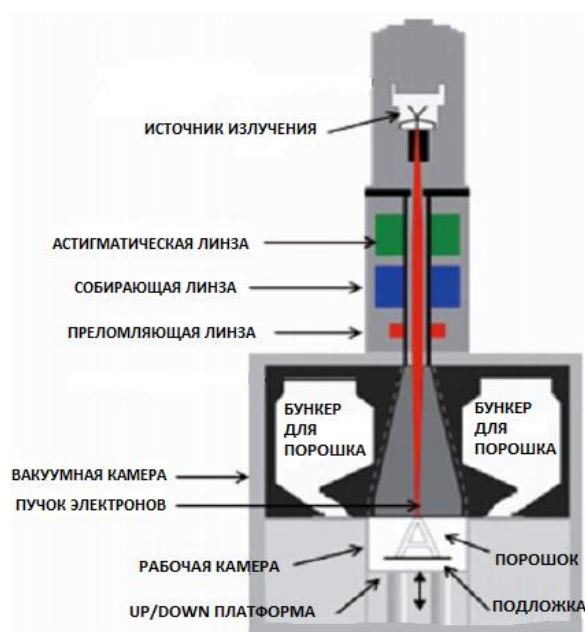


Рисунок 1.1 – Принципиальная схема 3D печати методом ЭЛС [15]

Выделим основные технологические этапы осуществления данного метода. Электронный пучок достигает скорости порядка половины скорости света, контроль над которым осуществляется системой специальных оптических линз. Сначала оптическая система формирует пучок электронов необходимого оператору диаметра, а затем направляет луч на подложку в нужную точку. Далее оператором в специализированном программном пакете задается траектория движения пучка. Электронный пучок осуществляет сплавление порошка на подложке в вакуумной камере согласно заданным параметрам. По окончании обработки одного слоя, вертикально перемещающаяся платформа меняет свое положение, и электронный пучок начинает обработку следующего слоя порошка, подающегося на подложку. Процесс повторяется до тех пор, пока не будет получено заданное в программе оператором изделие [15-17].

1.2. Перспективы получения и эксплуатация сплава Ti-6Al-4V, полученного методами АТ.

Титановые сплавы вне зависимости от своего состава подчиняются общей классификации, их принято подразделять на: α -, ($\alpha + \beta$) и β -сплавы. Эти обозначения введены по причине фазовых превращений внутри кристаллической решетки – полиморфное превращение при определенной температуре (порядка 882°C), ниже данной температуры – α -сплавы (ГПУ решетка), выше – β -сплавы (ОЦК). Кроме того, широко применяется получение ($\alpha + \beta$) сплавов путем легирования соответствующими α/β -стабилизаторами.

Одним из самых распространенных сплавов является двухфазный Ti-6Al-4V, получивший широкое применение за счет компромиссного сочетания прочностных и пластических характеристик, а также высокой коррозионной стойкости. Вместе с развитием технологий возникает и потребность получения и использования титановых сплавов для

изготовления изделий более сложной формы, лучшими прочностными и пластическими характеристиками, а также в некоторых случаях, характеризующихся наличием градиентной структуры. На рисунке 1.2 представлена фазовая диаграмма переходов сплава Ti-6Al-4V, где Ms – граница раздела фаз.

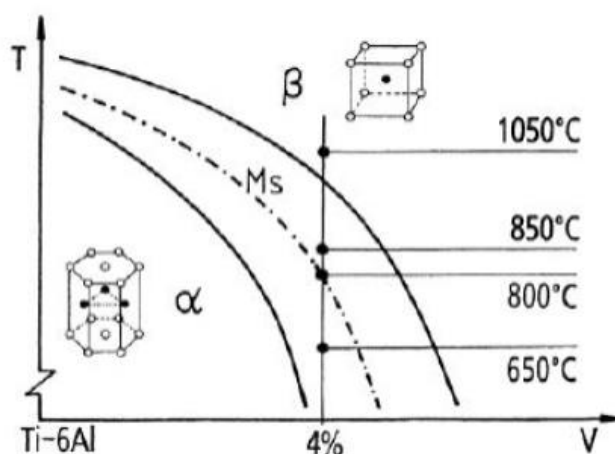


Рисунок 1.2 – Диаграмма фазовых переходов сплава Ti-6Al-4V [18]

Двухфазные титановые сплавы характеризуются способностью выдерживать нагрузки под высоким давлением, а также обладают высокой прочностью в условиях эксплуатации при комнатной температуре. Сплав Ti-6Al-4V нашел широкое применение в аэрокосмической промышленности в качестве крепежных элементов, а также материала для изготовления лопастей реактивных двигателей [19].

В областях применения Ti-6Al-4V важную роль играют механические свойства данного сплава, так, например, в работе [20] было показано, что достижимый предел текучести связан с шириной реек α -фазы, и его зависимость удовлетворяет соотношению Холла-Петча. Все три пластинчатые ($\alpha+\beta$) структуры приводят к общему удлинению до разрыва более 11 %, но микроструктура, содержащая более грубые α -ламели, может приводить к удлинению $12,7 \pm 2,1$ % [20].

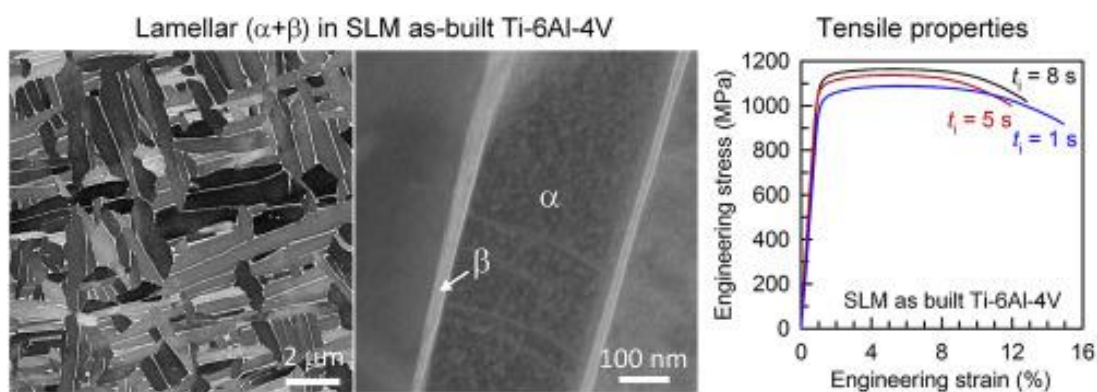


Рисунок 1.3 – Структура и кривые «растяжения-деформации» Ti-6Al-4V (АТ) с пластинчатой ($\alpha+\beta$) микроструктурой образцов, полученных при различных параметрах послойной печати [20].

Следовательно, становится актуальным вопрос получения эффективного и универсального сплава Ti-6Al-4V с еще лучшими свойствами. Данный вопрос можно решить с помощью упомянутых выше методов АТ. Эти методы позволяют получать сплавы с градиентными свойствами по объему изделий, а также более эффективно легировать изделия, а что самое важное, получать детали крайне сложной формы, чего не всегда можно добиться традиционными методами производства. Однако, у методов АТ есть и свои минусы, например, наличие дефектов, вызванных технологическим процессом, таких как пустоты, трещины и нерасплавленные частицы, влияние на механические свойства АТ-деталей [21]. В частности, данные факторы влияют и на использование и применение сплава при условиях водородного воздействия.

Среди наиболее подверженных водородному охрупчиванию принято выделять в том числе и сплавы на основе титана. Как следствие возникает актуальность изучения возможностей получения более невосприимчивых к водородному охрупчиванию сплавов на основе титана. Однако, прежде чем предпринимать попытки синтеза таких материалов необходимо ознакомиться с особенностями взаимодействия водорода с данными сплавами; изучить влияние водорода на фазовый состав и механические свойства сплава Ti-6Al-4V.

1.3. Влияние водородного воздействия на структуру и механические свойства двухфазного сплава Ti-6Al-4V.

Прежде чем переходить к исследованиям, посвященным изучению механических свойств исследуемого сплава, стоит уделить внимание характерным данным структурно-фазового анализа данного материала. Сделаем это на примере работы [22], где было показано, что поглощение водорода вызывает образование гидроида, деформацию решетки и другие кристаллографические изменения. Чтобы отслеживать эти изменения и лучше их понимать, была разработана установка для насыщения образцов водородом в области дифракции рентгеновских лучей с использованием высокоэнергетического синхротронного рентгеновского источника. На рисунке 1.4 представлены принципиальная схема установки электрохимического насыщения образцов водородом и дифрактограмма сплава Ti6Al4V, полученные при измерениях *in situ* в процессе наводороживания.

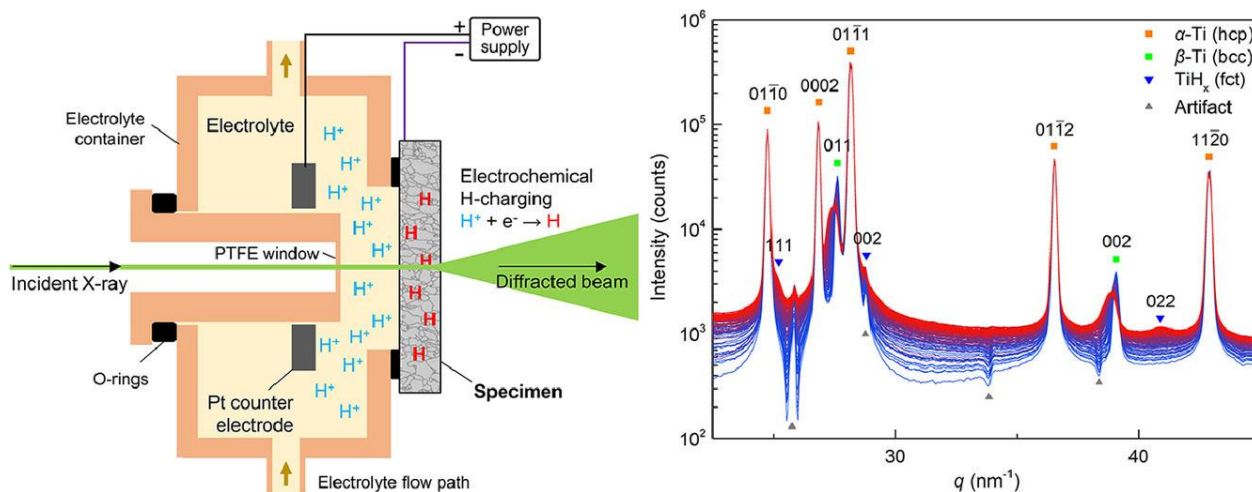


Рисунок –1.4 Принципиальная схема установки электрохимического насыщения образцов водородом; дифрактограмма сплава Ti6Al4V, полученные при измерениях *in situ* в процессе наводороживания [22]

В результате анализа наблюдалось анизотропное расширение решетки при диффузии в нее водорода, а также развитие микродеформаций, вызванное образованием гидридов в обеих фазах сплава. Была определена гидридная фаза и кристаллографически описана ее ориентационная взаимосвязь с соседними фазами, используя анализ дифракции обратно рассеянных электронов [22].

В работе [23] было исследовано насыщение исследуемого титанового сплава в интервале температур 450–700°C. Целью исследования являлось определение характеристик поглощения водорода, а также кинетики данного процесса. Результаты показали, что при повышении температуры изометрического гидрирования содержание водорода в исследуемых образцах уменьшается, а время достижения равновесия реакции сокращается. Кроме того, механизм кинетики поглощения водорода различен при разных температурах. Инкубационный период был достигнут на начальной стадии поглощения водорода ниже 550°C [23].

В работе [24] исследуемый титановый $\alpha + \beta$ сплав Ti-6Al-4V, полученный литьем, был подвержен термоводородному воздействию до достижения 0,1, 0,3 и 0,5 масс. % водорода, далее Ti-6Al-4V-0.1H, Ti-6Al-4V-0.3H и Ti-6Al-4V-0.5H, соответственно; было рассмотрено влияние гидрирования на микроструктуру и механические свойства исследуемого титанового сплава. Результаты исследования показали, что водород является стабилизатором β -фазы сплава Ti-6Al-4V, что в свою очередь приводит к образованию α -мартенситной фазы, а также возникновению δ -гидридной фазы. Кроме того, установлено, что механические свойства наводороженного титанового сплава ухудшались с увеличением содержания водорода в исследуемом материале. Также был определен механизм водородной модификации микроструктуры и механических свойств сплава. В работе [24] было установлено, что механизм изменения механических свойств наводороженного титанового сплава тесно связан с изменением микроструктуры в процессе осуществления цикла «гидрирование-

дегидрирование». Влияние водорода на микроструктуру сплава Ti-6Al-4V схематически показано на рисунке 1.5.

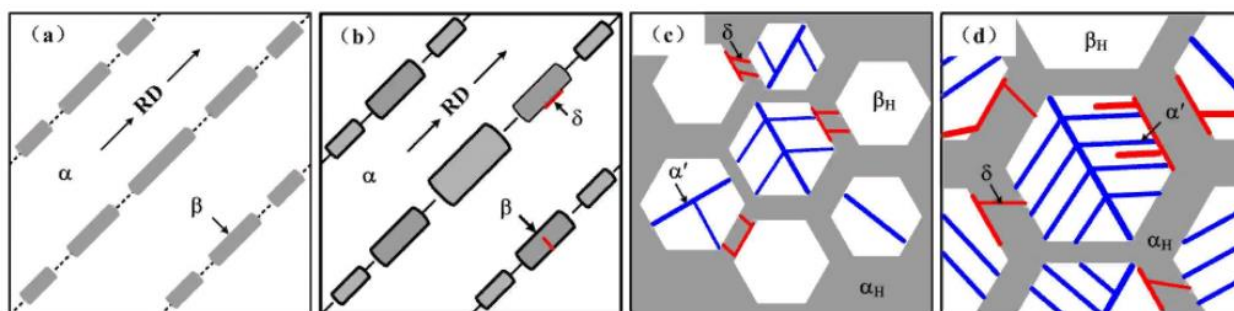


Рисунок 1.5 – Схематическая иллюстрация влияния водорода на изменение микроструктуры в сплаве Ti-6Al-4V в исходном состоянии (a); 0,1 масс. % H (b); 0,3 масс. % H (c); 0,5 масс. % H (d) [24]

В исходном состоянии исследуемый титановый сплав состоит из первичной α -фазы, а также небольшого количества β -фазы. Можно сделать вывод о том, что водород является элементом-стабилизатором β -фазы. Критическая скорость охлаждения для α' -мартенситного превращения снижается; наблюдается образование δ -гидридной фазы с увеличением концентрации водорода от исходного значения до 0,5 масс. %. Микроструктура сплава Ti-6Al-4V-0.1H сопоставима с микроструктурой исходного негидрированного титанового сплава, однако, наблюдается увеличение объемной доли β фазы и выделение гидроксида на границе фазового перехода $\alpha \rightarrow \beta$. С увеличением содержания водорода в материале наблюдается снижение скорости протекания мартенситного превращения. При насыщении до 0,3 масс. % наблюдается мартенситное превращение $\beta_H \rightarrow \alpha'$ при охлаждении до комнатной температуры, при этом δ -гидрид осаждается как в α/β -фазе, так и в α -фазе из-за того, что содержание водорода превышает порог его растворимости в α фазе. При наводороживании до 0,5 масс. % продолжает повышаться вероятность мартенситного превращения, в результате чего в насыщенном водородом сплаве происходит образование

еще большего количества гидридов. Из-за относительно высокого содержания водорода зарождение гидридов происходит не только в α -фазе, но и в β -фазе сплава. Отмечается увеличение области β -фазы сплава с увеличением степени наводороживания, что в свою очередь приводит к снижению твердости исследуемого материала. Дegradaция механических свойств наводороженного сплава Ti-6Al-4V при растяжении вызвана водородным охрупчиванием, в частности зарождением δ -гидридной фазы. Что касается сплава Ti-6Al-4V-0,1H с относительно низким содержанием водорода, то количество гидрида очень мало, т.к. гидрид в материале диспергирован, следовательно, влияние водорода оказывает незначительное влияние на механические свойства сплава при растяжении. В сплавах Ti-6Al-4V-0,3H и Ti-6Al-4V-0,5H водород растворяется в поверхности и объеме образцов и характеризуется большим содержанием δ -гидридной фазы, что в свою очередь и является причиной деградации пластических свойств при испытаниях на одноосное растяжение [24].

