

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки 03.03.02 «Физика»

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

| |
|--|
| Тема работы |
| Исследование влияния параметров газофазного наводороживания на сорбцию водорода титановым сплавом ВТ1-0 |

УДК 669.295.5:669.788:621.794.4

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------|---------|------|
| 150Б52 | Бу Кунь | | |

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|--------------------------|------------------------|---------|------|
| Профессор ОЭФ ИЯТШ | Лидер Андрей Маркович | д.т.н, доцент | | |

Консультант

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------------------|-------------------------------|------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Кудияров Виктор Николаевич | к.т.н. | | |

Консультанты по разделам:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Конотопский Владимир Юрьевич | к.э.н. | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Скачкова Лариса Александров | к.х.н. | | |

Допустить к защите:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|------------|------------------------|---------|------|
| Руководитель ООП | | | | |
| Руководитель ОЭФ | Лидер А.М. | д.т.н., доцент | | |

Томск – 2019 г.

Запланированные результаты обучения по программе

| Код результата | Результат обучения (выпускник способен) | Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон |
|---|---|--|
| <i>Общекультурные компетенции</i> | | |
| Р1 | Использовать основные этапы и закономерности исторического развития общества, основы философских, экономических, правовых знаний для формирования мировоззренческой, гражданской позиций и использования в различных сферах жизнедеятельности | Требования ФГОСЗ+ (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4) |
| Р2 | К самоорганизации и самообразованию, работать в коллективе, к коммуникации в устной и письменной формах, в том числе на иностранном языке, толерантно воспринимать социальные, этические и культурные различия, использовать методы и средства физической культуры, приёмы первой помощи и методы защиты в условиях ЧС. | Требования ФГОСЗ+ (ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9) |
| <i>Общепрофессиональные компетенции</i> | | |
| Р3 | Использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, современные концепции и ограничения естественных наук, использовать фундаментальные знания разделов общей и теоретической физики, математики для создания моделей и решения типовых профессиональных задач, в том числе с использованием знаний профессионального иностранного языка. | Требования ФГОСЗ+ (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-7) |
| Р4 | Понимать сущность и значение информации, соблюдать основные требования информационной безопасности, использовать методы, способы, средства получения и хранения информации, решать стандартные задачи на основе информационной и библиографической культуры. | Требования ФГОСЗ+ (ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6) |
| Р5 | Получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах, критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, нести ответственность за последствия своей инженерной деятельности. | Требования ФГОСЗ+ (ОПК-8, ОПК-9) |

| <i>Профессиональные компетенции</i> | | |
|-------------------------------------|---|---|
| Р6 | <p><u>Научно-исследовательская деятельность</u></p> <p>Проводить научные теоретические и экспериментальные исследования в областях: материаловедения, атомной и ядерной физики, водородной энергетики, физики плазмы с помощью современной приборной базы с использованием специализированных знаний физики и освоенных профильных дисциплин.</p> | <p>Требования ФГОСЗ+ (ПК-1, ПК-2)</p> |
| Р7 | <p><u>Научно-инновационная деятельность</u></p> <p>Применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований, а также профессиональные знания и умения в результате освоения профильных дисциплин для проведения физических исследований в инновационных областях науки, используя современные методы обработки, анализа и синтеза информации.</p> | <p>Требования ФГОСЗ+ (ПК-3, ПК-4, ПК-5)</p> |
| Р8 | <p><u>Организационно-управленческая</u></p> <p>Использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований, участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме, понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования</p> | <p>Требования ФГОСЗ+ (ПК-6, ПК-7, ПК-8)</p> |
| Р9 | <p><u>Педагогически-просветительская</u></p> <p>Проектировать, организовывать, анализировать педагогическую деятельность, владеть последовательностью изложения материала с использованием междисциплинарных связей физики с другими дисциплинами, участвовать в информационно-образовательных мероприятиях по пропаганде и распространению научных знаний</p> | <p>Требования ФГОСЗ+ (ПК-9)</p> |

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки (специальность) 03.03.02 «Физика»

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Лидер А.М.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|---------|
| 150Б52 | Бу Кунь |

Тема работы:

Исследование влияния параметров газофазного наводороживания на сорбцию водорода титановым сплавом ВТ1-0

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | | | |
|---|--|--|--|
| 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 особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i> | Титановый сплав VT1-0 до и после обработки водородом, автоматизированный комплекс Gas Reaction Controller LPB | | |
| Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i> | – Обзор литературных источников; – Подготовка образцов; – Исследование взаимодействие водорода с титаном; – Способы наводороживания сплавов из титана – Анализ полученных результатов; Заключение. | | |
| Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i> | | | |
| Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i> | | | |
| Раздел | Консультант | | |
| Социальная ответственность | Скачкова Лариса Александров | | |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Конотопский Владимир Юрьевич | | |
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику | | | |

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|----------------------------|------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Кудияров Виктор Николаевич | к.т.н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------|---------|------|
| 150Б52 | Бу Кунь | | |

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

Студенту:

| | | | |
|----------------------------|--|----------------------------------|--|
| Группа | ФИО | | |
| 150Б52 | Бу Кунь | | |
| | Инженерная школа ядерных технологий | | Отделение экспериментальной физики |
| Уровень образования | Бакалавр | Направление/специальность | Физика |

| | |
|--|---|
| Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»: | |
| 1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | |
| 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i> | |
| 3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i> | |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке: | |
| 1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i> | |
| 2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i> | <i>Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет.</i> |
| 3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i> | |
| Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): | |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i> 2. <i>Альтернативы проведения НИ</i> 3. <i>График проведения и бюджет НИ</i> 4. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i> | |

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

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Конотопский Владимир Юрьевич | К.Э.Н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------|---------|------|
| 150Б52 | Бу Кунь | | |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

| | | | |
|----------------------------|----------|----------------------------------|--------|
| Группа | | ФИО | |
| 150Б52 | | Ву Кунь | |
| Школа | | Отделение (НОЦ) | |
| Уровень образования | Бакалавр | Направление/специальность | Физика |

Тема ВКР: Исследование влияния параметров газофазного наводороживания на сорбцию водорода титановым сплавом ВТ1-0

| | |
|---|--|
| Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»: | |
| <p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p> | <p>1. При работе на комплексе Gas Reaction Controller LP на работников возможно воздействие следующих вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Микроклимат; - Компьютер; - Опасность поражения электрическим током; - Воздействие высокой температуры; - Эксплуатация газовых баллонов (аргон), работающих под давлением. <p>2. При неисправности в работе комплекса Gas Reaction Controller LP возможна утечка газа, возгорание.</p> |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке: | |
| <p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, | <p>– указать нормативные документы</p> |

| | |
|---|---|
| проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. | |
| 2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия | – перечислить вредные и опасные факторы |
| 3. Экологическая безопасность: | – указать область воздействия на атмосферу, гидросферу и литосферу. |
| 4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: | – перечислить возможные ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – указать наиболее типичную ЧС. |

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

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Скачкова Лариса Александров | к.х.н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------|---------|------|
| 150Б52 | Ву Кунь | | |

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

Уровень образования бакалавриат

Направление подготовки 03.03.02 «Физика»

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

Период выполнения _____

Форма представления работы:

| |
|---------------------|
| бакалаврская работа |
|---------------------|

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН

выполнения выпускной квалификационной работы

| | |
|--|--|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | |
|--|--|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования) | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|---|------------------------------------|
| 01.03.2018 | Аналитический обзор литературы | 15 |
| 01.09.2018 | Подготовка образцов титанового сплава VT1-0 с различным состоянием поверхности | 15 |
| 30.12.2018 | Исследование взаимодействия водорода с титановым сплавом VT1-0 с различным состоянием поверхности | 20 |
| 30.04.2019 | Анализ результатов | 15 |
| 25.05.2019 | Социальная ответственность | 15 |
| 25.05.2019 | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 15 |
| 25.05.2019 | Заключение | 5 |

Составил преподаватель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|----------------------------|------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Кудияров Виктор Николаевич | к.т.н. | | |

СОГЛАСОВАНО:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|------------|------------------------|---------|------|
| Руководитель ОЭФ | Лидер А.М. | д.т.н. | | |

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа _____ 146 _____ с., _____ 36 _____ рис., _____ 21 _____ табл.,
_____ 58 _____ источников.

Ключевые слова:

Объектом исследования является титановый сплав VT1-0, методом газофазного гидрирование металлических материалов.

Цель работы – определить влияние температуры при газофазном наводороживании на сорбцию водорода титановым сплавом VT1-0.