Аддитивные технологии в последнее время стали крайне перспективным направлением, что в свою очередь вызвало интерес исследователей к свойствам данных материалов, а также влияния водородного воздействия на динамику изменения последних. Например, в работе [25] производилось исследование фазовых переходов, а также эволюция микроструктуры в ЭЛС-образцах Ti-6Al-4V. Исходная структура представлена пластинами α -фазы с поперечной длиной 0,2 мкм, β -фазой как в виде пластин и глобулярных зерен, так и метастабильными α'' и ω -фазами. Наводороживание до концентрации 0,29 масс. % приводит к образованию интерметаллической фазы Ti_3Al . Размеры пластин интерметаллида Ti_3Al и их объемная доля значительно увеличиваются при возрастании концентрации водорода до 0,58 мас. % с выделением наноразмерных кристаллов δ -гидридной фазы титана. Отдельные пластинчатые участки Ti_3Al распадаются на нанокристаллы при повышении концентрации водорода до 0,9 масс. % и сопровождаются увеличением объемной доли и, соответственно, размеров

гидрид-пластинчатых образований. Твердость сплава Ti-6Al-4V (ЭЛС) уменьшается с увеличением концентрации водорода.

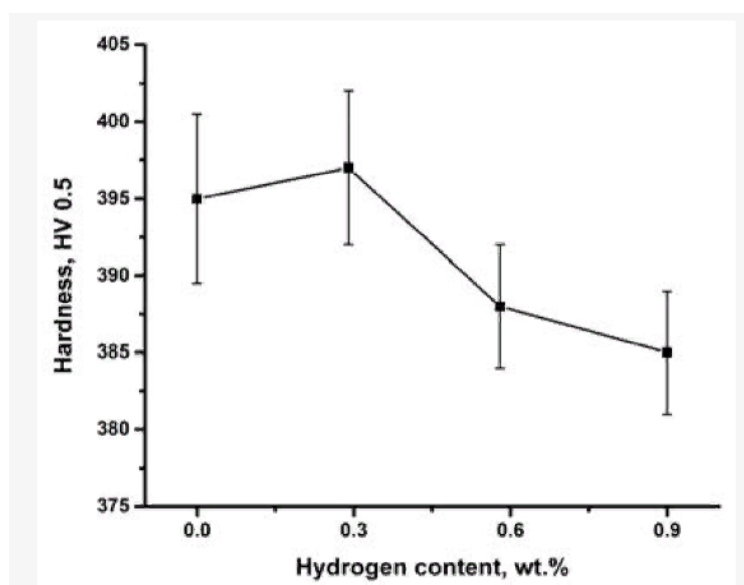


Рисунок 1.6 – Зависимость микротвердости сплава Ti-6Al-4V (ЭЛС) от концентрации водорода [25]

Авторы [25] предположили, что снижение микротвердости обусловлено снятием напряжения и образованием дополнительной δ - и более мягкой β -фазы. Поэтому предполагается, что разупрочнение наводороженных деталей из сплава Ti-6Al-4V (ЭЛС) с увеличением содержания водорода происходит за счет увеличения доли более пластичной β -фазы и выделения гидридов в структуре сплава [25].

В работе [26] проводилось электрохимическое насыщение водородом образцов сплавов Ti-6Al-4V (ЭЛС) и Ti-6Al-4V (кованый) с близким содержанием β -фазы ~6 масс. %. На рисунке 1.7 схематически представлена методика эксперимента, а также приведены снимки микроструктуры исследуемого сплава.

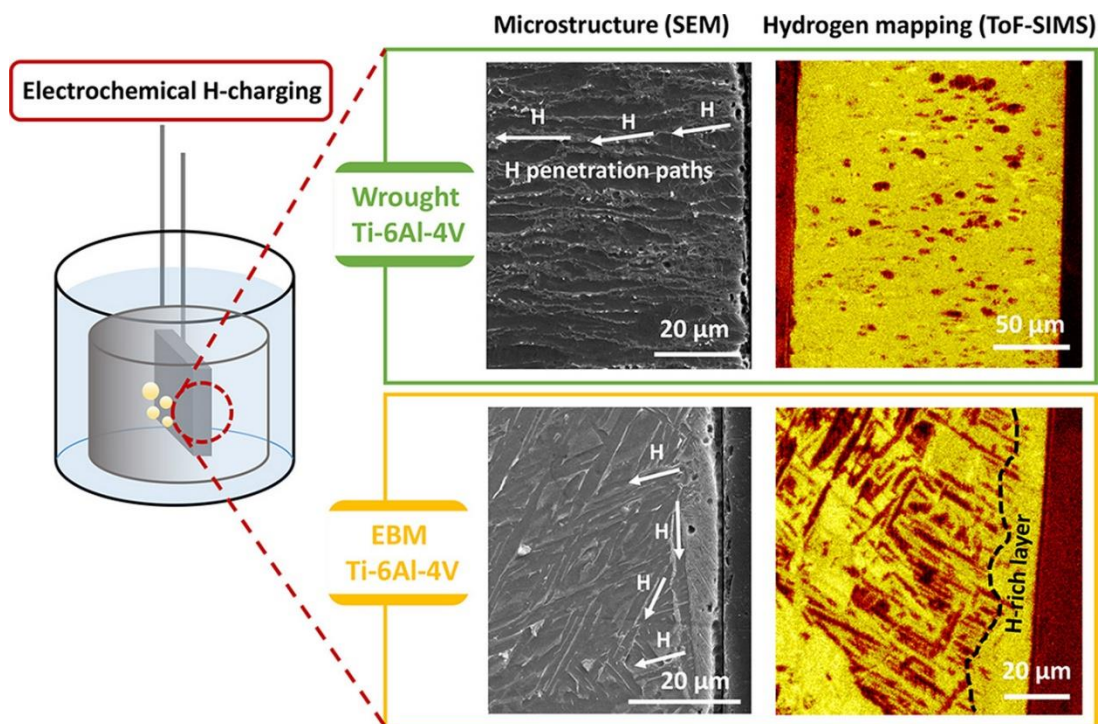


Рисунок 1.7 – Методика электрохимического насыщения водородом и снимки микроструктуры исследуемого сплава, полученного традиционным методом и методом ЭЛС [26].

Результатом наводороживания стало образование микропустот как вблизи поверхности, так и вдоль межфазных границ; наблюдалось их слияние, а также выделению вокруг них микротрещин. Результаты оценки микроструктуры ЭЛС образцов характеризуются прерывистым расположением частиц β -фазы в поперечном направлении, меньшими параметрами решетки β -фазы и большим количеством межфазных границ α/β . На основе чего можно сделать вывод о том, что образцы сплава, полученные методом ЭЛС, являются более восприимчивым к водородному охрупчиванию, чем литые. Однако, предполагается, что последующая обработка, увеличивающая размер β -частиц, может способствовать улучшению устойчивости ЭЛС-образцов к водородному охрупчиванию [26].

1.4. Модификация поверхности сплава Ti-6Al-4V с целью улучшения устойчивости к водородному воздействию

Коротко коснемся вопроса возможной модификации поверхности. В работе [27] был проведен эксперимент по модификации поверхности импульсным ионным пучком (ИИП) образцов Ti-6Al-4V, изготовленных методом ЭЛС. В результате модификации микроструктура характеризовалась содержанием пластин альфа-фазы и игольчатого мартенсита. Далее были исследованы механические свойства образцов методом одноосного растяжения, а также измерения микро- и нанотвердости. Показано, что модификация поверхности ИИП при плотности энергии 1,92 Дж/см² приводит к увеличению микро- и нанотвердости поверхностных слоев, снижению в скорости изнашивания и незначительному повышению пластичности сплава, полученного методом ЭЛС [27].

В качестве подтверждения в работе [27] приводятся данные, полученные после анализа экспериментальных данных, подверженных дальнейшим расчетам. Например, по формуле (1) была рассчитана скорость износа образцов Ti-6Al-4V (ЭЛС).

$$V = 2\pi \frac{RS}{Fl} \quad (1.1)$$

где R – радиус дорожки [мм]; S – площадь поперечного сечения канавки износа [мм²]; F — значение приложенной нагрузки [Н]; l – расстояние до точки отсчета [м]. Результаты расчетов представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Скорость изнашивания (V), микротвердость (H_μ), нанотвердость (H) и модуль Юнга (E) образцов сплава Ti-6Al-4V (ЭЛС) до и после модифицирования ИИП [25].

Образец	V ± 0,05, мм ² /(Н·м)	H _μ ± 0,2, ГПа	H ± 0,1, ГПа	E, ГПа
Исходный	0,88	3,9	4,5	108
ИИП, N = 5	0,72	6,2	5,7	134
ИИП, N = 10	0,76	6,7	4,8	103

Из данных таблицы 1 видно, что облучение образцов импульсным ионным пучком может приводить как к снижению скорости изнашивания (в случае облучения с $N = 5$), так и к увеличению этой величины (в результате экспозиции с $N = 10$) [27].

Кроме того, микротвердость сплава Ti-6Al-4V в исходном состоянии составила 3,9 ГПа. Модификация образцов импульсным ионным пучком приводит к увеличению значений микротвердости: при облучении пятью импульсами до 6,2 ГПа, а при $N = 10$ до 6,7 ГПа [27].

Наличие подобных исследований и результатов, полученных по итогам экспериментов, позволяет сделать предположение о том, что существуют возможности получения конструкционных материалов, полученных методом аддитивных технологий, которые имели бы сопоставимые механические свойства с материалами, полученными традиционным методом.

В работе [28] изучалось взаимодействие высоко- и низколетучего водорода с ЭЛС-сплавом Ti-6Al-4V. Также в рамках исследования была произведена оценка водородного воздействия по сравнению со сплавом, который был изготовлен традиционным способом. Образцы, полученные методом аддитивного производства, испытывают относительно высокие скорости охлаждения и обладают уникальными особенностями микроструктуры, которые в свою очередь влияют на механические свойства материала. Взаимодействие водорода с материалом изучали методами термодесорбционной спектроскопии (ТДС), рентгеноструктурного анализа и микроструктурных наблюдений. Результаты показали, что сплав ЭЛС-сплавы с относительно тонкой микроструктурой обладает лучшей устойчивостью к повреждениям, вызванным водородом, по сравнению со сплавом, изготовленным литьем. В качестве подтверждения представлены данные таблицы 1.2, где представлены экспериментально полученные значения десорбированного водорода для электрохимического и газофазового

наводороживания образцов Ti–6Al–4V (ЭЛС) в зависимости от времени насыщения.

Таблица 1.2 – Количество десорбированного водорода при наводороживании ЭЛС-образцов [28].

Метод насыщения	Скорость нагрева (°С/мин)	К-во десорбированного водорода ±2 (%wt ppm)
Электрохимический	2	130
	4	100
	6	89
Газофазовый	2	1297
	4	1080
	6	888

Общее количество десорбированного водорода измерялось методом ТДС и показало, что после наводороживания на образцах, полученных методом ЭЛС, не наблюдалось трещин, в то время как наводороживание кованного Ti–6Al–4V привело к сильному растрескиванию. Для лучшего понимания механизмов захвата в сплаве данные результаты были сопоставлены с ранее опубликованными работами по изучению кованного Ti–6Al–4V. Было определено, что поглощение водорода ЭЛП-сплава как после электрохимического, так и газофазового наводороживания ниже по сравнению с кованным сплавом. Кроме того, в данной работе было сделано предположение, что более высокое поглощение водорода связано именно с имеющейся β -фазой, которая служит кратчайшим путем транспортировки водорода внутри материала. Поскольку в ЭЛС-сплаве количество β -фазы невелико, этот образец поглощает меньше водорода, чем кованный [28].

Однако, опираясь на работу [29] можно сделать вывод о том, что более простой обработки поверхности сплава Ti–6Al–4V достаточно для повышения устойчивости к водородному охрупчиванию. В данной работе было установлено, что полированные поверхности Ti–6Al–4V подвержены росту гидридов на них и, как следствие, охрупчиванию материала в результате водородного насыщения, в то время как шероховатые поверхности данной

склонностью не характеризуются. Прямой микроскопический анализ рекомбинированного водорода и термодесорбционная спектроскопия (ТДС) показали, что придание шероховатости поверхности способствует рекомбинации атомарного водорода в молекулярный водород, что, в свою очередь, снижает относительное количество поглощения атомарного водорода. В таблице 3 представлены результаты испытаний на одноосное растяжение образцов исследуемого сплава с шероховатой (без полировки) поверхностью (S1; S2) и полированных (S3; S4).

Таблица 1.3 – Механические свойства исследованных образцов [29].

Образец	Предел пропорциональности (МПа)	Предел прочности (МПа)	Деформация до разрушения (%)
Без H ₂	830 ± 20	912 ± 27	15,0 ± 1,2
S1	880 ± 19	963 ± 21	17,8 ± 1,2
S2	820 ± 15	952 ± 70	17,4 ± 2,2
S3	730 ± 80	912 ± 19	2,6 ± 0,2
S4	730 ± 40	961 ± 12	1,8 ± 0,4

Исходя из данных таблицы 1.3 можно сделать вывод о том, что придание шероховатости значительно снижает поглощение водорода исследуемого сплава и повышает его устойчивость к водородному охрупчиванию. Это выражается в снижении предела прочности полированных образцов по сравнению с необработанными, а также уменьшением на порядок значений деформации до разрушения у образцов, подвергнутых полировке перед наводороживанием. В очередной раз отметим, все это является результатом простой механической обработки поверхности [29].

Продолжая тему дополнительной обработки, обратимся к работе [30], где авторы сообщают о том, что диффузия водорода в образцы с осажденным TiN значительно снижается по сравнению с образцами без покрытия. Кроме того, возникает локальная точечная коррозия, которая, в свою очередь, инициирует диффузию водорода в подложку. Результаты испытаний на

одноосное растяжение сообщают о том, что прочностные и пластические свойства исследуемого сплава с осажденным на него TiN имеют значения сопоставимые с теми, которые характерны для Ti-6Al-4V, не подвергавшегося наводороживанию [30].

В работе [31] сообщается, что в результате лазерной резки сплава Ti-6Al-4V с использованием в качестве охлаждения водной струи, на кромке реза образуются новые поверхностные микроструктуры в результате термомеханического воздействия такого гибридного жидкостно-струйного лазерного инструмента на материал. Внедренный водород стабилизирует β -фазу в результате закалки. Данный метод создает возможность формирования β -пленки на поверхности сплава, тем самым улучшая его поверхностные свойства, такие как, ад- и абсорбция. Кроме того, было установлено, что гибридная лазерная струя воды создает термомеханический эффект во время процесса резки, потенциально интересный для применения титановых сплавов, имеющих разрезы, требующие проведения термической активации [31].

1.5. Управление механизмами изменения микроструктуры сплава Ti-6Al-4V путем термоводородной обработки

В работе [32] исследовалось структурное влияние водорода на кратковременную ползучесть титанового ($\alpha+\beta$) сплава Ti-2,9Al-4,5V-4,8Mo. Результаты работы показали, что наводороживание сплава Ti-2,9Al-4,5V-4,8Mo в мелкозернистом (МЗ) и ультрамелкозернистом (УМЗ) состояниях до 0,15 мас. % привело к увеличению установившейся скорости ползучести и уменьшению времени, величины деформации до разрушения. Насыщение водородом сплава до 0,15 мас. % привело к нарушению степенного закона ползучести. С увеличением начального напряжения рост установившейся скорости ползучести исследуемого сплава в обоих состояниях возрастал, а деформация на стадии установившейся ползучести уменьшалась. Полученные результаты могут быть полезны при разработке технологий литья изделий из титановых сплавов [32].

Работа [33] посвящена исследованию параметров термоводородной обработки Ti-6Al-4V, которые позволяли бы индуцировать возникновение в материале микроструктурного градиента. На первом этапе исследования рабочая группа определяла и сравнивала друг с другом пороговый диапазон интенсивности напряжения распространения усталостной трещины и вязкости разрушения для трех различных обработок твердого раствора. Ламеллярная микроструктура показала наличие «разумного баланса» циклической прочности и монотонной пластичности в сочетании с высокой устойчивостью к образованию поверхностных трещин, вызванных водородом. Исходя из этого, путем отжига в атмосфере водорода и последующей водородной дегазации в вакууме устанавливались различные микроструктурные градиенты. Было обнаружено, что действительно возможно создать градиент микроструктуры с глубиной проникновения от 160 мкм до 170 мкм, что в свою очередь приводит к повышению усталостной долговечности по сравнению с однородной микроструктурой. Кроме того,

термоводородная обработка увеличивает твердость образцов на глубине 100 мкм от поверхности на 13-21 %, и на 3-5% на глубине 200 мкм. Желаемый микроструктурный градиент был реализован с помощью двух стратегий водородной обработки: поглощение водорода при 500°C и парциальном давлении водорода 100 мбар и 20 мбар и последующую дегазацию водорода при 750°C [33].

Вывод по главе

Было произведено описание структурно-фазового состояния и механических свойств сплава Ti-6Al-4V в результате водородного воздействия на примере уже реализованных исследований. Было получено представление о характерных особенностях структурно-фазового состояния данного сплава, а также его механических свойств. Был определен характерный для данного сплава механизм проникновения и распространения водорода.

Кроме того, в результате анализа литературных источников было получено представление об ожидаемых результатах при проведении собственных экспериментальных исследований. Были сделаны выводы о характерных параметрах проведения экспериментов по изучению водородного воздействия на сплав Ti-6Al-4V. В частности, были подобраны параметры для проведения экспериментов по насыщению водородом исследуемого сплава с целью дальнейшего изучения водородного воздействия на его механические свойства, а именно температурный диапазон сорбции водорода (500-700 °C), а также скорости нагрева и охлаждения, 6 °C/мин и 1 °C/мин, соответственно.

Глава 2. Материал и методы исследования

2.1. Исследуемый материал

В качестве материала исследования в работе был использован сплав титана Ti-6Al-4V, полученный методом ЭЛС. Образцы были изготовлены на оборудовании ARCAM A2 EBM из порошка титанового сплава Ti-6Al-4V (Ti6Al4V ELI). Средний гранулометрический состав от 50 до 150 мкм. Толщина слоя порошка составляла 70 мкм. На рисунке 2.1 представлено СЭМ-изображение порошка, из которого была осуществлена печать исследуемого сплава Ti-6Al-4V.

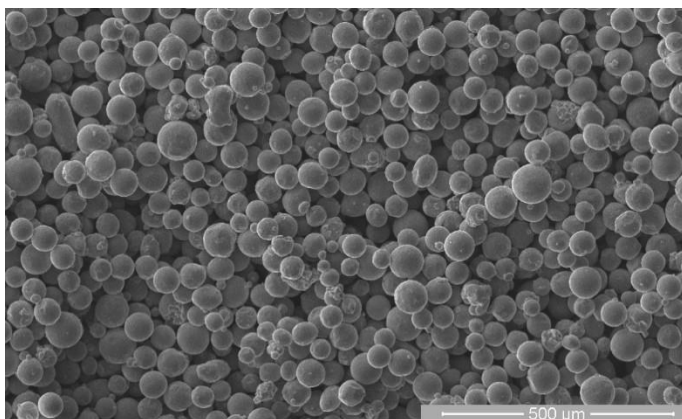


Рисунок 2.1 – Порошок титанового сплава Ti-6Al-4V (Ti6Al4V ELI)

2.2. Подготовка образцов

Образцы для исследований были вырезаны методом электроискровой резки.

Подготовка образца к исследованиям производилась путем шлифования при использовании наждачной бумаги с различным размером зерна (Saphir 320 АТА).

Электрохимическая полировка образцов проводилась с помощью электролита: 80 об. % ледяной уксусной кислоты и 20 об. % хлорной кислоты (напряжение 10 В, время полировки 30 с).

2.4. Исследование структуры сплава Ti-6Al-4V методом рентгеновской дифракции

При определении фазового состава методом рентгеновской дифракции используется дифрактометр XRD-7000S (Shimadzu, Kyoto, Japan). На основе данных, полученных в результате РСА, были рассчитаны параметры решетки для α и β фаз. Для расчета были использованы следующие формулы:

Для ОЦК-решетки (β -фаза):

$$d = \frac{a}{\sqrt{H^2 + K^2 + L^2}} \quad (2.1)$$

Для ГПУ-решетки (α -фаза):

$$d = \frac{a}{\sqrt{\frac{4}{3}(H^2 + HK + K^2) + L^2 \left(\frac{a}{c}\right)^2}} \quad (2.2)$$

Также на основе полученных в результате РСА данных можно рассчитать объемные доли фаз с помощью формул:

$$\frac{J_{\alpha}^{(002)}}{J_{\beta}^{(110)}} = 0,168 \frac{C_{\alpha}}{1 - C_{\alpha}} \quad (2.3)$$

Также можно воспользоваться следующей формулой:

$$\frac{J_{\alpha}^{(101)}}{J_{\beta}^{(110)}} = 0,67 \frac{C_{\alpha}}{1 - C_{\alpha}} \quad (2.4)$$

В данных формулах: J – интегральная интенсивность, C_{α} – объемная доля α -фазы [34, 35].

2.5. Измерение микротвердости методом Виккерса

Микротвердостью называется твердость отдельных участков микроструктуры материала. Для измерения твердости образца необходимо вдавить в него алмазный индентор, затем после определенной нагрузки извлечь индентор из сплава. Вычисление микротвердости производится по формуле (2.5):

$$HV = \frac{2 \cdot F \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{d_1 \cdot d_2} \quad (2.5)$$

Где HV – микротвердость (кг/мм²), α – наклон индентора, F – усилие на инденторе, d_1 и d_2 .

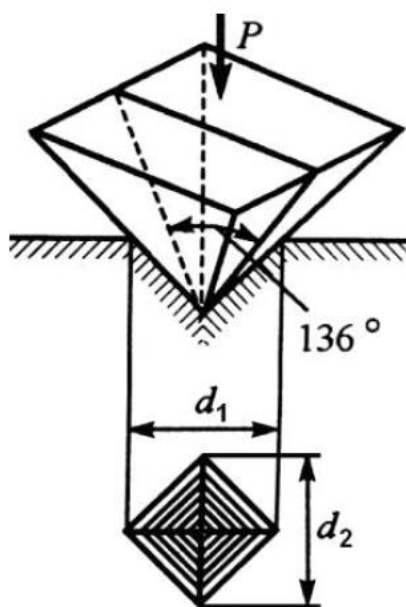


Рисунок 2.2 – Схема исследования образца методом Виккерса на твердость. P – нагрузка на индентор, d_1 и d_2 – диагонали полученного углубления [35]

В данной работе микротвердость образцов была измерена с помощью микротвердомера КВ 30 S. Нагрузка при измерении микротвердости составила 0,5 кг при выдержке 30 с.

2.6. Испытания на одноосное растяжение

Испытания на одноосное растяжение представляют собой деформацию растяжением плоской пластины образца, закрепленной в захватах, и одновременном фиксировании нагрузки и относительного удлинения для последующего анализа данных.

Испытания на одноосное растяжение позволяют определить следующие параметры:

- Предел текучести ($\sigma_{0,2}$),
- Предел прочности (σ_B),
- Величина деформации до начала разупрочнения, (ϵ_B)
- Величина деформации до разрушения (ϵ).

Испытания на растяжение проводились на универсальной испытательной машине ПВ-2013М с начальной скоростью растяжения $6,9 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ в диапазоне температур от 25°C до 600°C . Для растяжения были использованы образцы в форме двойной лопатки (размеры рабочей части $5 \cdot 1,5 \cdot 1 \text{ мм}^3$).

2.7. Насыщение водородом.

Автоматизированный комплекс «Gas Reaction Controller Low Pressure 100» состоит из компьютера с программным обеспечением, контроллера управления, горизонтальной печи для нагрева образцов и камер для образцов: малой и большой. Комплекс позволяет изучать сорбцию/десорбцию газов в автоматическом режиме. Установка позволяет насыщать образцы водородом из газовой среды. Данные о проникновении водорода в образец отслеживаются в режиме реального времени. На рисунке 2.3 наглядно представлена принципиальная схема экспериментальной установки.

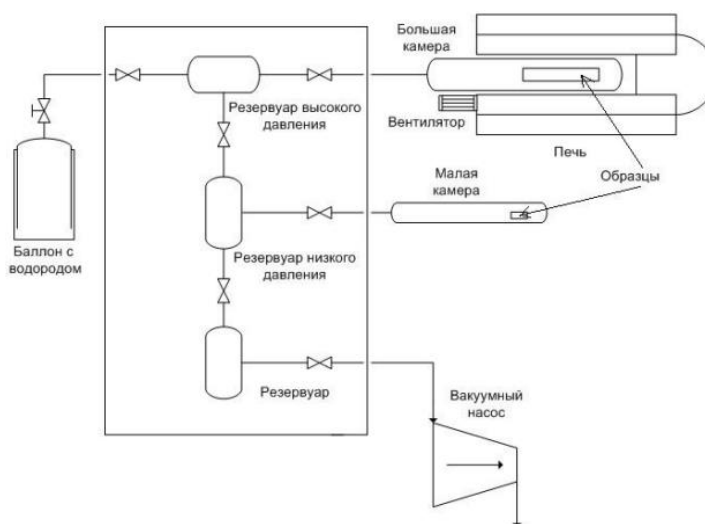


Рисунок 2.3 – Принципиальная схема экспериментальной установки Gas Reaction Controller (GRC)

Установка напускает необходимое количество газа в резервуар. Затем система открывает клапан между резервуаром и реакционной камерой и передает необходимое количество газа в реакционную камеру. После внедрения газа в твердое тело реакция завершается, и система вычисляет общее молярное количество газа в камере с образцом и в резервуаре. Насыщение водородом образцов ЭЛС-сплава Ti-6Al-4V осуществлялось при следующих параметрах эксперимента: температура (T) = 550°C, давление среды водорода (P) = 2 атм, скорость нагрева: 6 °C/мин. С целью получения равномерного распределения водорода в объеме исследуемых образцов между наводороживаниями были произведены промежуточные отжиги на воздухе при температуре 560°C в течение 8 часов.

2.8. Измерение концентрации водорода

Оценка результатов эксперимента по насыщению водородом образцов ЭЛС-сплава Ti-6Al-4V осуществлялась с помощью оборудования LECO RHEN-602. Данная установка - инструмент для определения содержания

водорода в образце методом нагрева или плавления в автономной электродной печи в среде инертного газа.

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

Студенту:

Группа	ФИО
0БМ11	Круглякову Марку Александровичу

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭФ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	03.04.02 «Физика»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Затраты на сырьё, материалы, комплектующие изделия, специальное оборудование, основную и дополнительную заработную платы исполнителей, отчисления на социальные нужды, накладные расходы
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	1. Налоговый кодекс Российской Федерации 2. ФЗ №212 от 24.07.2009 в ред. от 19.12.2016

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала и инновационного потенциала НТИ	Определение потенциальных потребителей результатов исследования, анализ конкурентных технических решений.
2. Разработка устава научно-технического проекта	Планирование этапов разработки программы, определение трудоемкости.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Сравнительный анализ интегральных показателей эффективности, формирование бюджета НТИ
4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчет уравнений эффективности НТИ. Расчет уравнений сравнительной эффективности НТИ.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Матрица SWOT
5. График проведения и бюджет НТИ
6. 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
доцент ОСГН	Маланина Вероника Анатольевна	К.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0БМ11	Кругляков Марк Александрович		

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является оценка коммерческого и инновационного потенциала научно-исследовательской работы, направленной на экспериментальное исследование влияния дополнительной обработки на структурно-фазовое состояние и механические свойства двухфазного титанового сплава Ti-6Al-4V. В связи с этим, были определены ресурсная, финансовая и экономическая эффективность.

Этапы решения задачи:

- провести анализ конкурентных технических решений;
- провести SWOT – анализ;
- предоставить организацию и планирование работ;
- построить диаграмму Ганта;
- провести расчёт материальных затрат, заработных плат, отчисления во внебюджетные фонды, затраты на электроэнергию и амортизационных расходов;
- провести анализ сравнительной эффективности работы.

Научно-исследовательская работа посвящена исследованию влияния дополнительной обработки на структурно-фазовое состояние и механические свойства двухфазного титанового сплава Ti-6Al-4V. В каждой сфере необходимо изготовление материалов менее затратными способами, добиваясь новых свойств и качеств. Особенно это касается материалов сложной формы с возможностью получения градиентных свойств получаемых изделий. Данную проблему позволяют решить методы аддитивного производства (АП), которым и были получены исследуемые образцы титанового сплава Ti-6Al-4V, подвергнутые в ходе данного исследования водородной обработке и многоступенчатому отжигу.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями результатов исследований являются организации в сфере авиастроения, машиностроения и нефтедобывающей промышленности. В каждой сфере необходимо изготовление материалов менее затратными способами, добиваясь новых свойств и качеств. Это означает, что потребители – крупные коммерческие и некоммерческие организации отраслевой принадлежности.

Для определения группы потребителей, которых может заинтересовать результаты данных научных исследований, необходимо провести сегментирование рынка.

Выбранные основные характеристики потребителей сегмента:

Месторасположение – регионы с развитыми отраслями тяжелой промышленности (авиастроение, машиностроение и ядерная энергетика).

Отношение к услуге – готовность внедрять новые технологии в технологический процесс.

Закупочные принципы – компании, проводящие централизованный закуп услуг.

Так как исследования представленных в работе механических свойств для весьма молодого российского рынка аддитивных технологий (АТ) ранее никем не проводилось, результаты будут интересны большинству организаций, вне зависимости от их месторасположения. Проведенные исследования позволяют выявить наиболее подходящих поставщиков напечатанного материала для изготовления конечных изделий, а также получить данные для производства изделий с необходимыми свойствами, что позволит компаниям повысить свою эффективность на интенсивно развивающемся рынке АТ. Карта сегментирования рынка по модификации поверхностей представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Карта сегментирования рынка услуг в области АТ

		Вид услуги		
		3D печать	Испытание на пригодность в условиях эксплуатации	Исследование закономерностей поведения изделий в экстренных ситуациях
Сфера услуг	Машиностроение			
	Авиастроение			
	Космическая Промышленность			
	Нефтедобывающая промышленность			
	ЗАО «Нововет-Пермь»	ПАО «НПО «Сатурн»	ПАО «Авиадвигатель»	

В качестве конкурентных компаний были рассмотрены: ЗАО «Нововет-Пермь», ПАО «НПО «Сатурн», ПАО «Авиадвигатель».

Компания «Нововет-Пермь» производство погружных электроцентробежных насосов для добычи нефти.

ПАО «НПО «Сатурн», ПАО «Авиадвигатель» - разработка газотурбинных технологий и двигателей.

Исходя из карты сегментирования рынка услуг в области АТ, результаты научных исследований можно предоставить в рамках сотрудничества с компаниями из сегмента производства деталей авиастроения и/или космической промышленности, учитывая не высокую конкуренцию.

4.2 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

4.2.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

В связи с необходимостью производства сплавов на основе титана, промышленность по изготовлению данных материалов начала стремительно набирать обороты область производства сложных конструкционных

материалов методами АТ, при помощи которых можно было бы снизить стоимость получения необходимых соединений.

Детальный анализ конструктивного исполнения необходим, т.к. каждый тип конструктивного исполнения имеет свои достоинства и недостатки. Данный анализ производится с применением оценочной карты. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки. Для этого была составлена оценочная карта, таблица 4.2.

Экспертная оценка производится по техническим характеристикам и экономическим показателям по 5 бальной шкале, где 1 – наиболее низкая оценка, а 5 – наиболее сильная. Общий вес всех показателей в сумме должен составлять 1. Б_Ф – высокоинтенсивная модификация внутренней поверхности отверстий пучками ионов азота низкой энергии. Б_{К1} – нанесение защитных покрытий.

Таблица 4.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (исследований)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _Ф	Б _{К1}	К _{КФ}	К _{К1}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Повышение производительности труда пользователя	0.1	4	4	0.4	0.4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.05	4	3	0.2	0.15
3. Помехоустойчивость	0.05	4	2	0.2	0.1
4. Энергоэкономичность	0.05	4	4	0.2	0.2
5. Надежность	0.1	4	3	0.4	0.3
6. Уровень шума	0.05	3	3	0.15	0.15
7. Безопасность	0.01	5	5	0.05	0.05
8. Потребность в ресурсах памяти	0.1	4	4	0.4	0.4
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0.1	5	3	0.5	0.3
10. Простота эксплуатации	0.05	4	4	0.2	0.2
11. Качество интеллектуального интерфейса	0.05	4	4	0.2	0.2
12. Возможность подключения в	0.01	5	5	0.05	0.05

сеть ЭВМ					
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	0.05	4	3	0.2	0.15
2. Уровень проникновения на рынок	0.02	5	5	0.1	0.1
3. Цена	0.03	4	4	0.12	0.12
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0.03	4	4	0.12	0.12
5. Послепродажное обслуживание	0.01	4	4	0.04	0.04
6. Финансирование научной разработки	0.08	4	5	0.32	0.4
7. Срок выхода на рынок	0.05	4	4	0.2	0.2
8. Наличие сертификации разработки	0.01	4	4	0.04	0.04
Итого	1	83	77	4.09	3.67

Исходя из данных таблицы 4.2, конкурентоспособность разработки научного исследования механических свойств изделий из сплава Ti-6Al-4V (Б_Ф) составила 4.09, против 3.67 исследования механических свойств изделий из сплава Ti-6Al-4V (Б_{К1}). Полученные данные свидетельствуют о превосходстве научно-технической разработки (Б_Ф) по критериям: удобство в эксплуатации, помехоустойчивость, надёжность, функциональная мощность и конкурентоспособность продукта. В исследования механических свойств изделий из сплава Ti-6Al-4V (Б_Ф) получить больший объем информации об экспериментальных данных, в отличии от конкурирующего принципа и метода исследования механических свойств изделий (Б_{К1}). Данный метод (Б_Ф) имеет более широкую область применения в промышленности.