В процессе исследования проводились выбор и нанесение покрытий в качестве экспериментального образца мы используем титановый сплав VT6. Диаметр и толщина круглых дисков составляют 10 мм и 2 мм соответственно. Поверхность титановых сплавов была предварительно механически отшлифована, вес и плотность образца VT6 составляют 0,709 г и 4,505 г / _____ соответственно. А затем образец помещается в камеру. Образцы отжигали в вакууме при 750 ° С в течение 60 минут для удаления дефектов и уменьшения поверхностных напряжений. Температура в камере варьировалась от 300 ° С до 650 ° С, с шагом 50 ° С. Время обработки устанавливается равным 180 минутам каждый раз. При каждой температуре мы записываем данные, которые показывают связь между содержанием водорода и временем насыщения. И есть всего 8 температур. Они пошаговые. Давление установлено на уровне 0,7 барометрического давления. Максимальное значение содержания водорода увеличилось с 0 масс.% до 2 масс.%.

В результате исследования установлено, что увеличение температуры насыщения с 300 ° С до 650 ° С приводит к ускорению процесса поглощения водорода и, как следствие, к значительному увеличению концентрации водорода в титановом сплаве ВТ1-0.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: толщина покрытий составила 2 мкм, нанесение покрытий позволяет снизить скорость поглощения водорода в 3 раза по сравнению с материалов без покрытия.

Степень внедрения: результаты работы представлены на международной научной конференции «Перспективы развития фундаментальных наук».

Область применения: результаты исследований могут быть использованы для разработки методов повышения водородной стойкости изделий из титановых сплавов.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в разработке и создании покрытия, позволяющего повышать стойкость к воздействию водорода сплава ВТ1-0.

В будущем планируется проведение оптимизации состава и толщины наносимых покрытий.

Оглавление

| | |
|--|-----|
| Введение..... | 16 |
| ГЛАВА 1 Получение порошков титановых сплавов для аддитивных технологий..... | 19 |
| 1.1 Исследования по производству порошков титановых сплавов для аддитивных технологий..... | 19 |
| 1.2 Исследования по производству недорогих титановых порошков..... | 31 |
| 1.3 Передовые технологии титанового порошка | 41 |
| 1.4 Производство металлического порошка титана методом HDH..... | 50 |
| 1.5 Получение титанового порошка электролитическим методом и уплотнение порошка..... | 71 |
| ГЛАВА 2 Материал и методы исследования | 92 |
| 2.1 Титановый сплав ВТ6 | 92 |
| 2.2 Метод газофазного гидрирования | 95 |
| 2.3 Методы оптической и электронной микроскопии..... | 99 |
| 2.4 Метод рентгеноструктурного анализа..... | 100 |
| ГЛАВА 3 Закономерности сорбции водорода титановым сплавом ВТ6 в широком температурном диапазоне..... | 102 |
| 3.1 Фазовая диаграмма..... | 102 |
| 3.2 Конструкция и основные компоненты контроллера газовой реакции..... | 104 |
| 3.3 Условия и методика проведения эксперимента | 106 |
| 3.4 Результаты и анализ эксперимента..... | 108 |
| ГЛАВА 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 113 |
| 4.1 Организация и планирование работ | 113 |
| 4.1.1 Продолжительность этапов работ | 115 |

| | |
|--|-----|
| 4.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта | 120 |
| 4.2.1 Расчет затрат на материалы..... | 120 |
| 4.2.2 Расчет заработной платы..... | 120 |
| 4.2.3 Расчет затрат на социальный налог | 121 |
| 4.2.4 Расчет затрат на электроэнергию..... | 121 |
| 4.2.5 Расчет амортизационных расходов..... | 122 |
| 4.2.6 Расчет прочих расходов..... | 123 |
| 4.2.7 Стоимость всех проектов | 124 |
| | |
| ГЛАВА 5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ | 125 |
| Введение..... | 125 |
| 1.1. Производственная безопасность..... | 126 |
| 5.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования. . | 126 |
| 5.1.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований..... | 128 |
| 5.1.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов. | 130 |
| 5.2 Экологическая безопасность. | 132 |
| 5.2.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду..... | 132 |
| 5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях | 133 |
| 5.3.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований..... | 133 |
| 5.3.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований..... | 134 |

| | |
|--|-----|
| 5.3.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС..... | 136 |
| 5.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. | 138 |
| 5.4.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства. | 138 |
| 5.4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя. | 139 |
| Заключение..... | 140 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... | 141 |

Введение

Изделия из титановых сплавов имеют малый вес, высокую удельную прочность, трещиностойкость, коррозионную стойкость. В авиационной промышленности титановые сплавы изготавливаются из изделий сложной пространственной формы, критически важных высоконагруженных узлов и агрегатов и деталей авиационных двигателей. В ряде технологических операций при изготовлении изделий из титана, а также при их эксплуатации в агрессивных средах в них происходит проникновение и накопление водорода. Водород, поглощаемый титановыми сплавами при определенных концентрациях, является причиной их охрупчивания и последующего разрушения. На процесс поглощения водорода материалом существенно влияют структурное и фазовое состояние материала, условия эксплуатации (температура, эффективные напряжения). В связи с этим изучение закономерностей взаимодействия водорода с титановыми сплавами представляет не только фундаментальный, но и практический интерес. Важным этапом таких исследований является подготовка образцов с заданными концентрациями водорода как по объему, так и в поверхностных слоях. Для этой цели используется несколько методов, одним из которых является насыщение водорода из газообразной среды. Насыщение газовой атмосферы при высоких температурах и повышенных давлениях сопровождается диффузией водорода в образцы. Регулируя такие параметры насыщения, как

температура, давление и время, можно готовить образцы с различными концентрациями водорода и объемным содержанием гидридов. Целью работы было изучение влияния температуры и времени насыщения газовой среды на накопление водорода в образцах технически чистого титанового сплава.

В течение большей части второй половины двадцатого века на долю Ti-6Al-4V приходилось около 45% общего веса всех отгруженных титановых сплавов. В течение жизни титановой промышленности различные составы имели временное использование; Ti-4Al-3Mo-1V, Ti-7Al-4Mo и Ti-8Mn представляют собой несколько примеров. Многие сплавы были изобретены, но никогда не видели значительного коммерческого использования. Сплав Ti-6Al-4V уникален тем, что он сочетает в себе привлекательные свойства с присущей обрабатываемостью (что позволяет производить его во всех типах мельничных изделий, как больших, так и малых размеров), хорошую технологичность изготовления в цехе (что позволяет мельничным изделиям быть в сложное аппаратное обеспечение), а также производственный опыт и коммерческая доступность, которые ведут к надежному и экономичному использованию. Следовательно, деформируемый Ti-6Al-4V стал стандартным сплавом, с которым необходимо сравнивать другие сплавы при выборе титанового сплава (или сплава по индивидуальному заказу) для конкретного применения. Ti-6Al-4V также является стандартным сплавом, выбранным для отливок, которые должны демонстрировать превосходную прочность. Ti-6Al-4V будет

оставаться наиболее используемым титановым сплавом в течение многих лет в будущем.

Цель работы: определить влияние температуры при газофазном наводороживании на сорбцию водорода титановым сплавом ВТ6.

Задачи:

- 1) подготовить образцы титанового сплава ВТ6 для наводороживания;
- 2) провести газофазное наводороживание образцов титанового сплава ВТ6;
- 3) рассчитать скорость сорбции водорода титановым сплавом ВТ6 при газофазном наводороживании.

ГЛАВА 1 Получение порошков титановых сплавов для аддитивных технологий

1.1 Исследования по производству порошков титановых сплавов для аддитивных технологий

Аддитивные технологии (АТ) – это одна из наиболее быстро развивающихся областей производства изделий из титановых сплавов [1]. Изделия изготавливаются путем с конфигурацией поперечного сечения модели системы автоматизированного проектирования (САПР) [2].

Основными преимуществами аддитивных технологий по сравнению с традиционными методами производства изделий из структурных металлов являются:

- высокая загрузка материала до 95 ... 97%;
- возможность изготовления деталей сложной конфигурации, включая внутренние полости;
- возможность изменения геометрии деталей во время производственного процесса;
- изготовление композитных деталей со структурой другого типа;
- реконструкция геометрии изношенных деталей.

Таким образом, технологии АТ сочетают в себе преимущество не только порошковой металлургии, такой как высокая загрузка материала (более 0,9), но и преимущества производства литья.

Вышеупомянутые преимущества аддитивных технологий способствуют их внедрению в интенсивные высокотехнологичные отрасли: аэрокосмическую, автомобильную, химическую, медицинскую, имплантологическую и другие. Эти области широко используют конструкционные материалы, которые обладают высоким уровнем сложных механических и эксплуатационных свойств. Среди этих материалов находятся титан и его сплавы. Наиболее распространенными титановыми сплавами, которые используются в аддитивных технологиях, являются сплавы с легирующей системой титан-алюминий-ванадиевый тип VT-6 .