4.2.2 SWOT – анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта.

Сильные стороны – это факторы, которые характеризуют конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта.

Указывают на отличительное преимущество проекта или ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции.

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей.

Возможности включают в себя предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

Угроза – это любая нежелательная ситуация, тенденция или изменение в условиях окружающей среды проекта, которая имеет разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем.

SWOT-анализ можно осуществить и представить в виде интерактивной матрицы работы, таблица 4.3, а также результирующих таблиц возможностей и угроз НИР, таблицы 4.4.

Каждый фактор таблицы 4.3 помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» / «-».

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	+	+	0
	B2	+	+	+	-
	B3	-	-	-	0

Таблица 4.4 – SWOT-анализ

	Сильные стороны проекта: С1. Актуальность. С2. Применение современного оборудования. С3. Квалифицированный персонал.	Слабые стороны проекта: Сл1. Высокая стоимость. Сл2. Малый круг потребителей. Сл3. Отсутствие у потенциальных
--	---	--

	С4. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.	потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой. Сл4. Отсутствие прототипа научной разработки.
Возможности: В1. Появление дополнительного спроса на новый продукт. В2. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследованиях. В3. Повышение стоимости конкурентных разработок.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»: 1. Обеспечение условий для создания кадров в области создания пористых структур для медицинского применения. 2. Появление дополнительного спроса и финансирования, обеспеченных актуальностью тематики.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»: 1. Необходимо финансирование на модернизацию, что возможно реализовать в условиях вуза. 2. Расширение круга потребителей путем модернизации системы.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Развитая конкуренция технологий производства. У3. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»: 1. Благодаря возможностям системы своевременному финансированию продвижение на рынок может стать успешным. 2. Повышение конкурентоспособности после модернизации разработки.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»: 1. Относительно высокая стоимость, и ограниченный круг потребителей может вызвать низкий спрос со стороны заказчиков.

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта. Приведённый анализ показал, что технология, находясь на этапе разработки, имеет хорошие шансы на коммерциализацию, с учетом проявляемого интереса партнеров и удачных исследований. При этом если переход разработки в стадию коммерциализации затянется, то возможна потеря спроса на готовую технологию.

4.3 Планирование научно-технического исследования

В данном разделе отражено распределение времени и трудового вклада участников исследовательской работы. Перечень этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, инженер
	3	Проведение патентных исследований	Руководитель, инженер
	4	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Руководитель, инженер
	7	Составление порядка эксперимента, выбор технических режимов	Руководитель, инженер, сотрудник-техник
	8	Изготовление исследуемых образцов	Инженер
	9	Проведение экспериментов	Руководитель, инженер, сотрудник-техник
Теоретические и экспериментальные исследования	10	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, инженер
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, инженер
	12	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, инженер

Данная таблица отображает вклад каждого участника исследовательской работы. Наибольшая часть работы приходится на инженера (магистранта).

4.3.1 Определение трудоемкости выполнения работ

Определяющим фактором выражения основной части стоимости научно-технической разработки являются заработные платы лиц, задействованных в реализации проекта. В связи с этим, наиболее важным моментом является максимально точное определение трудоемкости работ каждого из участников проекта [36].

Для определения трудоёмкости реализации научного исследования выпускной квалификационной работы используется экспертный способ, основным показателем которого является человеко-день [37]. Для расчёта предлагаемого значения трудоёмкости используют следующую формулу

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5}, \quad (4.1)$$

где $t_{ож}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения работы, чел.дн.; t_{min} – минимально возможная трудоёмкость выполнения работы, чел.дн.; t_{max} – максимально возможная трудоёмкость выполнения работы, чел.-дн.

Оценка трудоёмкости выполнения научного исследования для научного руководителя:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot 43 + 2 \cdot 91}{5} = 62.2 \text{ чел.} - \text{дн.}$$

Трудоёмкость выполнения научного исследования для сотрудника – техника:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot 6 + 2 \cdot 18}{5} = 10.8 \text{ чел.} - \text{дн.}$$

Трудоёмкость выполнения научного исследования для инженера:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot 54 + 2 \cdot 117}{5} = 79.2 \text{ чел.} - \text{дн.}$$

Далее определим продолжительность каждого этапа работы в рабочих днях $T_{рд}$:

$$T_{рд} = \frac{t_{ож_i}}{K_{вн}} \cdot K_{д} \quad (4.2)$$

где $T_{рд}$ – продолжительность одного этапа работы, раб.дн.; $K_{вн}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение определенных длительностей, $K_{вн}=1$; $K_{д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ, $K_{д} = 1$.

Произведем длительно работ в рабочих днях.

Расчёт продолжительности работы выполнения научного исследования для научного руководителя:

$$T_{рд} = \frac{t_{ож}}{K_{вн}} \cdot K_{д} = \frac{62.2 \text{ чел.-дн.}}{1} \cdot 1 = 62.2 \text{ раб.дни}$$

Продолжительность работы выполнения научного исследования для сотрудника-техника:

$$T_{рд} = \frac{10.8 \text{ чел.-дн.}}{1} \cdot 1 = 10.8 \text{ раб.дни}$$

Продолжительность работы выполнения научного исследования для инженера:

$$T_{рд} = \frac{79.2 \text{ чел.-дн.}}{1} \cdot 1 = 79.2 \text{ раб.дни}$$

Ленточный график проведения научных работ изображается в форме диаграммы Ганта. Для построения диаграммы необходимо перевести рабочие дни в календарные дни, для чего воспользуемся следующим соотношением:

$$T_{кд} = T_{рд} \cdot T_{к}, \quad (4.3)$$

где $T_{кд}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях; $T_{к}$ – коэффициент календарности, определяющийся выражением 4.4.

$$T_{к} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вд} - T_{пд}}, \quad (4.4)$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году; $T_{вд}$ – количество выходных дней в году; $T_{пд}$ – количество праздничных дней.

Рассчитаем коэффициент календарности для шестидневной рабочей недели по формуле 4.4:

$$T_k = \frac{365}{365-54} = 1.17$$

Построим таблицу по результатам расчётов, в которой укажем трудоёмкости работ, название работы, а также укажем длительность работ в рабочих и календарных днях, таблица 4.6.

Таблица 4.6 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ									Длит. работ в раб. дни Трд			Длит. работ в кален. дни Ткд		
	t _{min} , чел.-дн			t _{max} , чел.-дн			t _{ож} , чел.-дн			НР	СТ	ИН	НР	СТ	ИН
	НР	СТ	ИН	НР	СТ	ИН	НР	СТ	ИН						
Составление и утверждение технического задания	2	-	-	4	-	-	2.8	-	-	2.8	-	-	3.3	-	-
Подбор и изучение материалов по теме	10	-	10	21	-	30	14.4	-	18	14.4	-	18	16.8	-	21.1
Проведение патентных исследований	5	-	7	8	-	15	6.2	-	10.2	6.2	-	10.2	7.3	-	12.0
Выбор направления исследований	3	-	5	4	-	7	3.4	-	5.8	3.4	-	5.8	4.0	-	6.8
Календарное планирование работ по теме	2	-	3	3	-	4	2.4	-	3.4	2.4	-	3.4	2.8	-	4.0
Проведение теоретических расчетов и обоснований	4	-	7	6	-	10	4.8	-	8.2	4.8	-	8.2	5.6	-	9.6
Составление порядка эксперимента, выбор технических режимов	1	1	2	3	3	4	1.8	1.8	2.8	1.8	1.8	2.8	2.1	1.8	3.3
Изготовление исследуемых образцов	-	-	2	-	-	3	-	-	2.4	-	-	2.4	-	-	2.8
Проведение экспериментов	5	5	5	15	15	15	9	9	9	9	9	9	10.5	9	10.5
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	5	-	7	10	-	12	7	-	9	7	-	9	8.2	-	10.5
Оценка эффективности полученных результатов	3	-	3	10	-	10	5.8	-	5.8	5.8	-	5.8	6.7	-	6.7
Определение целесообразности проведения ОКР	3	-	3	7	-	7	4.6	-	4.6	4.6	-	4.6	5.4	-	5.3
Итого	43	6	54	91	18	117	62.2	10.8	79.2	62.2	10.8	79.2	72.8	10.8	92.7

На основе таблицы 4.6, построен календарный план-график исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта, с разбивкой по месяцам и декадам. График строится для максимального по длительности исполнения работ. Отмечены области в зависимости от исполнителей, ответственных за конкретную работу, таблица 4.7.

Таблица 4.7 – Календарный план-график (график Ганта) проведения НИОКР

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ														
				январь	февраль			март			апрель			май			июнь	
				3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы	4															
2	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель	21															
		Инженер	30															
3	Проведение патентных исследований	Руководитель	8															
		Инженер	15															
4	Выбор направления исследований	Руководитель	4															
		Инженер	7															
5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	3															
		Инженер	4															
6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Руководитель	6															
		Инженер	10															
7	Составление порядка эксперимента, выбор технических режимов	Руководитель	3															
		Инженер	4															
		Сотрудник-техник	3															
8	Изготовление исследуемых образцов	Инженер	3															

Продолжение таблицы 4.7

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т _{кп} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ															
				январь	февраль			март			апрель			май			июнь		
				3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
9	Проведение экспериментов	Руководитель	15																
		Инженер	15																
		Сотрудник-техник	15																
10	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель	10																
		Инженер	12																
11	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	10																
		Инженер	10																
12	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель	7																
		Инженер	7																

где красным цветом обозначен руководитель темы, зеленым инженер (магистрант), желтым сотрудник-техник.

Таким образом, в ходе данного этапа работы были определены длительности и обозначены сроки выполнения всех запланированных видов работ. Была построена диаграмма Ганта, наглядно демонстрирующая этапы выполнения проекта участниками.

В результате выполнения подраздела был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей, а также рассчитано количество дней, в течение которых работал каждый из исполнителей.

4.4 Бюджет научного исследования

4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчёт материальных затрат включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта, таблица 4.8.

Таблица 4.8 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Порошок (Ti-6Al-4V) для печати образцов	кг	1	5500	5500
Держатель образцов	шт.	1	1500	1500
Спирт	100 мл	2	45	90
Абразивная бумага для шлифовки	Диаметр 300 мм	20	50	1000
Халат	М	1	500	500
Набор лабораторных инструментов	Малый	1	1000	1499.5
Чашка Петри	80x17	1	400	400
Всего за материалы				10489,5

По полученным данным, наибольшие расходы приходятся на порошок для печати образцов.

4.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В рамках выполнения исследования использовалось имеющееся в собственности ИФПМ СО РАН оборудование, и закупка дополнительного специального оборудования не производилась. В таком случае затраты на специальное оборудование отсутствуют. Однако в ходе эксплуатации оборудования средства были затрачены в соответствии с амортизационными отчислениями. Расчет амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов.

$$H_A = \frac{1}{n} = 0,1, \quad (5.6)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет

Амортизация:

$$A_M = \sum \frac{I \cdot H_A}{12} = 19507 \text{рублей}$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; – время использования, мес. M

Таблица 4.9 – Амортизационные расходы

№	Наименование оборудования	Ст-ть, руб.	Срок полезного исп., лет	Нл, %	Время исп., мес.	Амортизационные расходы, руб
2	Дифрактометр Shimadzu XRD-7000	740000	7	14	1	8757
3	Микротвердомер KB30S	145000	10	10	2	2417
4	Оптический микроскоп Quanta 200 3D	500000	10	10	2	8333
Итого:						19507

4.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Для вычисления основной заработной платы необходимо учесть научных и инженерно-технических работников, участвующих в выполнении выпускной квалификационной работы (включая премии и доплаты)

Основная заработная плата работников вычисляется по формуле:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (4.6)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20% от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата руководителя:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (4.7)$$

где T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работникам, раб. дн.; $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывалась по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d} \quad (4.8)$$

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. дн.

В таблице 4.10 представлен годовой баланс рабочего времени для 6-дневной рабочей недели.

Таблица 4.10 – Баланс рабочего времени (для 6-дневной недели)

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер	Техник
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней			
- выходные дни	67	67	67
- праздничные дни	14	14	14
Потери рабочего времени			
- отпуск	56	28	28
- невыходы по болезни	1	1	1
Действительный годовой фонд рабочего времени	227	255	255

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле:

$$Z_M = Z_{ТС} \cdot k_p, \quad (9)$$

где $Z_{ТС}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для г. Томска). Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Расчёт основной заработной платы

Исполнитель	$Z_{ТС}$, руб.	Z_M , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	26500	34450	1419.45	62.2	88289.79
Сотрудник-техник	16500	26514,3	883.81	10.8	9545.15
Инженер	16500	26514,3	883.81	33.19	29334.1
Итого					127168.1

В таблице 4.11 представлены данные по затратам на заработную плату сотрудников за весь период ВКР.

4.4.4 Дополнительная заработная плата

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (4.9)$$

где, $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0.12-0.15).

Дополнительная заработная плата руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = 0.13 \cdot 88289.79 = 11477.67 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата сотрудника-техника:

$$Z_{\text{доп}} = 0.13 \cdot 9545.15 = 1240.87 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата инженера (магистранта):

$$Z_{\text{доп}} = 0.13 \cdot 29334.1 = 3813.43 \text{ руб.}$$

Суммарная дополнительная заработная плата равна 16532.09 рублей.

4.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются 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.

Ставка отчислений во внебюджетные фонды для учреждений, осуществляющих научную и образовательную деятельность, на 2023 год составляет 30% (ПФ – 22%, ФФОМС – 5.1%, ФСС – 2.9%)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб.} = k_{внеб.} \cdot (Z_{осн.} + Z_{доп.}) \quad (10)$$

где: $k_{внеб.}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Расчет отчислений во внебюджетные фонды:

$$Z_{внеб.} = (10483464 + 136285) \cdot 0.3 \approx 3553894 \text{ руб.}$$

4.4.6 Расчет затрат на научные и производственные командировки и накладные расходы

При проведении научно-исследовательской работы в научных и производственных командировках не было необходимости.

4.4.7 Расчет затрат на электроэнергию

Потребляемая мощность анализатора составляет 7 кВт/час. Длительность еженедельной работы на комплексной технологической установке составляет 2 часа. Стоимость электроэнергии в Томске составляет 5.748 рубля за 1 кВт/час. Стоимость электропотребления за 5 месяцев рассчитывается по формуле:

$$C_{эл.об.} = P_{об.} \cdot Ц_{э} \cdot t_{об.}, \quad (4.11)$$

где $P_{об.}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт; $Ц_{э}$ – тариф на 1 кВт·час; $t_{об.}$ – время работы оборудования, час.

Затраты на электроэнергию для технологических целей приведены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Время работы оборудования	Потребляемая мощность $P_{об.}$, кВт	Затраты $C_{эл.об.}$, руб.
Персональный компьютер	646	0.3	1113.96
Комплексная технологическая установка	40	7	1609.44
Итого			2723.4

4.4.8 Формирование бюджета затрат НИИ

Расчет бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Удельный вес, %
Материальные затраты НИИ	10489,5	5,68
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	19507	10,45
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	104834,64	56,14
Затраты на дополнительной заработной плате исполнителей темы	13628,5	7,3
Отчисления во внебюджетные фонды	35538,94	19,03
Затраты на научные и производственные командировки	-	0
Накладные расходы	2732,4	1,47
Итого: бюджет затрат НИИ	186731	100

4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчёта интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат двух (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчёта, с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по следующей формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.12)$$

где Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта; $I_{\text{финр}}$ – интегральный финансовый показатель разработки.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.13)$$

В таблице 4.14 представлена сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта. Данный проект сравнивается с методикой качественного анализа материалов, заложенной в программе как базовая.

Таблица 4.14 – Сравнительная оценка характеристик

Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Разработка	Базовая методика
Способствует росту производительности труда	0.25	5	5
Соответствует требованиям потребителей	0.15	4	4
Энергосбережение	0.2	4	3
Надежность	0.2	4	4
Материалоемкость	0.2	5	4
Итого I_{pi}		4.45	4.25

Характеристики имеют схожие критерии, так как методики реализованы для одного прибора. Каждая из представленных методик реализована для определённой задачи.

Пример расчёта интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_p = \frac{I_{pp}}{I_{\text{финр}}^p} = \frac{0.25 \cdot 5 + 0.15 \cdot 4 + 0.2 \cdot 4 + 0.2 \cdot 4 + 0.2 \cdot 5}{1} = 4.45$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по следующей формуле:

$$I_{исп} = \frac{I_{Рi}}{I_{ФИНР}}, \quad (4.14)$$

Сравнительная эффективность проекта определяется по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{д.п.}}{I_{исп}}, \quad (4.15)$$

В таблице 4.15 представлена сравнительная эффективность данного проекта с базовой методикой качественного анализа материалов.

Таблица 4.15 – Сравнительная эффективность

Показатели	Разработка	Базовая методика
Интегральный финансовый показатель	1	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности	4.45	4.25
Интегральный показатель эффективности	4.45	4.25
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1.05	0.95

Как видно из таблицы 4.15, разработанная методика эффективнее базовой. Традиционная оценка экономической эффективности полученных результатов невозможны, т.к. они носят чисто научный характер.

Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент» был проведен анализ конкурентоспособности изучения закономерностей влияния дополнительной термической и водородной обработки двухфазного титанового сплава Ti-6Al-4V, полученного методом электронно-лучевого

сплавления (ЭЛС), на его структурно фазовое состояние и механические свойства. Проведённый SWOT-анализ проекта, раскрыл сильные и слабые стороны, выявил риски, а также определил возможности для улучшения. Установлено, что в календарных днях длительность работ для научного руководителя составило 72.8 дней, для сотрудника-техника 10.8, а для инженера 33.2 дней. На основе временных показателей по каждой из произведенных работ был построен календарный план-график Ганта, по которому можно увидеть, что самая продолжительная по времени работа – подбор и изучение материалов. Бюджет затрат научно-технического исследования составил 186731 рубль. Наибольшая статья расходов приходится на Затраты по основной заработной плате исполнителей темы (56.14%). На втором месте затраты на Отчисления во внебюджетные фонды (19.03%). Определены показатели ресурсоэффективности, интегральный финансовый показатель, интегральный показатель эффективности и сравнительная эффективность вариантов исполнения, значения которых свидетельствуют о достаточно высокой эффективности реализации технического проекта.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа ОБМ11		ФИО Круглякову Марку Александровичу	
Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение (НОЦ)	ОЭФ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	03.04.02 Физика конденсированного состояния

Тема ВКР:

Исследование влияния водорода и термического воздействия на структурно-фазовое состояние и механические свойства титанового сплава

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования:</i> титановый сплав Ti-6Al-4V. <i>Область применения:</i> аэрокосмическая промышленность, машиностроение. <i>Рабочая зона:</i> лаборатория <i>Размеры помещения:</i> 35 м². <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> Gas Reaction Controller, LECO Rhen-602, ПВ-2013М, КВ 30S, Quanta 200 3D; Shimadzu XRD 7000. <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> пробоподготовка образцов, осуществление дополнительной обработки образцов, исследование структурно-фазового состояния и механических свойств</p>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. ПНД Ф 12.13.1-03. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях. Федеральный закон N 426-ФЗ “О специальной оценке условий труда.” от 28 декабря 2013 г., с изменениями от 28 декабря 2022 года.</p>
<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	<p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Опасность поражения электрическим током; 2. Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, вызывающих риск получения ожогов; 3. Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов <p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Отклонение показателей микроклимата; 2. Отсутствие или недостаток необходимого естественного и искусственного освещения; 3. Повышенный уровень шума; <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: использование защитных костюмов, перчатки,</p>

	<p>виброизолирующая обувь, беруши, наушники. Расчет: расчет системы искусственного освещения</p>
<p>3. Экологическая безопасность <u>при эксплуатации</u></p>	<p>Воздействие на селитебную зону: наличие промышленных отходов (вторцвет- и чермет, пластмасса, перегоревшие люминесцентные лампы, оргтехника) Воздействие на литосферу: в ходе работы дугового испарителя может образовываться осажденный слой (тяжелые металлы) на поверхности анода, очистка которого приводит к загрязнению литосферы. Воздействие на гидросферу: наличие частиц металлов и абразива при использовании шлифовально-полировальной машины Воздействие на атмосферу: масляные пары форвакуумного насоса</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при эксплуатации</u></p>	<p>Возможные ЧС: Природные катастрофы (ураган); Техногенные аварии (аварии на электро-, тепло-коммуникациях, водоканале, взрыв газовых баллонов); Наиболее типичная ЧС: пожар (неисправность в электрических сетях, нарушение технологического режима)</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Сечин Андрей Александрович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ11	Кругляков Марк Александрович		

Глава 5. Социальная ответственность

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы проводилось исследование влияния дополнительной обработки на структурно-фазовое состояние и механические свойства двухфазного титанового сплава Ti-6Al-4V в научной лаборатории на кафедре общей экспериментальной физики учебного корпуса № 3.

В каждой сфере необходимо изготовление материалов менее затратными способами, добиваясь новых свойств и качеств. Особенно это касается материалов сложной формы с возможностью получения градиентных свойств получаемых изделий. Данную проблему позволяют решить методы аддитивного производства (АП), которым и были получены исследуемые образцы титанового сплава Ti-6Al-4V, подвергнутые в ходе данного исследования термоводородной обработке.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Трудовой кодекс РФ [38] устанавливает права и обязанности работника и работодателя, правила нормирования и оплаты труда, трудоустройство, вопросы охраны труда. Обеспечение прав работников на охрану труда включает права и гарантии на обеспечение условий, соответствующих требованиям. В статье 219 трудового кодекса РФ детализированы права работников, согласно которым у каждого работника должно быть рабочее место, соответствующее правилам охраны труда. Государство гарантирует работникам защиту их права на труд в условиях, соответствующих требованиям охраны труда (ТК РФ Статья 220). Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты, а также оснащения рабочих мест средствами коллективной защиты (ТК РФ Статья 221).

Согласно ГОСТ 12.2.032-78. «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» стол должен соответствовать современным требованиям эргономика и позволять расположить на рабочей поверхности все необходимое оборудование, в зависимости от характера выполняемой работы. Соответствие рабочего места требованиям ГОСТ 12.2.032-78 представлено в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Требования к организации рабочего места [39]

Требование	Требуемое значение	Значение параметров в помещении
Высота рабочей поверхности стола	Регулируемая высота (680-800 мм) Нерегулируемая высота (более 725 мм)	Нерегулируемая высота 750 мм
Рабочий стул (кресло)	Подъемноповоротный, регулируемый по высоте и углу наклона спинки	Не соответствует
Расположение монитора от глаз пользователя	600-700 мм	Соответствует

Для выполнения всех требований нормативных актов по организации рабочего места лаборатории необходимо подать заявку на приобретения рабочего стула с функциями регулировки по высоте и углу наклона спинки для профилактики монотонии и переутомления.

5.2 Производственная безопасность

Анализ возможных вредных и опасных факторов при работе в научной лаборатории высокоинтенсивной имплантации ионов представлен в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Возможные вредные и опасные факторы [40]

Факторы		Нормативные документы
Опасные	Электробезопасность (Поражение электрическим током)	ГОСТ 12.1.009-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ) ГОСТ Р12.1.019-2017 ССБТ Электробезопасность ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»
	Производственный травматизм	ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)
Вредные	Отклонение показателей микроклимата	ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
	Недостаточная освещенность рабочей зоны	СНиП 23-05-95*. Естественное и искусственное освещение (с Изменением №1 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
	Повышенный уровень шума	ГОСТ 12.1.003-83. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (с Изменением № 1)
	Пожарная опасность	СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (в ред. изм. № 1, утв. приказом МЧС России от 09.12.2010 № 643) ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования
	Перенапряжение зрительного анализатора	ГОСТ 12.0.230-2007 ССБТ. Системы управления охраной труда. Общие требования СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»
	Монотонность труда	МР 2257-80 Рекомендации по устранению и предупреждению неблагоприятного влияния монотонии на работоспособность человека в условиях современного производства Дата актуализации: 01.01.2021

В деятельности лаборатории широко используется электричество, которое при замыкании электрической цепи может быть опасным источником для организма человека. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, согласно ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов» представлены в таблице 5.2.1.

Таблица 5.2.1 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов

Род тока	U, В	I, мА
	Не более	
Переменный, 50 Гц	2.0	0.3
Переменный, 400 Гц	3.0	0.4
Постоянный	8.0	1.0

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице. Средствами защиты от воздействия электрического тока являются: изолирующие устройства и покрытия, предохранительные устройства, устройства автоматического отключения, предупредительная сигнализация.

Требования к производственному оборудованию согласно ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ: конструкция производственного оборудования и его отдельных частей должна исключать возможность их падения, опрокидывания и самопроизвольного смещения при всех предусмотренных условиях эксплуатации [41].

Микроклимат производственных помещений определяется действующими на организм человека температурой, относительной влажностью и скоростью движения воздуха, а также температурой окружающих поверхностей.

Длительное воздействие на человека неблагоприятного микроклимата резко ухудшает его самочувствие, снижает производительность труда и приводит к заболеваниям. Воздействие высокой температуры и влажности быстро утомляет, может привести к перегреву организма, повышению артериального давления, обезвоживанию организма. Понижение температуры и повышение скорости движения воздуха способствуют усилению конвективного теплообмена и процесса теплоотдачи при

испарении пота, что может привести к переохлаждению организма, частым респираторным заболеваниями. Оптимальные и допустимые метеорологические условия температуры и влажности устанавливаются согласно СанПиН 2.2.4.548-96. Оптимальные показатели микроклимата на рабочих местах производственных помещений приведены в таблице 5.2.3.

Таблица 5.2.3 – Оптимальные показатели микроклимата на рабочих местах производственных помещений [42]

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	I _a (до 139)	22-24	21-25	60-40	Не более 0.1
Теплый	I _a (до 139)	23-25	22-26	60-40	Не более 0.1

Оптимальные микроклиматические условия обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах. Недостаточная освещенность рабочей зоны вызывает нарушение работы зрительного аппарата и общее утомление, может быть причиной головных болей, снижает производительность труда. Оптимальная освещенность производственных помещений и рабочей зоны обеспечивает гигиенические условия для работающего персонала. Правильно подобранные и расположенные источники света повышают эффективность труда, предотвращают заболевания персонала и минимизируют риски нарушения техники безопасности.

По способу размещения и распределению освещенности применяют общее и комбинированное освещение. Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПК должно осуществляться системой общего равномерного освещения.

В случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения, когда к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники, предназначенные для освещения зоны расположения документов. Устройство только местного освещения недопустимо, так как оно создает большую разность освещенности рабочих поверхностей и окружающего пространства, что неблагоприятно сказывается на зрении, согласно СНиП 23-05-95 [43].

Окна в помещениях, где эксплуатируется вычислительная техника, должны быть ориентированы на север и северо-восток. Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения в соответствии с СанПиНом 2.2.1/2.1.1.1278-03 указаны в таблице 5.2.5.

Таблица 5.2.5 – Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения [44]

Помещения	Рабочая Поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенность и (Г-горизонтальная, В-вертикальная) и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение	
		КЕО e_n , %		КЕО e_n , %	
		При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении
Кабинеты, рабочие комнаты, офисы, представительства	Г-0.8	3.0	1.0	1.8	0.6
Помещение	Искусственное освещение				
	Освещенность, Лк				
	При комбинированном освещении		При общем освещении	Показатель дискомфорта, М, не более	Коэффициент пульсации освещенности, Кп %, не
	Всего	От общего			

					более
Кабинеты, рабочие комнаты, офисы, представитель ства	400	200	300	40	15

Характеристика помещения лаборатории: длина = 7 м; ширина = 5 м; высота = 3.5 м; окраска стен – белая; окраска потолка – белая. Для освещения используются светильники с люминесцентными лампами ОД 2-40, с длиной 1230 мм, шириной 266 мм, высотой 158 мм, КПД 75%.

Расчет общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отраженный от потолка и стен:

$$\Phi = \frac{E_H \cdot S \cdot K_a \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 35 \cdot 1.5 \cdot 1.1}{7 \cdot 0.49} = 5051 \text{ (лм)} \quad (5.6)$$

Нормируемая освещенность, согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 $E_H=300$ лм. В соответствии со значением рассчитанного светового потока $\varphi=5051$ Лм, ближайшей световой люминесцентной лампой является лампа типа ЛХБ с электрической мощностью осветительной системы 80 Вт, световым потоком 5000 лм.

Допускается отклонение светового потока лампы не более чем на -10% – $+20\%$. Для этого выполняется проверка по формуле

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% \leq +20\% = \frac{5000 - 5051}{5000} \cdot 100\% = -1.02\%$$

Таким образом, отклонение составило -1.02% , что не превышает допустимые нормы.

Расчет освещения производится методом коэффициента использования светового потока, который показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность и зависит от:

- индекса помещения:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{35}{3.5 \cdot 12} = 0.83 \quad (5.7)$$

- коэффициента отражения стен (свежепобеленные, с окнами без штор): $\rho_{cm}=50\%$;

- коэффициент отражения потолка (свежепобеленный): $\rho_n=70\%$.

Для общего освещения применяются газоразрядные лампы: дневной (ЛД), холодно-белой (ЛХБ), тепло-белой (ЛТБ) и белой цветности (ЛБ).

Помещение лаборатории имеет следующие параметры:

- высота помещения: $H = 350$ см;
- расстояние светильников от перекрытия: $h_c = 35$ см;

Рассчитаем высоту светильника над полом, высоту подвеса:

$$h_n = H - h_c = 350 - 35 = 315 \text{ см} \quad (5.1)$$

- высота рабочей поверхности над полом: $h_{pn} = 75$ см;
- рассчитаем высоту светильника над рабочей поверхностью:

$$h = h_n - h_{pn} = 315 - 75 = 260 \text{ см} \quad (5.2)$$

При освещении рабочего помещения двухламповыми светильниками ОД при одиночной установке или при непрерывных рядах из одиночных светильников в соответствии с требованиями наименьшая допустимая высота подвеса над полом составляет 3.5 м. Рассчитанная величина $h=2.6$ м не соответствует требованиям.

- расстояние между соседними светильниками: $L = 3.75$ м;
- расстояние от крайних светильников до стены: $l=0.9$ м.

Данное расстояние от крайних светильников до стены является подходящим, так как необходимая величина равна:

$$\frac{L}{3} = \frac{3.75}{3} = 1.25 \text{ (м)} \quad (5.3)$$

Отношение расстояния между светильниками L к высоте их подвеса h_n определяет величина, равная:

$$\lambda = L/h \quad (5.4)$$

Оптимальное значение для расположения люминесцентных светильников без защитной решетки типов ОД и ОДО составляет 1.4. Рассчитаем оптимальное расстояние между светильниками:

$$L = \lambda \cdot h = 1.4 \cdot 2.6 = 3.64 \text{ (м)} \quad (5.5)$$

Расположение светильников в лаборатории соответствует установленным требованиям. Количество рядов светильников с люминесцентными лампами определяется по формуле:

$$n_{\text{ряд}} = \frac{\left(B - \frac{2}{3}L\right)}{L} + 1 = \frac{\left(5 - \frac{2}{3} \cdot 3.75\right)}{3.75} + 1 = 1.66$$

Исходя из полученных результатов, оптимальным будет расположение светильников в два ряда. Количество светильников с люминесцентными лампами в ряду определяется по формуле:

$$n_{\text{св}} = \frac{\left(A - \frac{2}{3}L\right)}{l_{\text{св}} + 0.5} = \frac{\left(7 - \frac{2}{3} \cdot 3.75\right)}{1.23 + 0.5} = 2.59$$

Оптимальное количество светильников в ряду 3. Таким образом, для соблюдения требований освещения лаборатории необходимо 6 светильников с люминесцентными лампами ОД 2-40.

Превышение уровня шума возникает при работе механических и электромеханических изделий. В соответствии с ГОСТ 12.1.003-83. «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности» допустимый уровень шума при работе, требующей сосредоточенности, работе с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами на рабочих местах в помещениях с шумным оборудованием, составляет 75 дБ [45].

В научной лаборатории высокоинтенсивной имплантации ионов основными источниками шума являются: профилометр STIL 3D Micromesur,

компьютеры (охлаждение внутри системного блока, оптические приводы DVD-ROM). В соответствии со спецификацией профилометр STIL 3D Micromesur имеет уровень шума 25 дБ. Уровень шума блока питания компьютера составляет 25-30 дБ, уровень шума охлаждающего устройства процессора 15-20 дБ, остальные элементы охлаждения являются пассивными и их уровень шума не учитывается. Шум, вызываемый работой оптических приводов, также не учитывается, так как они используются в работе незначительно малое время. Звукоизоляция в лаборатории не требуется, так как предельное значение уровня шума не достигается.

В зависимости от характеристик веществ и материалов, находящихся в помещении, по взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г и Д в соответствии с СП 12.13130.2009 [46]. Рассматриваемое помещение лаборатории относится к категории В, так как в нем содержатся твердые горючие вещества в холодном состоянии. Возможные причины возгорания:

- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоках питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности.

Согласно ГОСТ12.1.004-91 профилактические мероприятия, подразделяются на организационно-технические, эксплуатационные и режимные. Организационно-технические мероприятия заключаются в проведении регулярных инструктажей сотрудников ответственным за пожарную безопасность, обучении сотрудников надлежащей эксплуатации оборудования и необходимым действиям в случае возникновения пожара, паспортизацию веществ, материалов и изделий в части обеспечения пожарной безопасности, изготовление и применение средств наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности. К эксплуатационным мероприятиям относят профилактические осмотры оборудования.