Сегодня существует некоторый уровень методов АТ для изготовления деталей из титановых сплавов, которые могут быть получены «добавлением» технологий в промышленном масштабе для замены устаревающих технологий «вычитания». Одним из основных факторов сдерживания развития промышленных технологий АТ является ограниченный объем производства расходных материалов - высококачественные порошки из титанового сплава. Таким образом, вопросы, связанные с расходными материалами для аддитивных технологий, требующих индивидуального рассмотрения.

Обычно, когда применяется деформируемый заготовкой титановый сплав требуемого химического состава. Заготовка представляет собой конечный продукт сложных технологических этапов металлургической и термомеханической стадий.

Другими важными параметрами порошков титанового сплава, используемых в методах АМ, являются их фракционный состав и форма частиц. По существу, титановые порошки представляют собой частицы титанового сплава сферической формы, которые в ряде источников называются гранулами [3]. Такое распределение частиц по размерам и форма порошков определяются необходимостью компактного складывания в определенном объеме в соответствии с указанными требованиями для количества «текучести» в системах подачи порошковых композиций [4].

Размер и сферическая форма порошков из титанового сплава, полученных различными технологиями распыления, которые основаны на процессах распыления расплавленной металлической титановой металлической детали [5].

В конечном счете, стоимость порошков из титанового сплава в результате существующих технологических процессов колеблется от 200 до 400 долларов за килограмм (в некоторых случаях - 1000 долларов США), что составляет первоначальную высокую стоимость деталей. Эта высокая стоимость обусловлена технологией АМ [6].

В статье, написанной А. Овчинниковым и Ю. Смоляком [7], они высказали мнение, чтобы решить две основные проблемы: снижение стоимости и упрощение технологий производства легированных порошков титана при сохранении вышеперечисленных требований к ним - необходимо улучшить существующие технологии АМ, а также внедрить новую высокоэффективную технологию производства сплавов и порошков.

Целью этой работы является разработка принципиально новой ресурсосберегающей технологической схемы производства порошков из титанового сплава для технологий АМ.

Достижение поставленной цели было достигнуто решением двух последовательных проблем:

1 - получение заготовок из титанового сплава с заданной системой легирования и даже распределение легирующих элементов методом ресурсосбережения;

2 - Получение порошков из титанового сплава с заданным химическим составом и размерами частиц для промышленной воспроизводимой технологии.

Первая задача - получение титановых сплавов с равномерным распределением легирующих элементов - возможно, после получения титановых сплавов на основе титановой губки, легированных предварительно определенным содержанием легирующих элементов.

В ГП «Институт титанов SRD» разработана технология получения титановых сплавов с использованием порошков из титановой губки с заданным содержанием алюминия и ванадия. Эта технология включает в себя получение легированного титана с процессом восстановления магния и вакуумного разделения легированного титанового губчатого блока [7].

На рис.1 показана таблица титановой губки, легированной алюминием и ванадием.

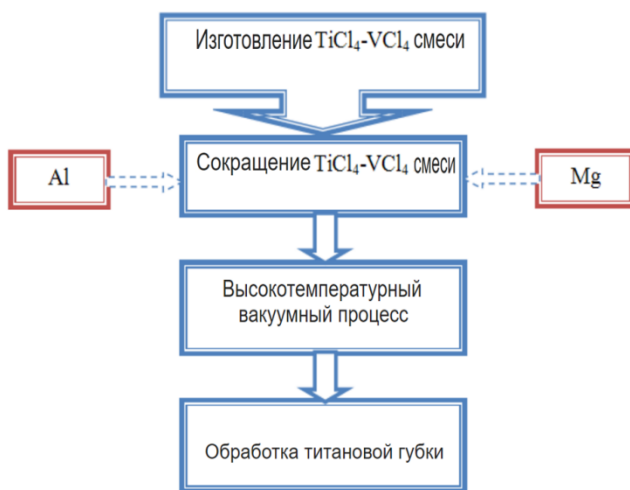


Рисунок 1 - Лист для производства титановой губки, легированной алюминием и ванадием

Анализ химического состава титановых образцов губки, полученных с помощью технологии легирования.

Микроструктура титановой губки была типичной для титановых сплавов (рис.2).

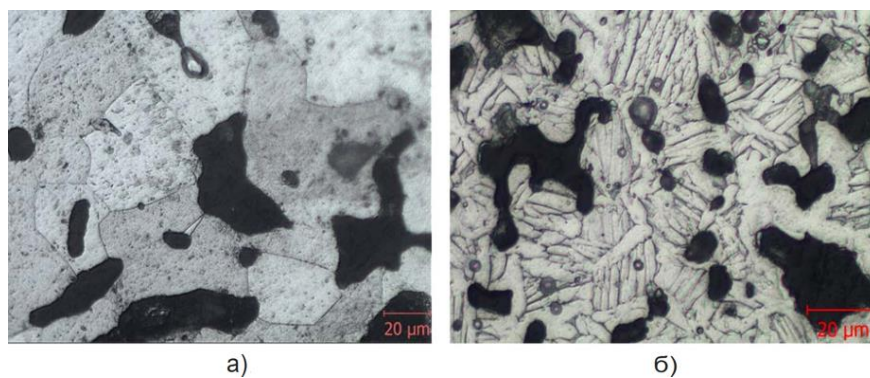


Рисунок 2 - Микроструктура легированной и нелегированной титановой губки, $\times 500$ (а - нелегированная титановая губка; б - титановая губка, легированная алюминием и ванадием)

Результаты рентгеновского микроанализа также подтвердили наличие легирующих элементов в структурных компонентах титановой губки (рис.3).

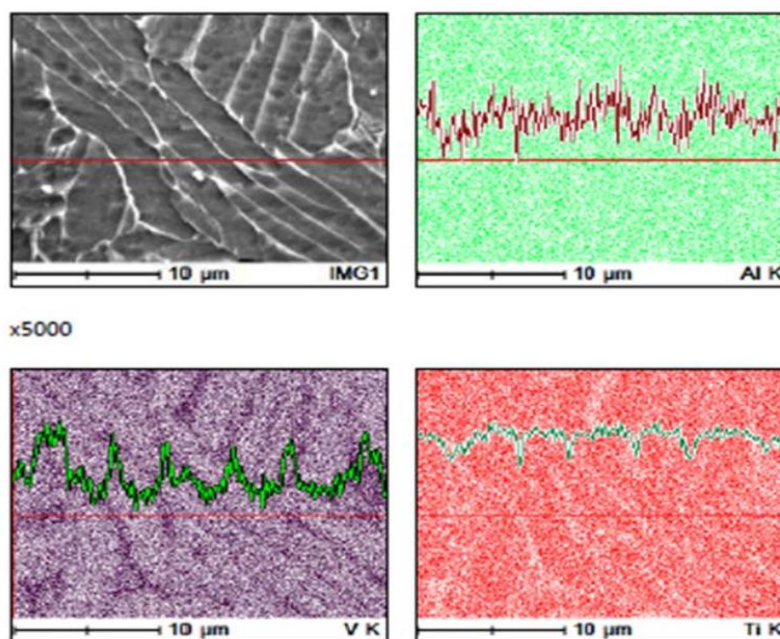


Рисунок 3 - Распределение дисперсионного микроанализа в энергетической дисперсии легирующих элементов в титановой губке [8]

Большое содержание элемента соответствует более интенсивному цвету. Титановая губка может использоваться в качестве матрицы для дальнейшего получения порошков из титанового сплава.

Вторая задача - получение порошков титановых сплавов, predetermined химическим составом и размером частиц, - решен путем измельчения полученной легированной титановой губки.

Измельчение или шлифование легированной титановой губкой осуществляли методом путем термохимического водородного охрупчивания[9].

В результате, полученные методом гидрирования-дегидрирования легированные титановые порошки (Ti-6Al-4V), химический состав которых представлен в таблице 1.

В таблице 1, в соответствии с химическим составом порошок, изготовленный по экспериментальной технологии, для всех элементов превышает стандартный сплав сплава ВТ-6 и порошок Ti-6Al-4V класса 5 и вряд ли дает над примесями к порошкам, полученным диспергированием в плазме.

Таблица 1 - Содержание легирующих элементов и примесей в сплавах, полученных по разработанной технологии, и стандартными методами

| Материал | Содержание легирующих элементов и примесей, % массовой доли | | | | | | |
|---|--|-----------|-----------|--------------|-------------|------|------|
| | N | C | H | Al | V | Fe | O |
| Экспериментальный сплав титановой губки | 0,0 25 | 0,01 9 | 0,0 75 | 5,6 2 | 3,96 | 0,11 | 0,15 |
| HDH порошок Ti-6Al-4V по разработанной технологии | 0,0 26 | 0,01 8 | 0,0 09 | 5,5 9 | 3,96 | 0,11 | 0,18 |
| Сплав VT-6 (бар) | 0,0 50 | 0,10 0 | 0,0 15 | 5,3 -6,8 | 3,5- 5,3 | 0,60 | 0,20 |
| Ti-6Al-4V Сорт 5 (ASTM B348) (бар) | 0,0 50 | 0,08 0 | 0,0 15 | 5,5 -6,75 | 3,5- 4,5 | 0,40 | 0,20 |
| Ti-6Al-4V PREP * (порошок) | 0,0 07 | 0,05 0 | 0,0 03 | 6,4 4 | 3,94 | 0,17 | 0,17 |

* PREP = Процесс плазменного вращающегося электрода

Спецификации порошковых материалов титановых сплавов, используемых для аддитивных технологий, представлены в таблице 2.

На рисунке 4 показана структура сплавов Ti-Al-V, титановых порошков, полученных различными методами и из разных исходных материалов.

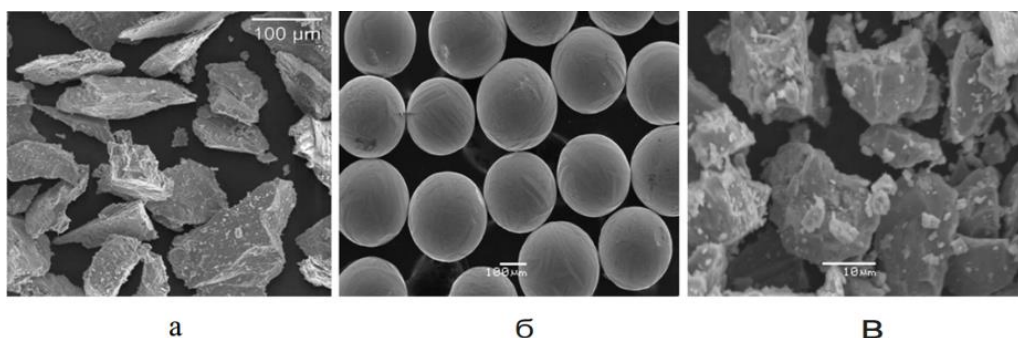


Рисунок 4 - Микроструктура порошков Ti-Al-V (а - порошок, полученный методом HDH из расплавленного слитка с использованием вакуумной дуговой плавки [10]; б - сферический порошок, полученный распылением газа; с - порошок, полученный экспериментальной технологией)

Таблица 2 - Характеристики порошкообразных материалов титановых сплавов, используемых для аддитивных технологий

| № | Производитель | Доля, микрон | Форма частиц | Метод получения | Цена, \$ | Плотность, г / см ³ |
|---|------------------------|---------------------|--------------|-------------------|----------|--------------------------------|
| 1 | ATI порошковые металлы | - 150+45 | сфера | распыление газа | 416 | |
| 2 | Raymor Industries Inc. | - 160+45 (- 250+30) | сфера | распыление плазмы | 260 | 2,5 |
| 3 | Baoji Orchid Titanium | - | сфера | PREP | 185 | |

| | | | | | | |
|--------|---------------------------------|-------------|--|-------------------------------------|-------------|------|
| | Industry Co. Ltd. | 210+45 | | | | |
| 4 | TLS Technik GmbH & Co. | - 150+53 | сфера | распылени е газа | 160 | |
| 5 | Tekna Plasma Systems Inc | - 150+37 | сферои д | распылени е плазмы | | |
| 6 | Affinity International | -150 | сфера | распылени е газа и PREP | | |
| 7 | Компания Arcam | - 106+45 | сфера/ сферои д | распылени е плазмы | | 2,65 |
| 8 | АМТЕК, Inc. | - 150+45 | сфера/ сферои д | Плазменна я сфероидизац ия | | |
| 9 | НПО «РУСРЕДМЕТ » | 106+2 5 | сфера | распылени е плазмы | 400 | 2,04 |
| 1 0 | ГП «Институт титанов SRD» | - 100+50 | не сферичес кая / сферои д | HDH | 110- 130 | 2,11 |

* PREP = Процесс плазменного вращающегося электрода, HDH = метод гидрирования-дегидрирования

Из анализа микроструктуры порошков (рис.4) очевидно, что структура порошков, полученных экспериментальной технологией, является несферической. Частицы порошка имеют несферическую угловую форму и, следовательно, имеют более низкую текучесть. Однако частицы с угловой формой могут обеспечить более низкую пористость порошковых продуктов. В настоящее время существуют возможность сферонизации обезвоженных порошков.

Таким образом, предлагаемая технологическая схема получения порошков из титанового сплава будет выглядеть следующим образом (рис.5).

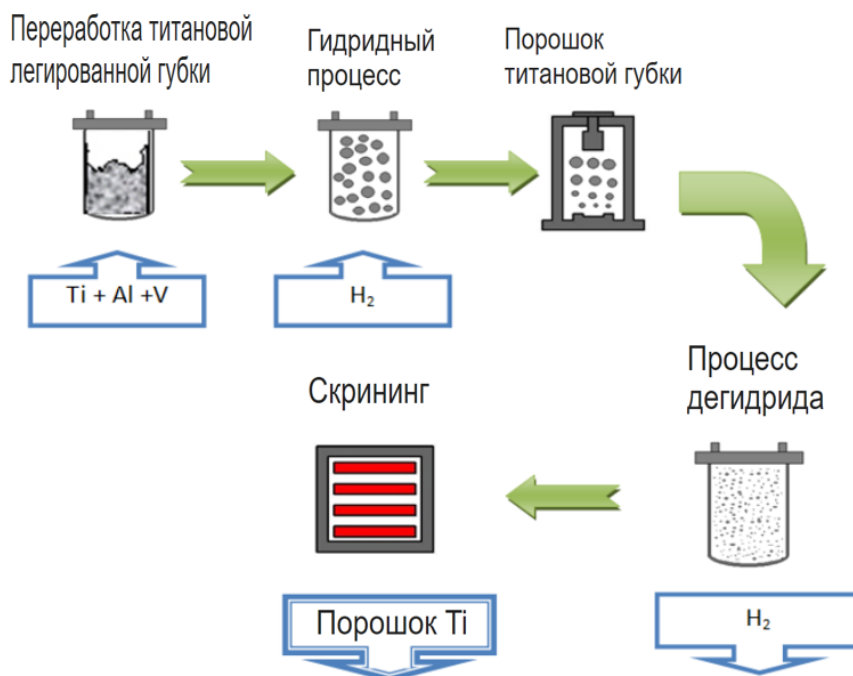


Рисунок 5 - Предлагаемая экспериментальная технологическая схема
получения порошков из титанового сплава

Как следует из анализа данных, показанных на рис.5, включая смешивание титановой партии с лигатурами, вакуумный переплав, плавление слитков, их распыление в специальные комплексные устройства - форсунки, а также обеспечивают возможность производства на основе порошкового существующего промышленного оборудования.

В целом мы можем сделать следующие выводы:

- разработана технология легирования титановой губкой методом магниевого термического восстановления, которая позволяет получать титановую губку

- технология получения легированной титановой губки позволяет исключить дорогостоящие и технологически сложные операции по смешиванию титанового заряда.

1.2 Исследования по производству недорогих титановых порошков

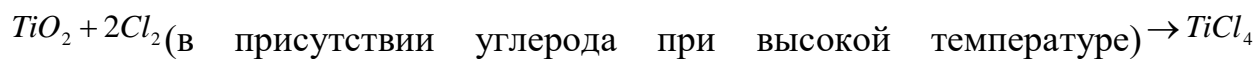
Титан и его сплавы являются привлекательными материалами для использования в аэрокосмической и наземной системах. Однако основным препятствием для более широкого использования материалов на основе титана (например, в дорожной автомобильной промышленности) является их высокая стоимость. Для того, чтобы титан попал на большой объем автомобильного рынка (16 миллионов легковых и легких грузовиков в год в США), это потребует снижения стоимости титана до 1-2 долларов за фунт. Даже один килограмм титана, используемый на автомобиль, увеличит его использование на 30% [11]. Таким образом, разработка альтернативных недорогих методов вместо ныне применяемого процесса Кролла¹ имеет потенциал для революционизирования титановой промышленности.