Мероприятия режимного характера включают установление правил организации работ и соблюдение противопожарных мер [47].

Соблюдение правил пожарной безопасности, предотвращает возникновение возгораний и пожаров:

- содержание помещений в соответствии с требованиями пожарной безопасности;
- надлежащая эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электропитания, контроль нагрева оборудования);
- обучение производственного персонала правилам пожарной безопасности;
- наличие, правильное размещение и использование средств пожаротушения.

В помещении с электрооборудованием, во избежание поражения электрическим током, целесообразно использовать углекислотные или порошковые огнетушители. Огнетушители следует располагать на защищаемом объекте в соответствии с требованиями таким образом, чтобы они были защищены от воздействия прямых солнечных лучей, тепловых потоков, механических воздействий и других неблагоприятных факторов (вибрация, агрессивная среда, повышенная влажность и т. д.). Они должны быть хорошо видны и легкодоступны в случае пожара. Предпочтительно размещать огнетушители вблизи мест наиболее вероятного возникновения пожара, вдоль путей прохода, а также около выхода из помещения. В лаборатории, на этаже находится 2 огнетушителя ОП-3, переносные порошковые. Лестничные пролеты оборудованы гидрантами, имеется кнопка пожарной сигнализации.

5.3 Экологическая безопасность

При работе в лаборатории возможные источники загрязнения окружающей среды с воздействием на:

- Селитебную зону: промышленные отходы (вторцвет- и чермет, пластмасса, перегоревшие люминесцентные лампы, оргтехника).
- Литосферу: в ходе работы дугового испарителя может образовываться осажденный слой (тяжелые металлы) на поверхности анода, очистка которого приводит к загрязнению литосферы.
- Гидросферу: наличие частиц металлов и абразива при использовании шлифовально-полировальной машины
- Атмосферу: масляные пары форвакуумного насоса.

Вышедшее из строя ПЭВМ и сопутствующая оргтехника относится к IV классу опасности и подлежит специальной утилизации согласно ГОСТ Р 53692-2009 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами.» Этапы технологического цикла отходов, при которой более 90% отправится на вторичную переработку и менее 10% будут отправлены на свалки [48].

В ходе выполнения работы и обработки результатов также создается бытовой мусор (канцелярские, пищевые отходы, искусственные источники освещения), который должен быть утилизирован в соответствии с определенным классом опасности или переработан, чтобы не оказывать негативное влияние на состояние литосферы.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Под источником ЧС понимают опасное природное явление, аварию или опасное техногенное происшествие, широко распространенную инфекционную болезнь людей, сельскохозяйственных животных и растений, а также применение современных средств поражения

Рассмотрим возможные аварийные ситуации в научной лаборатории высокоинтенсивной имплантации ионов учебного корпуса № 11:

- Пожар в здании в результате неисправности в электрических сетях, нарушения технологического режима, нарушения техники пожарной безопасности сотрудников.

Нормы пожарной безопасности при работе на ПЭВМ и сопутствующей оргтехнике утверждены в ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования» [49].

- Работать только за исправным оборудованием.
- Не подключать одновременно к сети количество потребителей, превышающих допустимую нагрузку.
- Иметь первичные средства пожаротушения (огнетушители, пожарные гидранты).
- Свободные эвакуационные выходы.
- Расположение схемы эвакуационных путей в месте наибольшего сосредоточения сотрудников.

В случае возникновения пожара в здании автоматически срабатывают датчики пожаротушения, и звуковая система оповещает всех сотрудников о немедленной эвакуации из здания. На этаже находится два огнетушителя и пожарных крана, а также три эвакуационных выхода.

Мероприятия по защите населения при возникновении ЧС проводятся согласно ГОСТ Р 22.3.03-94. «Безопасность в ЧС. Защита населения» [50].
Основные положения:

Эвакуация сотрудников из зоны ЧС.

- Использование средств индивидуальной защиты органов дыхания и кожных покровов.
- Проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ в зонах ЧС.
- Проведение мероприятий медицинской защиты (первая медицинская помощь).

Выводы по главе «Социальная ответственность»

В главе рассмотрены вредные и опасные факторы:

- электробезопасность (поражение электрическим током)
- производственный травматизм
- отклонение показателей микроклимата в лаборатории
- недостаточная освещенность рабочей зоны
- повышенный уровень шума
- пожарная опасность
- перенапряжение зрительного анализатора

Проведен расчет системы общего равномерного искусственного освещения для лаборатории. Рассмотрены чрезвычайные ситуации, и меры ликвидации их последствий. Мероприятия по предупреждению негативного воздействия вредных и опасных факторов на сотрудников, их соответствие нормативным требованиям описаны в соответствующих разделах главы.

Научная лаборатория на кафедре ОЭФ отнесена к классу В по пожароопасности и к 1 категории по электробезопасности.

Заклучение

В результате изучения закономерностей влияния дополнительной термической и водородной обработки двухфазного титаного сплава Ti-6Al-4V, полученного методом электронно-лучевого сплавления (ЭЛС), на его структурно фазовое состояние и механические свойства были сделаны следующие выводы:

Водород в сплаве с содержанием водорода 0,1 масс. % присутствует в твердом растворе в β фазе. Об этом свидетельствует сдвиг рефлексов β фазы в сторону меньших углов по сравнению с ненаводороженным сплавом. Сплав Ti-6Al-4V содержит некоторое количество гидридной фазы. При этом часть водорода находится в твердом растворе в фазе Ti- β , что подтверждается изменением параметров решетки.

Кроме того, с увеличением температуры от комнатной до 450°C при испытании на одноосное растяжение исходных образцов и образцов с 0,1 масс. % H наблюдается сначала увеличение значения однородной деформации в 1,85 и 4,43 раза, соответственно с последующим падением в 1,3 раза для обоих показателей с повышением температуры до 600°C. Что касается значений удлинения до разрушения, то данные параметры увеличиваются при повышении температуры с комнатной до 600°C в 7,19 и 5,36 раз, соответственно.

Однако, для образцов с 0,2 масс. % H наблюдается иная динамика изменения данных параметров по сравнению с выше представленными. Образцы с содержанием 0,2 масс. % H обладают изначально более высокими показателями параметра однородной деформации по сравнению с исходным и образцом с 0,1 масс.% в 2,48 и 6,33 раза, соответственно. Кроме того, не наблюдается значительного роста удлинения до разрушения с ростом температуры от 450°C до 600°C по сравнению с исходными образцом и образцом с 0,1 масс. % H: для них рост составил 1,6 и 1,92, соответственно. В

то время как для образца с содержанием водорода 0,2 масс. % показатель удлинения до разрушения возрос лишь в 1,1 раз или всего на 10%.

Такие различия в закономерностях механических свойств для образца с содержанием 0,2 масс. % водорода связано с тем, что при температуре 600°C большая часть гидридов не успевает раствориться в твердом растворе, но уже выходит из материала, что в свою очередь пагубно влияет на пластические характеристики сплава. Исходя из анализа литературы было определено, что при температуре 450°C гидриды уже растворяются в твердом растворе сплава, что и приводит к пластификации материала при данной температуре без выхода водорода из объема материала.

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент» был проведен анализ конкурентоспособности изучения закономерностей влияния дополнительной термической и водородной обработки двухфазного титанового сплава Ti-6Al-4V, полученного методом электронно-лучевого сплавления (ЭЛС), на его структурно фазовое состояние и механические свойства. Проведённый SWOT-анализ проекта, раскрыл сильные и слабые стороны, выявил риски, а также определил возможности для улучшения. Установлено, что в календарных днях длительность работ для научного руководителя составило 72.8 дней, для сотрудника-техника 10.8, а для инженера 33.2 дней. На основе временных показателей по каждой из произведенных работ был построен календарный план-график Ганта, по которому можно увидеть, что самая продолжительная по времени работа – подбор и изучение материалов. Бюджет затрат научно-технического исследования составил 186731 рубль. Наибольшая статья расходов приходится на Затраты по основной заработной плате исполнителей темы (56.14%). На втором месте затраты на Отчисления во внебюджетные фонды (19.03%). Определены показатели ресурсоэффективности, интегральный финансовый показатель, интегральный показатель эффективности и сравнительная эффективность вариантов исполнения, значения которых

свидетельствуют о достаточно высокой эффективности реализации технического проекта.

В ходе выполнения раздела проведен расчет системы общего равномерного искусственного освещения для лаборатории. Рассмотрены чрезвычайные ситуации, и меры ликвидации их последствий. Мероприятия по предупреждению негативного воздействия вредных и опасных факторов на сотрудников, их соответствие нормативным требованиям описаны в соответствующих разделах главы. Научная лаборатория на кафедре ОЭФ отнесена к классу В по пожароопасности и к 1 категории по электробезопасности.

Список литературы

1. Александров В.М. Материаловедение и технология конструкционных. Учебное пособие. Часть 1 / Александров В.М. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет, 2015. – 327 с.
2. Илларионова А. А. Титан и его применение в строительных и архитектурных сооружениях // XVIII международная научно-техническая Уральская школа-семинар металлосведов-молодых ученых. — Екатеринбург, 2017. – 2017. – №. 18. – С. 306-309.
3. Юрасёв Н. И. О возмолжности развития аддитивных технологий в России // Современная экономика: проблемы и решения. – 2015. – Т. 9. – С. 72-79.
4. Szymczyk-Ziółkowska P. et al. The Impact of EBM-Manufactured Ti6Al4V ELI Alloy Surface Modifications on Cytotoxicity toward Eukaryotic Cells and Microbial Biofilm Formation //Materials. – 2020. – Т. 13. – №. 12. – С. 2822.
5. Campbell I. et al. Wohlers report 2018: 3D printing and additive manufacturing state of the industry: annual worldwide progress report. – Wohlers Associates, 2018.
6. Wohlers Report 2018. 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry. Annual Worldwide Progress Report / compiled by I. Campbell, O. Diegel, J. Kowen and T. Wohlers. – Fort Collins: Wohlers Associates. – 2017. – 344 p.
7. Attaran, M. The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing / M. Attaran // Business Horizons. – 2017. – Vol. 60. – № 5. – P. 677-688.
8. Additive Manufacturing / A. Bandyopadhyay, S. Bose. – N.Y.: CRC Press. – 2015. – 389 p.

9. Джуган А.А., Ольшанецкий В.Е., Овчинников А.В., Степанова Л.П., Михайлютенко А.О. Использование титановых порошков в методах 3D печати изделий. – Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2016. – №2. – С. 77-81.
10. Сироткин О.С. Современное состояние и перспективы развития аддитивных технологий // Авиационная промышленность. – 2015. – №2. – С. 22-25.
11. Белов С.В., Волков С.А., Магеррамова Л.А. Перспективы применения аддитивных технологий в производстве сложных деталей газотрубных двигателей из металлических материалов // Сб. докл. Конф. «Аддитивные технологии в российской промышленности» М. ВИАМ. – 2015. – С. 21-28.
12. Жеманюк П.Д., Басов Ю.Ф., Овчинников А.В., Джуган А.А., Михайлютенко А.О. Применение титановых порошков нового поколения (HDH2) в аддитивных технологиях. – Авиационно-космическая техника и технология. – 2016. - №8 (135). – С. 139-144.
13. Алишин М.И., Князев А.Е. Производство металлопорошковых композиций высокой чистоты титановых сплавов методом индукционной газовой атомизации для аддитивных технологий. – Труды ВИАМ. – 2017. – №11 (59). – С. 37-45.
14. Зленко, М.А. Аддитивные технологии в машиностроении: пособие для инженеров / М.А. Зленко, М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш. – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ». – 2015. – 220 с.
15. Байтимеров Р.М., Лыков П.А., Радионова Л.В., Сафонов Е.В. Определение оптимальных параметров селективного лазерного сплавления титанового сплава Ti6Al4V углекислотным лазером. – Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry. – 2017. – Vol. 17. – № 3. – С. 36-40.

16. Анохин С.В. Пикулин А.Н. Березос В.А. Северин А.Ю. Ерохин А.Г. Электронно-лучевая плавка нового высокопрочного титанового сплава Ti20 // Электронно-лучевые процессы. – 2017. – С. 15-21.
17. Farooq I Azam, Ahmad Majdi, Abdul Rani, Khurram Altaf, T.V.V.L.N Rao, Haizum Aimi Zaharin. An In-Depth Review on Direct Additive Manufacturing of Metals. – Materials Science and Engineering. – 2018. – № 328. – 9 p.
18. Xu W. et al. In situ tailoring microstructure in additively manufactured Ti-6Al-4V for superior mechanical performance //Acta Materialia. – 2017. – Т. 125. – С. 390-400.
19. Rafi H. K. et al. Microstructures and mechanical properties of Ti6Al4V parts fabricated by selective laser melting and electron beam melting //Journal of materials engineering and performance. – 2013. – Т. 22. – №. 12. – С. 3872-3883.
20. Xu W. et al. In situ tailoring microstructure in additively manufactured Ti-6Al-4V for superior mechanical performance //Acta Materialia. – 2017. – Т. 125. – С. 390-400.
21. Синьмин Ц. Влияние водорода на механические свойства титанового сплава Ti-6Al-4V [Электронный ресурс] // Электронный научный архив ТПУ, 2017. URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/39663>. (Дата обращения 03.01.2022)
22. Kim J., Kang J., Tasan C. C. Hydride formation in Ti6Al4V: An in situ synchrotron X-ray diffraction study //Scripta Materialia. – 2021. – Т. 193. – С. 12-16.].
23. Pan L. et al. Hydrogenation behaviors and characteristics of bulk Ti-6Al-4V alloy at different isothermal temperatures //Rare Metals. – 2019. – Т. 38. – №. 12. – С. 1131-1135.

24. Zhou L., Liu H. J. Effect of hydrogenation on microstructure and mechanical properties of Ti-6Al-4V titanium alloy //Advanced Materials Research. – Trans Tech Publications Ltd, 2013. – T. 750. – C. 596-602.
25. Pushilina N. et al. Hydrogen-induced phase transformation and microstructure evolution for Ti-6Al-4V parts produced by electron beam melting //Metals. – 2018. – T. 8. – №. 5. – C. 301.
26. Navi N. U. et al. Hydrogen effects on electrochemically charged additive manufactured by electron beam melting (EBM) and wrought Ti-6Al-4V alloys //international journal of hydrogen energy. – 2020. – T. 45. – №. 46. – C. 25523-25540.
27. Pushilina N. et al. Surface modification of the ebm ti-6al-4v alloy by pulsed ion beam //Metals. – 2021. – T. 11. – №. 3. – C. 512.].
28. Metalnikov P. et al. Hydrogen embrittlement of electron beam melted Ti-6Al-4V //Journal of Materials Research and Technology. – 2020. – T. 9. – №. 6. – C. 16126-16134.
29. Kim J. et al. Roughening improves hydrogen embrittlement resistance of Ti-6Al-4V //Acta Materialia. – 2021. – T. 220. – C. 117304.
30. Yilbas B. S. et al. Hydrogen embrittlement of Ti-6Al-4V alloy with surface modification by TiN coating //International journal of hydrogen energy. – 1998. – T. 23. – №. 6. – C. 483-489.
31. Weiss L. et al. Surface and microstructure modifications of Ti-6Al-4V titanium alloy cutting by a water jet/high power laser converging coupling //Materials Research Express. – 2018. – T. 5. – №. 1. – C. 016528.
32. Grabovetskaya G. et al. Effect of Structure and Hydrogen on the Short-Term Creep of Titanium Ti-2.9 Al-4.5 V-4.8 Mo Alloy //Materials. – 2022. – T. 15. – №. 11. – C. 3905.
33. Schmidt C. D., Christ H. J., Von Hehl A. Hydrogen as a Temporary Alloying Element for Establishing Specific Microstructural Gradients in Ti-6Al-4V //Metals. – 2022. – T. 12. – №. 8. – C. 1267.

34. Курзина И.А., Годимчук А.Ю., Качаев А.А. Рентгенофазовый анализ нанопорошков // Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2010. – 14 с.
35. Ларина, Т.В. Сборник описаний лабораторных работ по дисциплине «материаловедение и технология конструкционных материалов». – СГГА. – 2013. – 127 с.
36. Шульмин В. А., Усынина Т. С. Экономическое обоснование в дипломных проектах. – 2004.
37. Кнышова Е. Н., Панфилова Е. Е. Экономика организации: Учебник для вузов //М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М. – 2013.
38. *Трудовой кодекс Российской Федерации* от 30 декабря 2001 года № 197-ФЗ (с изменениями и дополнениями по состоянию на 01.03.2023 г.)
39. ГОСТ 12.2.032-78. «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».
40. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов».
41. ГОСТ 12.2.003-91. «Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности».
42. СанПиН 2.2.4.548-96. «Оптимальные показатели микроклимата на рабочих местах производственных помещений»
43. СНиП 23-05-95. «Естественное и искусственное освещение».
44. СанПиНом 2.2.1/2.1.1.1278-03. «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий».
45. ГОСТ 12.1.003-83. «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности».
46. СП 12.13130.2009. «Определение категорий помещений, заданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».