Подход титановой порошковой металлургии позволяет экономически выгодное производство деталей с неэлектрической формой. Однако на сегодняшний день индустрия столкнулась с дилеммой либо использовать недорогие мелочи для губки, которые приводят к ухудшению свойств (особенно усталости) из-за присутствующего хлорида, или используют дорогостоящие предварительно обработанные порошки. Несколько лет назад мелочь губки с содержанием хлорида менее 150 ppm производилась электролитическим процессом на экспериментальной установке, и недавно был некоторый возобновленный интерес к этому подходу к производству губки с

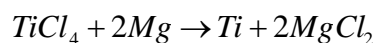
использованием более оптимизированного процесса. Порошки титана с коммерческой чистотой с содержанием хлорида менее 10 ppm могут быть получены либо путем измельчения гидрированного слитого материала с последующим дегидрированием, либо с помощью процесса AlTi, который основан на реакции TiO₂ с солями фтора с последующим восстановлением алюминием в цинке носитель. Полученный таким образом порошок титана с гидридом / дегидридом является дорогостоящим, в то время как порошок AlTi недоступен в продаже [12].

Другая статья, написанная Ф. Х. Фрошем [13], описывает описывается характеристика порошков, полученных методом восстановления гидрида металла, разработанная в России совместно с продуктами ADMA, Twinsburg, Ohio и механически легированным порошком, где механически легированный порошок использовался для индукции химических реакций для получения титана при низких температуры и низкой стоимости.

Обычный способ получения титана из оксида титана представляет собой многоступенчатый процесс, включающий превращение оксида в хлорид с последующим восстановлением хлорида до металла. Обычно титановая губка образуется путем восстановления TiCl₄ магнием при температуре выше 800 °C [14]. Двухстадийный процесс получения титана, начиная с оксида, может быть представлен следующими реакциями:



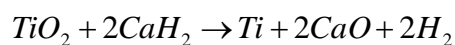
(1)



(2)

В дополнение к титану, реакция 2 вызывает $MgCl_2$. Этот побочный продукт выщелачивается для получения губчатого титана с уровнем загрязнения хлорида 1500 ppm или менее [15]. Стоимость производства титана высока из-за большого потребления энергии, проблем, связанных с повышенными температурами, и трудностей, связанных с удалением $MgCl_2$.

Стоимость производства титана будет снижена, если бы металл мог быть получен путем прямого восстановления. В прошлом была продемонстрирована возможность такой реакции восстановления. В настоящее время известный коммерчески жизнеспособный способ восстановления оксида представляет собой процесс восстановления металлогидридов при высокой температуре (1100 °C), как показано в



(3)

Процесс восстановления металлического гидроксида дает хлористый титановый порошок в одностадийной реакции. Уравнение 3 также показывает возможность образования TiH_2 , если реакцию можно проводить при низких температурах, при которых TiH_2 стабилен. Программа преследует две цели:

характеристику порошка титана, полученного при высокой температуре в России и развитие процесса низкотемпературной для уменьшения TiO_2 по CaH_2 [16].

Среди известных в настоящее время процессов для получения высококачественного титанового порошка самая дешевая российская технология, связанная с уменьшением TiO_2 по CaH_2 при 1000-1100 ° С. В Соединенных Штатах Америки предпринимаются усилия по внедрению этой технологии. Таким образом, лучшая технология, разработанная в Соединенных Штатах для производства тонкого титанового порошка при низких затратах, будет привлекательным предложением.

Настоящая работа наглядно демонстрирует, что восстановление можно индуцировать при низких температурах через метод МА. Применение комбинации МА и низкотемпературной термообработки дает тонкий титановый порошок по более низкой цене по сравнению с российским высокотемпературным процессом. Стоимость титанового порошка, производимого МА-маршрутом, составит менее 5 долларов США против 12 долларов США за российский порошок. Все остальные порошки из разных частей мира в зависимости от качества [17]. Полное сравнение стоимости титанового порошка схематически показано на рисунке 6. Успех в низкосортном синтезе титанового порошка откроет различные возможности

для существующих компаний по производству порошковой металлургии, а также венчурных капиталистов.

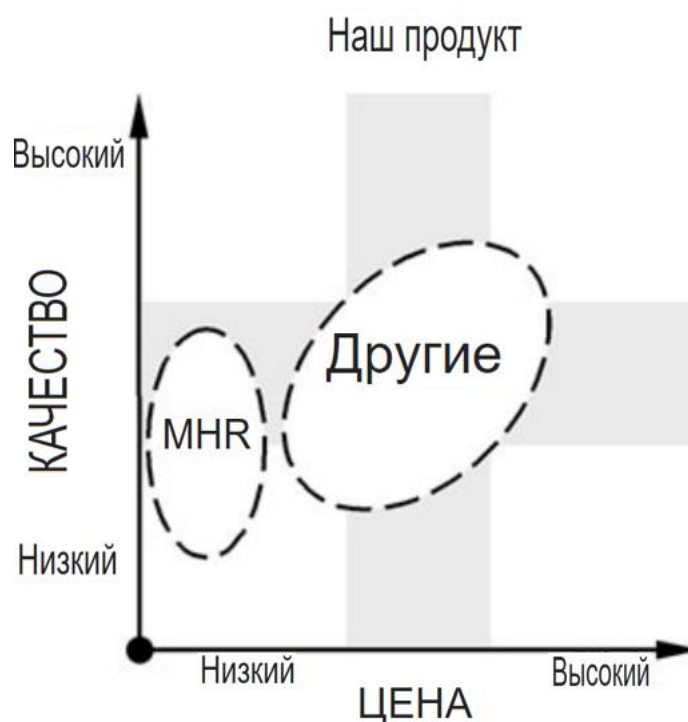


Рисунок 6 - Схематическое сравнение расчетной стоимости порошка титана, полученного в процессе MHR, и другими процессами

Вникаем в характеристики титанового порошка, полученного при высокой температуре.

Предварительно обработанные и CP титановые порошки были получены из диоксида титана реакцией восстановления с гидридом кальция продуктами ADMA, Россия. Порошковый продукт, полученный реакцией восстановления высокой температуры, показанной уравнением 3, был совместно оценен исследователями из Университета Айдахо и ADMA в Соединенных Штатах. Химическую реакцию проводили при температуре 1100-1200 ° С. Для

получения предварительно полученного порошка в реакции использовалась смесь оксида титана и порошков мастер-сплава. Этот способ получения титанового порошка не требует образования тетрахлорида титана. В результате порошки содержат небольшое количество хлорида. Химический состав порошка CP-титана составлял Ti-0,34H-0,19O-0,11Fe-0,07Ni-0,06N-0,05Si-0,04Ca-0,03C-0,004Cl (мас.%). Химический состав предварительно сплавленного Ti-6Al-4V составлял Ti-4,65Al-3,8V-0,3H-0,20O-0,06Ca-0,06N-0,003 Cl (мас.%) [18].

Порошки CP-титана и Ti-6Al-4V, полученные методом редукции кальция, показаны на рисунках 7 и 8 соответственно. Частицы порошка имеют губчатую морфологию и состоят из конгломерата мелких частиц, сваренных вместе во время процесса реакции восстановления. Чтобы определить зависимость морфологии порошка от размера частиц, порошки были разделены на четыре фракции: выше 150 мкм и ниже 215 мкм (одна); между 75-150 мкм (два); между 63-75 мкм (три); и ниже 63 мкм (четыре). Распределения частиц приведены в таблице 3.

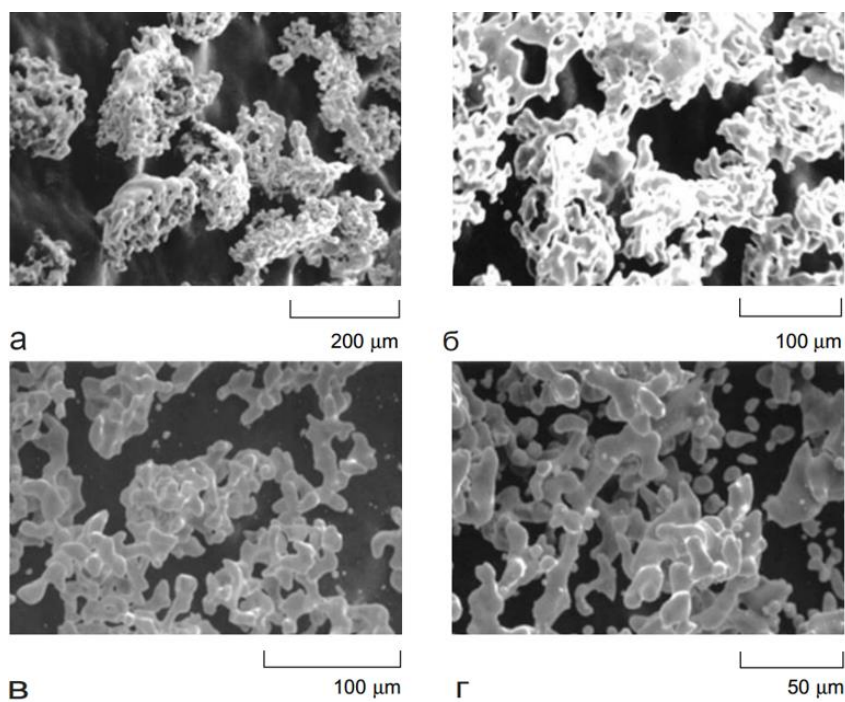


Рисунок 7 - Сканирование электронных микрофотографий порошка СР титана. Размер частиц составляет (а) 150-215 мкм, (б) 75-150 мкм, (в) 63-75 мкм и (г) ниже 63 мкм.