47. ГОСТ12.1.004-91. «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования».

48. ГОСТ Р 53692-2009. «Ресурсосбережение. Обращение с отходами».

49. ГОСТ 12.1.004-91. «Пожарная безопасность. Общие требования».

50. ГОСТ Р 22.3.03-94. «Безопасность в ЧС. Защита населения».

Приложение А

Раздел 1 Literature review

Обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ11	Кругляков Марк Александрович		

Консультант школы отделения (НОЦ) ИШФВП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ ТПУ	Степанова Е.Н.	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы ОИЯ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ	Квашнина Ольга Сергеевна			

1. Literature review

1.1. Prospects for the production and operation of the Ti-6Al-4V alloy obtained by AT methods.

There is a huge variety of titanium alloys, but they all obey the general classification and are divided into α -, ($\alpha + \beta$), β -alloys. These designations were introduced due to phase transformations inside the crystal lattice - a polymorphic transformation at a certain temperature (about 882 °C), below this temperature - α -alloys (hcp lattice), above - β -alloys (bcc). The production of ($\alpha + \beta$) alloys by alloying with appropriate α/β stabilizers has received wide application. Pseudo- α (low content of β -phase) and pseudo- β (low content of α -phase) types of alloys also require mentioning. Titanium alloys of the ($\alpha + \beta$) type have a higher content of β -stabilizers than those listed above (about 5-30 vol.%). Fig. 1. shows the phase diagram of the transitions of the Ti-6Al-4V alloy, where M_s is the phase boundary.

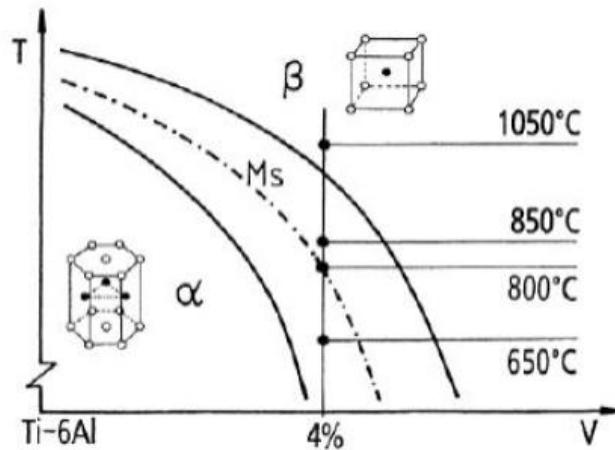


Fig. 1. Phase diagram of $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow L \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$ transitions in the Ti-6Al-4V alloy [1]

These alloys are capable of withstanding high pressure loads, have high strength at room temperature and high specific strength at high temperatures. Based on this, the mechanical properties of such a material can be affected and optimized by heat treatment. The volume content of α and β may vary depending

on the chemical composition of the alloy, the temperature of heating and processing, as well as the cooling rate of the alloy. Materials of this type show a higher tensile strength than alloys with a reduced content of β -phase. In addition, $(\alpha + \beta)$ compounds still have excellent corrosion resistance and fast osseointegration ability.

The Ti-6Al-4V alloy has also found its application in the biomedical field. This alloy is used in implants in orthopedic and trauma areas, aerospace industry as fasteners, as well as material for the manufacture of jet engine blades [2].

Ti-6Al-4V is characterized by high specific strength - the ratio of yield strength to density, unlike other structural materials in a wide range of operating temperatures. Titanium alloys also have excellent corrosion and oxidation resistance at temperatures up to 500°C [3].

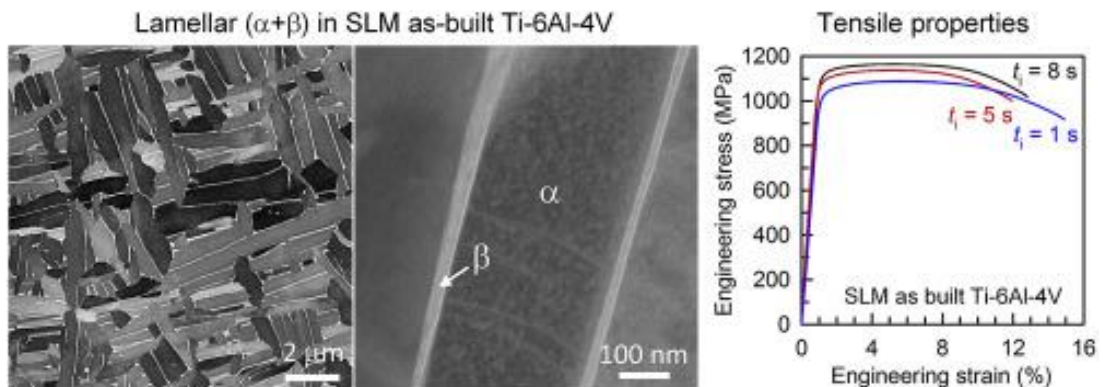


Fig. 2. Structure and «stress-strain» curves of Ti-6Al-4V (AT) with lamellar $(\alpha + \beta)$ microstructure of the samples obtained with different layer-by-layer printing parameters [3].

It was shown in [3] that the achievable yield point is related to the width of the laths of the α -phase, and its dependence satisfies the Hall-Petch relation. All three lamellar $(\alpha + \beta)$ structures lead to a total elongation to break of more than 11%, but a microstructure containing coarser α -lamellae can lead to an elongation of $12.7 \pm 2.1\%$ [3].

At present, the issue of obtaining an efficient and versatile Ti-6Al-4V alloy with even better properties is topical. The AT methods mentioned above make it possible to solve this problem. These methods allow us to obtain alloys with gradient properties in terms of the volume of products, as well as to alloy products more efficiently, and, most importantly, to obtain parts of an extremely complex shape, which is not always possible to achieve by traditional production methods. However, AT methods also have their disadvantages, for example, the presence of defects caused by the technological process, such as voids, cracks and unmelted particles, and the impact on the mechanical properties of AT products [4]. These factors also affect the use and application of the alloy under conditions of hydrogen exposure.

Hydrogen is a gas that has excellent diffusion properties and easily penetrates various metals and alloys. Among the most susceptible to hydrogen embrittlement, it is customary to single out, among other things, titanium-based alloys. As a result, the relevance of studying the possibilities of obtaining titanium-based alloys more resistant to hydrogen embrittlement arises. However, before attempting to synthesize such materials, it is necessary to become familiar with the features of the interaction of hydrogen with these alloys, to study the effect of hydrogen on the phase composition and mechanical properties of Ti-6Al-4V.

1.2. Influence of hydrogen action on the structure and mechanical properties of two-phase Ti-6Al-4V.

Before proceeding to studies devoted to the examination of the mechanical properties of the considered alloy, it is worth paying attention to the characteristic data of the structural-phase analysis of this material. We will do this using the example of [10], where it was shown that the absorption of hydrogen causes the formation of a hydride, lattice deformation, and other crystallographic changes. In order to monitor these changes and better understand them, a setup was developed

to saturate samples with hydrogen in the X-ray diffraction path using a high-energy synchrotron X-ray source. Fig. 3 shows a schematic diagram of a plant for electrochemical saturation of samples with hydrogen and a diffraction pattern of the Ti6Al4V alloy, obtained by in situ measurements during hydrogenation.

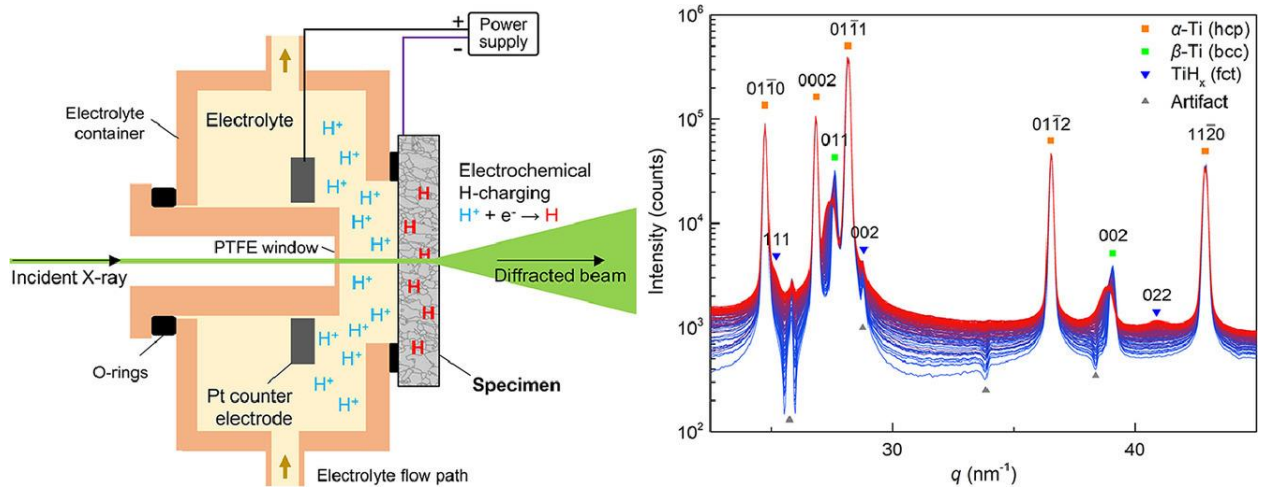


Fig.3. Schematic diagram of the plant for electrochemical saturation of samples with hydrogen; X-ray diffraction pattern of the Ti6Al4V alloy obtained by in situ measurements during hydrogenation [5]

As a result of the analysis, an anisotropic expansion of the lattice was observed during diffusion of hydrogen into it, as well as the development of microdeformations caused by the formation of hydrides in both phases of the alloy. The hydride phase was identified and its orientational relationship with neighboring phases was crystallographically described using backscattered electron diffraction analysis [5].

In [6], the saturation of the titanium alloy under study was examined in the temperature range of 450–700°C. The aim of the study was to determine the characteristics of hydrogen absorption, as well as the kinetics of this process. The results showed that with an increase in the temperature of isometric hydrogenation, the hydrogen content in the studied samples decreases, and the time to reach the equilibrium of the reaction is reduced. In addition, the mechanism of hydrogen

uptake kinetics is different at different temperatures. The incubation period was reached at the initial stage of hydrogen uptake below 550°C [6].

In [7], the studied titanium $\alpha + \beta$ alloy Ti-6Al-4V was subjected to thermal hydrogen exposure to reach 0.1, 0.3 and 0.5 wt. % hydrogen, then Ti-6Al-4V-0.1H, Ti-6Al-4V-0.3H and Ti-6Al-4V-0.5H, respectively; the effect of hydrogenation on the microstructure and mechanical properties of the titanium alloy under study was considered. The results of the study showed that hydrogen is a stabilizer of the Ti-6Al-4V β -phase, which in turn leads to the formation of an α -martensite phase, as well as the appearance of a δ -hydride phase. In addition, it was found that the mechanical properties of the hydrogenated titanium alloy deteriorated with an increase in the hydrogen content in the material under study. The mechanism of hydrogen modification of the microstructure and mechanical properties of the alloy was also determined. It was found in [12] that the mechanism of change in the mechanical properties of a hydrogenated titanium alloy is closely related to the change in the microstructure during the hydrogenation-dehydrogenation cycle. The effect of hydrogen on the microstructure of the Ti-6Al-4V alloy is shown schematically in Fig.4.

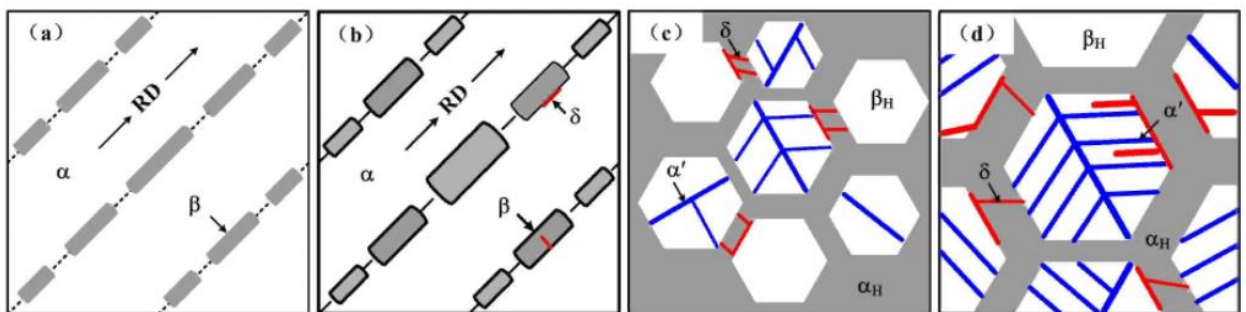


Fig. 4. Schematic illustration of the effect of hydrogen on the change in the microstructure in the Ti-6Al-4V alloy in the initial state (a); 0.1 wt. % H (b); 0.3 wt. % H (w); 0.5 wt. % H (g) [12]

In the initial state, the titanium alloy under study consists of the primary α -phase, as well as a small amount of the β -phase. It can be concluded that hydrogen

is a β -phase stabilizer element, which complicates and slows down the $\alpha + \beta \rightarrow \beta$ transition. The critical cooling rate for α' -martensite transformation is reduced; the formation of a δ -hydride phase is observed with an increase in the hydrogen concentration from the initial value to 0.5 wt. %. The microstructure of the Ti-6Al-4V-0.1H alloy is comparable to the microstructure of the original non-hydrogenated titanium alloy, however, an increase in the β -phase state and the precipitation of hydride at the interface of the $\alpha \rightarrow \beta$ phase transition are observed. With an increase in the hydrogen content in the material, a decrease in the rate of formation of the martensitic transformation is revealed. When saturated to 0.3 wt. %, a martensitic transformation $\beta H \rightarrow \alpha'$ is observed upon cooling to room temperature, while the δ -hydride precipitates both in the α/β -phase and in the α -phase due to the fact that the hydrogen content exceeds the threshold of its solubility in this (α) phase. When hydrogenated up to 0.5 wt. %, the probability of formation of martensitic transformation continues to increase, as a result of which an even greater amount of hydrides is formed in the hydrogen-saturated alloy. Due to the relatively high hydrogen content, the nucleation of hydrides occurs not only in the α -phase, but also in the β -phase of the alloy. An increase in the β -phase region of the alloy with an increase in the degree of hydrogenation is noted, which in turn is characterized by a decrease in the hardness of the material under study. Degradation of the mechanical properties of hydrogenated Ti-6Al-4V under tension is caused by hydrogen embrittlement, in particular, the nucleation of the δ -hydride phase. As for the Ti-6Al-4V-0.1H alloy with a relatively low hydrogen content, the amount of hydride is very small, because the hydride in the material is dispersed, therefore, the effect of hydrogen has little effect on the mechanical properties of the alloy in tension. For Ti-6Al-4V-0.3H and Ti-6Al-4V-0.5H alloys with a relatively high hydrogen content, hydrogen is released and continuously distributed over the surface and volume greater than the δ -hydride phase, which leads to a significant deterioration in tensile mechanical properties, in particular, plasticity [7].

As mentioned earlier, additive technologies have recently become an extremely promising area, which in turn aroused the interest of researchers in the properties of these materials, as well as the effect of hydrogen exposure on the dynamics of changes in the latter. For example, in [8] a study was made of phase transitions, as well as the evolution of the microstructure in Ti-6Al-4V samples obtained by electron beam melting (EBM) as a result of saturation with hydrogen to concentrations of 0.58 and 0.90 wt. %. The structure of the samples of the investigated alloy, obtained by the EBM method, is represented by α -phase plates with a transverse length of 0.2 μm , β -phase both in the form of plates and globular grains, and metastable α'' and ω -phases. Hydrogenation to a concentration of 0.29 wt. % leads to the formation of the Ti_3Al intermetallic phase. The dimensions of the Ti_3Al intermetallic wafers and their volume fraction increase significantly with an increase in the hydrogen concentration to 0.58 wt. % with the release of nanosized crystals of the δ -hydride phase of titanium. Separate lamellar sections of Ti_3Al decompose into nanocrystals with an increase in the hydrogen concentration to 0.9 wt. % and are accompanied by an increase in the volume fraction and, accordingly, the size of hydride-lamellar formations. The hardness of the Ti-6Al-4V (EBM) alloy decreases with increasing hydrogen concentration. In addition, this paper presents a decrease in the hardness of this alloy as a result of hydrogenation (Fig. 5).