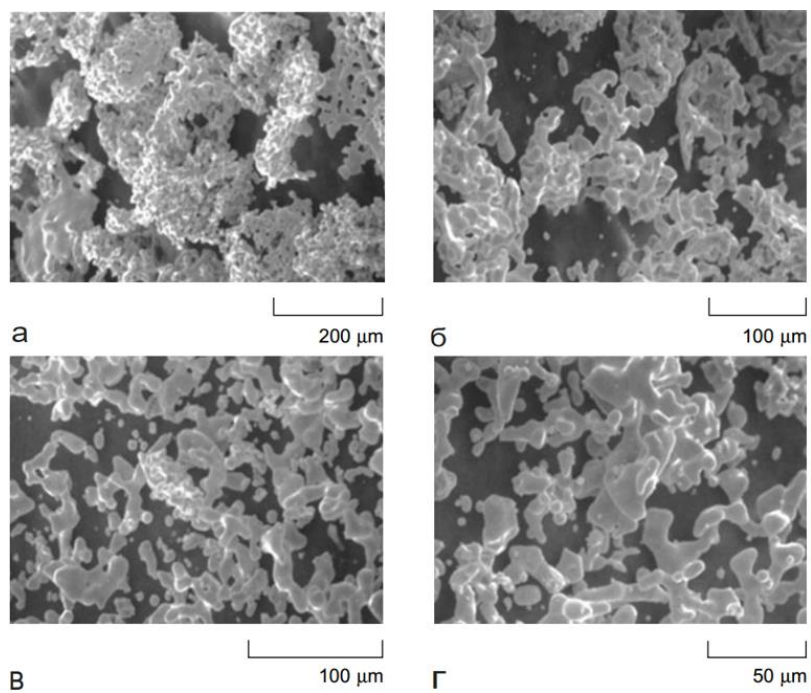


Рисунок 8 - Сканирование электронных микрофотографий порошка Ti-6Al-4V. Размер частиц составляет (а) 150-215 мкм, (б) 75-150 мкм, (в) 63-75 мкм и (г) ниже 63 мкм.

Таблица 3. Объемная доля порошков с различными размерами частиц

| Размер частиц (D) | Объемная доля (%) | |
|-----------------------|-------------------|-----------|
| | Титан | Ti-6Al-4V |
| D < 63 мкм | 20 | 41 |
| 63 мкм < D < 75 мкм | 36 | 27 |
| 75 мкм < D < 150 мкм | 39 | 23 |
| 150 мкм < D < 212 мкм | 5 | 9 |

Фракции 1 и 2 состоят из очень пористых губчатых частиц (рис. 7а, 7б, 8а и 8б). Эти частицы, по-видимому, являются конгломератом многих мелких частиц, сваренных вместе [19].

Фракции три и четыре имеют совершенно другую морфологию, чем описанная. Частицы дендритные (рис. 7в, 7г, 8в и 8г). Их морфология сложная, состоящая из очень мелких частиц, свариваемых вместе, но эти мелкие частицы не являются губчатыми, и поэтому частицы намного плотнее.

Фракция четвертая состоит из полностью плотных частиц. В этой фракции имеется много отдельных сферических частиц (рис. 7г и 8г).

Характеристики спекания порошков MHR сравнивались с характеристиками порошков CP, полученных методом HDH в Северо-Западном институте цветных металлов, Баоцзи, Китай. Образцы подвергали холодной прокатке при давлении 400-550 МПа и спекали при 1093 ° C, 1150 ° C и 1204 ° C с циклом спекания в течение четырех часов для каждой температуры (табл. II). Образцы, спеченные из MHR и HDH CP титановых порошков, демонстрировали почти одинаковые уровни пористости, при этом уровень пористости уменьшался по мере увеличения температуры. Например, объемная доля пор в обоих типах образцов была выше (16%) после спекания при 1,093 ° C, чем при 1204 ° C (7,8%). Пористость в MHR Ti-6Al-4V несколько выше, чем в соответствующих образцах MHR CP титана. Эти результаты показывают, что части, спеченные из недорогого порошка титана титана MHR, имеют такую же плотность, что и частицы, полученные из значительно более дорогого порошка HDH.

В недавней разработке McCormick et al. продемонстрировал прямое восстановление $TiCl_4$ магнием при температуре окружающей среды путем механохимической обработки. Это расширение МА для химического доработки через твердотельные реакции. Энергия воздействующих шаров МА придает местному повышению температуры реагентам при фрезеровании. Поэтому высокотемпературные твердотельные реакции могут быть проведены при комнатной температуре с использованием этого процесса. Контроль размера

мелкозернистого продукта является одним из преимуществ процесса МА. Аналогичным образом мы уменьшили TiO_2 с CaH_2 .

Для развития современных технологий от лаборатории до промышленности необходимы пять изменений. Во-первых, процесс должен быть увеличен с нынешних нескольких граммов до уровня 100 грамм в университете для изучения проблем, связанных с увеличением массы реагентов. Во-вторых, будут разработаны экспериментальные методы для контроля размера частиц порошка титан-гидрид для минимизации его реакционной способности во время выщелачивания. В-третьих, исследователи должны дополнительно сократить потребление энергии для процесса путем оптимизации параметров обработки. В-четвертых, загрязнение должно быть сведено к минимуму за счет улучшения процесса выщелачивания и создания лучших установок для обработки порошка, чем в настоящее время в университетской лаборатории. В-пятых, Университет Айдахо в сотрудничестве с ADMA Products продемонстрирует производство консолидированных компонентов. Наконец, исследователи должны подробно описать порошок и компакты на разных стадиях синтеза и консолидации.

1.3 Передовые технологии титанового порошка

Одной из основных тем на Titanium 2012 были аддитивные технологии производства для создания чистых частей титанового порошка. Как обсуждалось в предыдущих статьях [20], эти технологии включают прямое металлическое лазерное спекание, лазерное формование сетки, электронно-лучевое плавление и образование ионного плавления. Однако все зависит от качества порошка для достижения конечных свойств. Следующие возмущения были сосредоточены на передовых технологиях для производства высококачественного порошка при минимизации затрат. В целом, они уже коммерциализированы или находятся на стадии экспериментального развития.

Они включают в себя вариации процесса Кролла, способы смешивания элементарных порошков, обработку блочных порошков в сферические формы и литье под давлением металла. Презентации, представленные здесь, были с помощью продуктов ADMA [21]; Институт физики металлов; Аметекские сплавы для чтения; CSIRO; и элемент 22. М.В. Матвийчук из продуктов ADMA обсудил «Смешанные титановые сплавы с порошкообразным порошком, усиленные термической обработкой» [22]. Он сообщил об исследовании, показывающем, что высокопрочные титановые сплавы могут быть успешно спечены методом смешанной элементной порошковой металлургии (ВЕРМ) с использованием порошка гидрида титана.

Кроме того, их механические свойства можно улучшить с помощью процессов после спекания. В исследование были включены следующие сплавы: Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr, Ti-10V-2Fe-3Al и Ti-1Al-8V-5Fe. Из-за ограниченного пространства в этом резюме будут рассмотрены только результаты исследования Ti-1Al-8V-5Fe, низкотратного / высокопрочного сплава, разработанного в 1950-х годах, который был прекращен из-за сегрегации железа, которое происходит во время плавления [23]. В целях достижения высоких свойств в этом сплаве термомеханическая обработка проводилась на заготовке Ti-1Al-8V-5Fe, которая была получена по новому недорогому ВЕРМ-процессу, в котором основным материалом был порошок TiH₂. Горячая обработка с последующим спеканием не только устраняла пористость, но и развивала микроструктуры, которые приводили к высокой прочности.

Испытания на растяжение проводились на подвергнутых прокатке и термообработанных материалах для оценки их механических свойств, и результаты показали, что они хорошо согласуются с высокими механическими свойствами, полученными обычными способами. Д-р Матвийчук пришел к выводу, что исследование показало, что подход ВЕРМ особенно важен для сплавов, которые трудно производить с помощью слитной металлургии.

Для этих сплавов контролируемое образование мелких зерен, уменьшенная пористость во время спекания сплавов, правильно подобранная термомеханическая обработка после агломерации и правильная термообработка

вместе позволяют достичь свойств, соответствующих требуемым спецификациям высокой прочности. По словам доктора В.А. Duz из продуктов ADMA, одна из причин того, что титановая порошковая металлургия не полностью развита, - это отсутствие недорогого высококачественного титанового порошка. Он отметил в «Трансформационном процессе без кролов: гидрирование титанового порошка», что некоторые из причин включают вопросы химии, что означает высокое содержание примесей, таких как хлор, магний и натрий; и проблемы с недвижимостью, что означает низкие низкоурожайные усталостные свойства, низкую вязкость разрушения и проблемы свариваемости. Он пояснил, что после того, как исследователи ADMA завершили обширный обзор различных путей производства титанового порошка, они решили, что только плавление может удалить примеси и сделать титан и титановые сплавы приемлемыми для критических применений.

Его презентация показала, что восстановление магния хлорида титана с последующим гидрированием может быть самым рентабельным подходом к производству высококачественного титанового порошка. Поэтому исследователи разработали технологию, основанную на разрушении массы титановой губки при ее насыщении водородом в порошок гидрида титана.

Для получения порошка тетрахлорид титана восстанавливается магнием, а титановая губка очищается путем вакуумной перегонки и гидрирования. Важным аспектом процесса является введение дополнительного порошка

гидрида титана вместе с тетрагидридом титана. Этот добавленный порошок положительно влияет на кинетику процесса восстановления магния, вызывая выделение дополнительного атомарного водорода, что помогает уменьшить окислы в системе, очищает межчастичные границы раздела продукта и усиливает диффузию компонентов в порошковой смеси.

Дополнительный водород значительно снижает время вакуумной дистилляции, увеличивает производительность печи, снижает потребление электроэнергии и снижает затраты на рабочую силу. В результате стоимость порошка ADMA TiH₂ на 15% ниже, чем стоимость обычной губки Ti. В настоящее время строится блок экспериментальной шкалы мощностью 660 фунтов на пробег для производства порошков TiH₂ и будет установлен к концу 2012 года.

Другой подход, упомянутый X. Goso [24], который использует преимущества недорогих порошков TiH₂, был представлен д-ром Колином МакКракен из Ametek Reading Alloys [25]. Он пояснил в разделе «Плазменные сфероидизированные титановые порошки», что эти порошки основаны на TiH₂ и поэтому являются более дешевой альтернативой порошкам, полученным с помощью PREP и распыления газа / плазмы.

Процесс сфероидизации плазмы представляет собой крупномасштабный пакетный процесс, в котором мелкие гидрид-дегидридные (HDH) - обработанные порошки сделаны сферическими. Диапазон распределения

частиц по размерам (PSD) порошка predetermined на стадии процесса HDH, тем самым улучшая выход и использование порошка [26]. Процесс HDH основан на том факте, что титан имеет очень высокое сродство к междуэлементам, таким как кислород, водород, азот и углерод. При нагревании в атмосфере водорода стабильный, но хрупкий гидрид титана (дельта-фаза) получают в результате следующей реакции: Гидрид титана может быть легко измельчен, измельчен, и просеивают в порошок гидроксида титана.

Эти блочные угловые порошки идеально подходят для прессования / агломерации, SIP / агломерата, уплотнения валков и плазменного напыления. Однако для более совершенных технологий частицы порошка должны быть сферическими.

После долгих исследований и разработок Ametek / Reading Alloys разработали недорогой метод получения сферического порошка высокой чистоты из блочного порошка [27]. Порошок подается в поле индукционной связи, где частицы расплавляются, а затем затвердевают в сферических формах.

Полученная морфология очень похожа на сферические частицы, полученные способом плазменного вращающегося электрода (PREP), но ниже по стоимости [28]. Он не содержит агломератов и спутников, что устраняет захват аргонового газа. Плазмашероидированный порошок имеет значительно более высокую кажущуюся плотность и поток порошка по сравнению с исходным сырьем. Процесс PS может обеспечить полный спектр распределения частиц по

размерам: от грубого до тонкого, а порошки из титана PS идеально подходят для передовых технологий производства, таких как HIP, производство присадок и литье под давлением металла.

Еще одна программа по производству сферических порошков для производства присадок была обсуждена доктором Кристиан Доблин из Австралийской организации научных и промышленных исследований Содружества (CSIRO) [29]. Он сообщил о «Продолжающейся разработке процесса TiRO», который основан на химии партийного процесса Кролла, в котором тетрахлорид титана восстанавливается магнием. Целью процесса TiRO является непрерывное производство высококачественного титанового порошка по технологии с псевдооживленным слоем.

Хотя химия похожа на химическую реакцию процесса Кролла, TiRO работает в температурном диапазоне, подходящем для технологии с псевдооживленным слоем. Он использует принцип, согласно которому при взвешивании в газе твердые частицы ведут себя как жидкость и реагируют быстрее. Таким образом, шаг разделения хлора Кролла был переработан и интегрирован в общий процесс TiRO. Результатом является система производства порошка, способная непрерывно производить высококачественный титановый порошок, подходящий для почти чистого изготовления в течение части времени с минимальными отходами.

Кроме того, условия процесса могут быть скорректированы для создания частиц, имеющих форму и размер, чтобы соответствовать различным приложениям, расположенным ниже по потоку. Это является преимуществом для методов изготовления, при которых порошки могут быть консолидированы напрямую, тем самым избегая переплавки. Порошковый продукт может быть сконструирован для нижестоящих технологий, таких как горячее изостатическое прессование, литье под давлением металла, холодный спрей и лазерное формование.

В течение двухлетнего периода CSIRO усовершенствовала реактор с псевдооживленным слоем и построила пилотную систему с производительностью 2,0 кг / час. Этот реактор подходит для масштабирования до коммерческих размеров и будет поддерживать разработку демонстрационной установки мощностью 100 метрических тонн в год.

В настоящее время проект готов к расширению промышленного производства. Маттиас Шарвогель из Элемента 22 описал, как сферические порошки можно использовать в литье под давлением металла (MIM), который имеет только один рабочий шаг: заполнение литейной формы. Этот шаг определяет конечную геометрию, которая может быть настолько сложной, что это было бы невозможно или слишком дорого производить обычными методами.

Чтобы начать процесс, металлический порошок смешивают со связующим веществом, образуя исходное сырье, которое прессуется обычной коммерческой машиной для инъекций в пресс-форму под высоким давлением при приблизительно 100 ° С. Прессованная зеленая часть имеет конечную геометрию, но она очень хрупкая. На следующем этапе связующее вещество удаляется в многоступенчатом химическом и термическом процессе, что приводит к металлической части с высокой пористостью. На последней стадии часть спекают при приблизительно 1200 ° С для уплотнения порошка и образуют прочный твердый металлический компонент. До сих пор сильная зависимость механических характеристик титана от содержания кислорода, азота и углерода в частности исключала любое коммерческое использование этой технологии. Однако в сотрудничестве с научно-исследовательскими институтами Element22 смог преодолеть эти проблемы и теперь способен производить компоненты из Ti-6Al-7Nb с механическими свойствами, эквивалентными механическим свойствам, полученным с помощью обычных технологий.

Таким образом, титановые детали, изготовленные с помощью МПМ, в настоящее время производятся для медицинских устройств. Титан и его сплавы являются почти идеальными материалами для медицинских технологий, особенно для имплантатов, потому что он не токсичен и не отвергается организмом человека, а также не вызывает аллергических реакций. Кроме того,

титановые материалы являются немагнитными и, следовательно, не требуют магнитно-резонансной томографии (МРТ). Благодаря этим свойствам и способности создавать небольшие сложные детали, титановые МИМ-устройства проникают в медицинский рынок.

1.4 Производство металлического порошка титана методом HDH

Титан представляет собой металлический переходный элемент. Это четвертый наиболее распространенный структурный металл. Он относится к категории легких элементов. Титан легко может быть легирован другими широко используемыми элементами, такими как железо и алюминий.

В настоящее время большая часть титана коммерчески производится в виде губки путем восстановления тетрахлорида титана магнием в так называемом процессе Кролла (названном в честь Уильяма Кролла, который изобрел этот процесс в 1946 году) [30].

Основные рынки титана включают коммерческие аэрокосмические, оборонные, промышленные, медицинские, бытовые и новые приложения. Наиболее типичными процессами, используемыми для получения титанового металла для этих применений являются процессы с низкой чистотой, такие как литье и порошковая металлургия. Титановый слиток также можно использовать по стоимости. Кроме того, слиток нельзя использовать непосредственно из-за его плохой механической обработки или свойств изготовления. Операции литья являются дорогостоящими и приводят к относительно высоким потерям урожая. Источники высокой стоимости литья включают в себя трудоемкий препарат индукционного плавильного электрода, множественную последовательность расплава и промежуточное и окончательное кондиционирование. Следовательно, альтернативные процессы получения

губки, такие как порошковая металлургия, являются предметом интенсивных исследований.