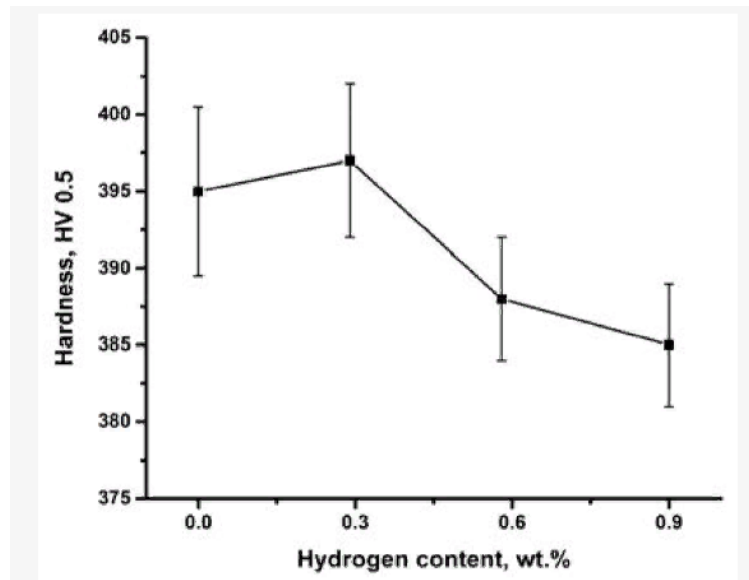


Fig. 5. Hardness of parts Ti-6Al-4V (EBM) depending on the hydrogen content [8]

The authors suggested that the decrease in microhardness is due to stress relief and the formation of an additional δ - and softer β -phase. Therefore, it is assumed that the softening of hydrogenated parts Ti-6Al-4V (EBW) with an increase in the hydrogen content occurs due to an increase in the proportion of the softer β -phase, disruption of the lamellar structure, and precipitation of hydrides in the alloy structure [8].

In [9], electrochemical saturation of Ti-6Al-4V (EBM) and Ti-6Al-4V (cast) samples with a close content of the β -phase ~ 6 wt.% was carried out with hydrogen. The experimental procedure as well as the images of the microstructure of the alloy under study are schematically presented in Fig. 6.

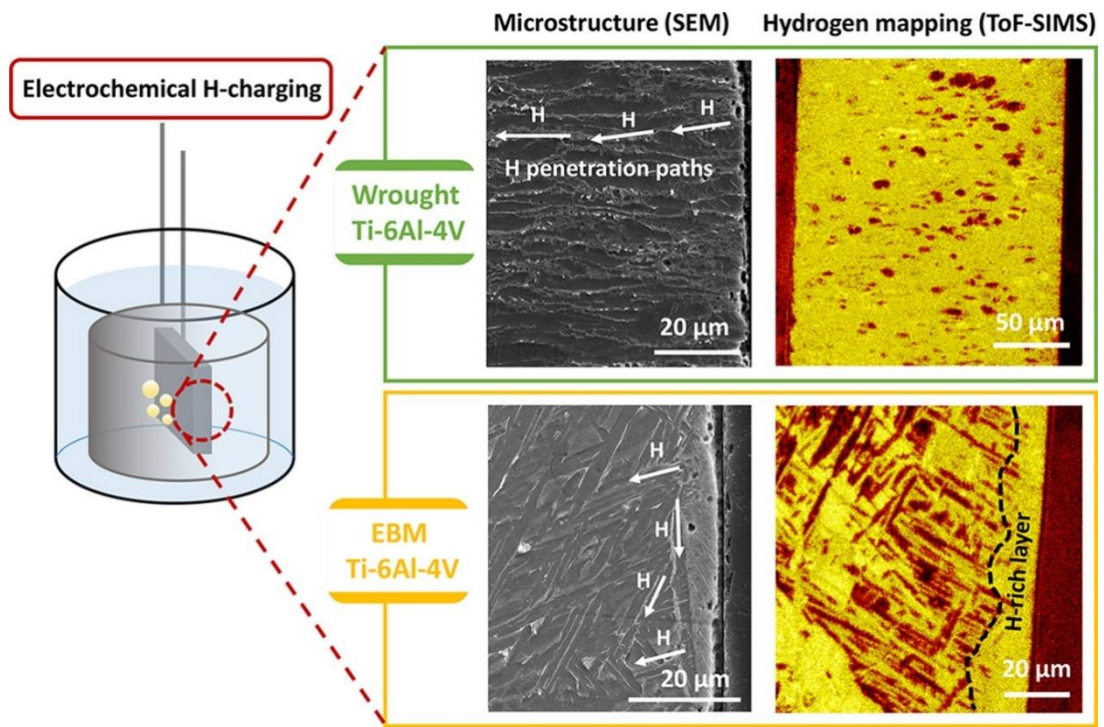


Fig. 6. Schematic method of electrochemical saturation with hydrogen and images of the microstructure of the alloy under study, obtained by the traditional method and the ELS method [9]

The result of hydrogenation was the formation of microvoids both near the surface and along the interfaces; their merging, as well as the allocation of microcracks around them was observed. The results of the evaluation of the EBM microstructure of the samples are characterized by a discontinuous arrangement of β -phase particles in the transverse direction, smaller lattice parameters of the β -phase, and a large number of α/β interphase boundaries. Thus, it can be concluded that alloy samples obtained by the EBM method are more susceptible to hydrogen embrittlement than cast ones. However, it is assumed that subsequent processing, which increases the size of β -particles, can improve the resistance of EBW samples to hydrogen embrittlement [9].

1.3. Modification of the surface of the Ti-6Al-4V alloy in order to improve the hydrogen-resistive properties

Let us briefly discuss the issue of possible surface modification in order to reduce the effect of hydrogen embrittlement. In [10], an experiment was carried out to modify the surface of Ti-6Al-4V samples fabricated by the EBM method. As a result of the modification, the microstructure was characterized by the content of plates of the alpha phase of the alloy and acicular martensite. Further, the mechanical properties of the samples were studied by the method of uniaxial tension, as well as measurements of micro- and nanohardness. It has been shown that surface modification by a pulsed ion beam (PIB) at an energy density of 1.92 J/cm² leads to an increase in the micro- and nanohardness of the surface layers, a decrease in the wear rate, and a slight increase in the plasticity of the alloy obtained by the EBM method [10].

As confirmation, the work [10] presents the data obtained after the analysis of experimental data subject to further calculations. For example, according to formula (1), the wear rate of Ti-6Al-4V samples (EBM) was calculated.

$$V = 2\pi \frac{RS}{Fl} \quad (1)$$

, where R is the track radius [mm]; S is the cross-sectional area of the wear groove [mm²]; F is the value of the applied load [H]; l is the distance to the reference point [m]. The calculation results are presented in Table 1.

Table 1 Wear rate (V), microhardness (H_μ), nanohardness (H), and Young's modulus (E) of Ti-6Al-4V alloy samples (EBM) before and after modification by PIB [10]

Sample	$V \pm 0.05, \text{ mm}^2/(\text{N}\cdot\text{m})$	$H_\mu \pm 0.2, \text{ GPa}$	$H \pm 0.1, \text{ GPa}$	$E, \text{ GPa}$
Initial	0.88	3.9	4.5	108
PIB, N = 5	0.72	6.2	5.7	134
PIB, N = 10	0.76	6.7	4.8	103

Table 1 shows that irradiation of samples with a pulsed ion beam can lead to both a decrease in the wear rate (in the case of irradiation with $N = 5$) and an increase in this value (as a result of exposure with $N = 10$) [10].

In addition, the microhardness of the Ti-6Al-4V alloy in the initial state was 3.9 GPa. Modification of samples with a pulsed ion beam leads to an increase in microhardness values: upon irradiation with five pulses up to 6.2 GPa, and at N = 10 up to 6.7 GPa [10].

The presence of such studies and the results obtained as a result of experiments allows us to make an assumption that there are opportunities to obtain structural materials obtained by the method of additive technologies that would have comparable mechanical properties with materials obtained by the traditional method.

However, there are also works where Ti-6Al-4V alloys were obtained using additive technologies, which are characterized by better resistance to the negative effects of hydrogen compared to alloys obtained by the traditional method. For example, in [11], the interaction of high- and low-volatile hydrogen with the Ti-6Al-4V alloy obtained by the EBM method was studied. Additionally, as part of the study, an assessment was made of the hydrogen exposure in comparison with an alloy that was made in the traditional way, namely, by casting. Samples produced by additive manufacturing experience relatively high cooling rates and have unique microstructural features that in turn affect the mechanical properties of the material. The interaction of hydrogen with the material was studied by the methods of thermal desorption spectroscopy (TDS), X-ray diffraction analysis, and microstructural observations. The results showed that the EBM-alloy with a relatively fine microstructure has better resistance to hydrogen-induced damage than the wrought alloy. As confirmation, the data in Table 2 presents the experimentally obtained values of desorbed hydrogen for the electrochemical and gas-phase hydrogenation of Ti-6Al-4V samples (EBM) depending on the saturation time.

Table 2 The amount of desorbed hydrogen during electrochemical and gas-phase hydrogenation of EBW samples [11].

Method	Heating rate (°C/min)	The amount of desorbed hydrogen ±2 (%wt ppm)
Electrochemical	2	130
	4	100
	6	89
Gas phase	2	1297
	4	1080
	6	888

The total amount of desorbed hydrogen was measured by the TDS method and showed that, after hydrogenation, no cracks were observed on the samples obtained by the EBM method, while hydrogenation of forged Ti-6Al-4V led to severe cracking. For a better understanding of the trapping mechanisms in the alloy, these results were compared with previously published works on the study of forged Ti-6Al-4V. It was determined that the hydrogen absorption of the EBM alloy after both electrochemical and gas-phase hydrogenation is lower compared to the forged alloy. In addition, it was assumed in this work that the higher absorption of hydrogen is associated precisely with the presence of the β -phase, which serves as the shortest route for transporting hydrogen inside the material. Since the amount of the β -phase in the EBM alloy is small and discontinuous, this sample absorbs less hydrogen than the forged one [11].

However, based on the work [12], it can be concluded that a simpler surface treatment of the Ti-6Al-4V alloy is sufficient to increase the properties resistant to hydrogen action. In this work, it was found that the polished surfaces of Ti-6Al-4V are subject to the growth of hydrides on them and, as a consequence, the embrittlement of the material as a result of hydrogen saturation, while rough surfaces are not characterized by this tendency. Direct microscopic analysis of recombined hydrogen and thermal desorption spectroscopy (TDS) have shown that surface roughening promotes the recombination of atomic hydrogen to molecular hydrogen, which in turn reduces the relative amount of absorption of atomic

hydrogen. Table 3 presents the results of uniaxial tensile testing of samples of the investigated alloy with a rough (without polishing) surface (S1; S2) and polished surface (S3; S4).

Table 3 Mechanical properties of the studied samples [12].

Sample	Proportional limit (MPa)	Tensile strength (MPa)	The amount of deformation before failure (%)
Without H ₂	830 ± 20	912 ± 27	15.0 ± 1.2
S1	880 ± 19	963 ± 21	17.8 ± 1.2
S2	820 ± 15	952 ± 70	17.4 ± 2.2
S3	730 ± 80	912 ± 19	2.6 ± 0.2
S4	730 ± 40	961 ± 12	1.8 ± 0.4

Based on the data in Table 3, we can conclude that roughening significantly reduces the hydrogen absorption of the alloy under study and increases its resistance to hydrogen embrittlement. This is expressed in a decrease in the tensile strength of polished samples compared to untreated ones, as well as an order of magnitude decrease in the values of strain to failure in samples subjected to polishing before hydrogenation. Once again, we note that all this is the result of a simple mechanical surface treatment [12].

In [13], it is also said that hydrogen embrittlement can adversely affect the mechanical properties of the alloy if no measures are taken to modify the surface of the product in use. In this work, a TiN coating deposited from the gas phase was used as a surface-modifying material. The study showed that the diffusion of hydrogen into the samples with deposited TiN is significantly reduced compared to the uncoated samples. In addition, local pitting occurs, which in turn initiates the diffusion of hydrogen into the substrate. The results of uniaxial tensile tests indicate that the strength and plastic properties of the studied alloy with TiN deposited on it are comparable to those characteristic of Ti-6Al-4V not subjected to hydrogenation [13].

It is reported in [14] that as a result of laser cutting of a Ti-6Al-4V alloy using a water jet as cooling, new surface microstructures are formed at the cut edge as a result of the thermomechanical effect of such a hybrid liquid-jet laser tool on the material. The laser beam allows the melting and the water jet to cool and remove the material upstream according to the controlled cutting process. The recorded metallurgical effect is associated with a chemical reaction between water molecules and titanium, where the role of the reaction activator is played by the laser thermal energy supplied to the surface. The width of the oxidation zone turned out to be proportional to the cutting speed, and during the reaction, gaseous hydrogen is formed, which, in turn, is absorbed by the metal. This introduced hydrogen leads to stabilization of the β -phase after quenching. This means that with this method it becomes possible to form a β -film on the surface of the alloy in order to improve surface properties such as adsorption and absorption. In addition, it was found that the hybrid laser water jet creates a thermomechanical effect during the cutting process, which is potentially interesting for the application of titanium alloys having cuts that require a small thermal activation zone [14].

1.4. Controlling the Mechanisms of Changing the Microstructure of the Ti-6Al-4V Alloy by Thermal Hydrogen Treatment

In [15], the structural effect of hydrogen on the short-term creep of a titanium ($\alpha + \beta$) Ti-2.9Al-4.5V alloy modified with 4.8 wt. %Mo is considered. The results of the work showed that the hydrogenation of the Ti-2.9Al-4.5V-4.8Mo alloy in the fine-grained (FG) and ultra-fine-grained (UFG) states up to 0.15 wt. % led to an increase in the steady-state creep rate and a decrease in the time and magnitude of deformation to failure. At the same time, the influence of hydrogen on the mentioned creep parameters of the alloy in the UFG state was less than in the MG state. The dependence of the steady creep rate on the initial stress of the Ti-2.9Al-4.5V-4.8Mo alloy in both states at a temperature of 723 K was

satisfactorily described by the power law of creep. Hydrogen saturation of the alloy up to 0.15 wt. % led to the violation of the power law of creep. With an increase in the initial stress, the increase in the steady-state creep rate of the investigated alloy in both states increased, and the deformation at the stage of steady-state creep decreased. The results obtained can be useful in the development of technologies for casting products from titanium alloys [15].

The work [16] is devoted to the study of the parameters of thermal hydrogen treatment of Ti-6Al-4V, which would make it possible to induce the appearance of a microstructural gradient in the material. At the first stage of the study, the working group determined and compared with each other the threshold range of fatigue crack propagation stress intensity and fracture toughness for three different solid solution treatments. The lamellar microstructure showed a "reasonable balance" of cyclic strength and monotonic ductility, combined with high resistance to hydrogen-induced surface cracking. Based on this, various microstructural gradients were established by annealing in a hydrogen atmosphere and subsequent hydrogen degassing in vacuum. It has been found that it is indeed possible to create a microstructure gradient with a penetration depth of 160 μm to 170 μm , which in turn leads to increased fatigue life compared to a homogeneous microstructure. In addition, thermal hydrogen treatment increases the hardness of samples at a depth of 100 μm from the surface by 13-21%, and by 3-5% at a depth of 200 μm . The desired microstructural gradient was realized using two hydrogen treatment strategies: hydrogen absorption at 500°C and hydrogen partial pressures of 100 mbar and 20 mbar and subsequent hydrogen degassing at 750°C [16].

Conclusion of the chapter

In the course of writing the course project, a review of literary sources was carried out in order to study the effect of hydrogen exposure on the structural-phase state and mechanical properties of two-phase Ti-6Al-4V for further own

experimental research. Based on the results of the work done, a description was made of the structural-phase state and mechanical properties of the Ti-6Al-4V alloy as a result of hydrogen exposure using the example of already implemented studies. An idea was obtained about the characteristic features of the structural-phase state of this alloy, as well as its mechanical properties. The mechanism of penetration and propagation of hydrogen characteristic of this alloy was determined.

In addition, as a result of the analysis of literary sources, an idea was obtained about the expected results when conducting our own experimental studies. Conclusions were drawn about the characteristic parameters of the experiments on the study of the hydrogen effect on the Ti-6Al-4V alloy. In particular, the parameters were selected for carrying out experiments on hydrogen saturation of the alloy under study in order to further study the hydrogen effect on its mechanical properties, namely, the temperature range of hydrogen sorption (500-700 °C), as well as the heating and cooling rates, 6 °C/min and 1 °C/min, respectively. In addition, it was determined that the degree of surface development directly affects the sorption properties of the material in the process of saturation with hydrogen. Namely, for more successful hydrogenation of the samples of the alloy under study, it is necessary to have a surface with a low degree of development. The sample must be tacked polished to the highest possible level under laboratory conditions.