В порошковой металлургии получают порошки из титанового металла, дополнительно уплотняют и спекают для получения полезных продуктов для различных секторов. Существуют два основных подхода, используемых для производства порошков из титанового сплава; то есть предварительно спланированные и смешанные элементарные методы. В предыдущем подходе к использованию готовых компонентов из сплава перед последующим легированием. Такой подход имеет более высокую стоимость.

Однако смешанный элементный подход использует чистый титан и другие компоненты сплава или мастер-сплав (например, 60:40 Al: V) для получения пригодного сплава Ti-6Al-4V [31]. Этот подход относительно дешевле и приводит к конкурентным сплавам. Более того, этот подход открыт для включения армирующих частиц в титановый порошок до изготовления последующих компонентов. Основными источниками титанового порошка для смешанного элементарного подхода являются губчатый продукт магнетизма Кролла и титановый лом. В противоположность этому поверхность титанового лома обычно загрязнена смазкой, смазочным маслом и / или оксидной пленкой, которая может быть перенесена на следующий титановый порошок. Поэтому для устранения этих источников загрязнения создаются дополнительные этапы обработки, что увеличивает стоимость процесса. Первичная чистота продукта

жизненно важна для последующих характеристик сплава, и сохранение экономической жизнеспособности процесса одинаково важно; поэтому титановый порошок для использования в смешанном элементарном подходе в основном производится из титановой губки.

В общем, существует ряд важных характеристик, которые должен иметь порошок титана для упрочнения металлургической консолидации. Во-первых, порошок должен быть относительно хорош. Это обеспечивает высокую плотность упаковки, тем самым уменьшая пористость. Это также способствует развитию сильных связей во время спекания, тем самым усиливая силу. Чем мельче порошок, тем выше конечная плотность и тем сильнее компонент. Во-вторых, частицы порошка должны быть полусферическими. Некоторая угловатость частиц может способствовать уплотнению и спеканию, но выше определенной точки угловатость становится противодействующей. Частицы могут иметь только особые поверхностные покрытия или изменения, поскольку это может существенно повлиять на прочность конечных компонентов. Наконец, важно, чтобы частицы были композиционно однородными, поскольку в случае порошков сплавов гетерогенность может нарушить преимущества, полученные с использованием сплава.

Процессы, используемые для получения чистого титанового порошка для смешанного элементарного подхода, включают химическое восстановление (восстановление TiO_2 по Mg), распыление газа, механическое легирование,

плазмообразующий электрод (PREP) и гидрирование-дегидрирование (HDH). Среди этих процессов наиболее распространены газовое распыление, PREP и HDH. Порошок, полученный распылением газа, имеет сферическую форму и имеет диапазон распределения частиц по размерам (PSD) от 50 до 300 мкм, который является конкурентоспособным на глобальном уровне. Однако установка процесса относительно сложна. С другой стороны, порошок, полученный способом PREP, является сферическим и имеет диапазон PSD от 100 до 300 мкм [32]. Этот порошок обладает хорошими текучими и упаковочными свойствами и, таким образом, идеально подходит для высококачественных профилей. Однако это относительно дорого.

Текущий проект последовал за процессом HDH. Основной целью этой работы было создание титанового порошка для порошковой металлургической консолидации для изготовления титановых компонентов путем смешанного элементарного подхода. С титаном, как и с другими элементами IV группы, можно вводить большие количества водорода при повышенных температурах. Водород реагирует с титаном с образованием гидрида титана (TiH_2), который является хрупким и легко измельчается. TiH_2 может содержать содержание водорода от 3,5 до 4,5 мас.% [33].

Для измельчения хрупкого среди таких опций, как шаровое фрезерование, струйное фрезерование и мокрое фрезерование, было определено, что наиболее подходящим является сухое шаровое фрезерование с газовым одеялом из

аргона. Простая и эффективная эксплуатация мельницы в этой конфигурации, что позволяет легко изменять условия испытаний и обеспечивает большую гибкость в порошковых продуктах. Кроме того, шаровые мельницы имеют тенденцию производить измельченный продукт с большим изменением размера частиц.

После калибровки TiH_2 интерстициальный водород затем удаляют с использованием вакуумной термообработки (вакуум используется для устранения реакции титана с кислородом и азотом) для получения металлического порошка титана. По сравнению с другими способами получения порошка, процесс HDH может вводить более высокие уровни загрязняющих веществ и делает конечный порошок менее подходящим для использования в критических аэрокосмических применениях. Тем не менее, легкость, с которой осуществляется установка процесса, делает ее особенно хорошо подходящей для приготовления порошков для текущей работы. Кроме того, измельчение губки через HDH-процесс дает гораздо большую гибкость при манипулировании PSD порошка, что является важным соображением в последующей порошковой металлургической консолидации. Для того, чтобы измерить порошок Ti , который должен быть получен, была проведена съемка из имеющегося в продаже порошка Ti ; типичный химический состав коммерческого титанового порошка приведен в таблице 4 [34].

Таблица 4. Типичный химический состав коммерческих титановых порошков

| Типичный химический состав коммерческих титановых порошков (мас.%) | | | | | | |
|---|---------------|------|----------|---------------|---------------|------------------------------------|
| | Fe | H | C | N | O | Приложе ния |
| Титан овый порошо к | 0.20– 0.50 | 0.01 | 0.0 8 | 0.03– 0.05 | 0.18– 0.40 | Промыш ленные применен ия |

Как гидрид титана, так и титановый металл в форме тонкого порошка являются высоко взрывоопасными. Важно избегать любых условий, которые имеют тенденцию приостанавливать частицы в воздухе. Необходимо также принять меры предосторожности, чтобы предотвратить накопление статического электричества или создание искр. Необходимо ввести инертную атмосферу аргона, где могут образоваться пылевые облака. Азот нельзя использовать, потому что он реагирует с титаном с образованием нитрида титана. Было также проведено исследование опасности и работоспособности для определения и оценки других потенциальных личных и экологических рисков, связанных с планируемой планировкой экспериментального оборудования [35]. Результаты этого исследования показали, что измельченный и титановый металл следует обрабатывать в заполненном аргоном перчаточном ящике, когда это возможно, для реагирования на риски безопасности,

связанные с тонким порошком гидрида титана и титанового металла. Содержание кислорода в перчаточном ящике должно поддерживаться ниже 5% для устранения потенциальных опасностей.

Титановая губка, изготовленная методом Кролла, была предоставлена Insimbi Alloy Suppliers Ltd. (Pty) [36]. Губка Кролла была в форме частиц с верхним размером менее 3 мм. Образец подвергали химическому анализу для оценки содержания второстепенных элементов - результаты суммированы в таблице 5. Mg, Cr, Fe, Co и Ni в различных образцах титана определяли по модели «Spectro citros vision» для индуктивно-связанной плазменной оптической эмиссионной спектрометрии (ICP-OES). Для определения углерода применялся метод LECO сжигания в модели детектора CS-200. Азот и кислород определяли с помощью детектора ELTRA 0N900 O-N. Хлориды определяли с помощью ультрафиолетового спектрофотометра (УФ) - модели DR Lange CADAS 50 с. Содержание водорода в TiH₂ и дегидрированном порошке определяли в Bruker с помощью анализатора G8 GALILEO.

Морфологический и фазовый химический состав различных титановых образцов определяли с помощью приборов для сканирующей электронной микроскопии Джоэла 840 (SEM) и Siemens D500 Xray (XRD) соответственно. Анализ PSD измельченной гидрированной титановой губки проводили с использованием Malvern Mastersizer® 2000.

Таблица 5 Химический состав «получаемой» титановой губки

| Химический состав «получаемой» титановой губки (мас.%) | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Mg | Cr | Fe | Co | Ni | C | N | O | Cl |
| Ti губка | 0.07 | 0.13 | 0.44 | 0.16 | 0.07 | 0.03 | 0.01 | 0.24 | 0.81 |

Блок-схема процесса HDH для производства чистого титанового порошка представлена на рисунке 9. Как показано на блок-схеме, процесс HDH используется для преобразования титановой губки в порошок титана.



Рисунок 9 - Схема процесса HDH для производства порошка титана из губки

Дискретные массы из 15 г титановой губки взвешивались в соответствующих лотках для образцов и помещались в центре кварцевого трубчатого реактора диаметром 25 мм в горизонтальной трубчатой печи. В каждом прогоне были обработаны две пробные лодки, общая масса которых составляла 30 г за ход. Также использовался высокочистый 75-миллиметровый алюминиевый трубчатый реактор, где в реактор помещалось 150 г титанового губчатого материала. Входное отверстие трубки из кварца или оксида алюминия было соединено с контроллером массового расхода, который использовался для контроля количества газа (аргона и водорода), проходящего через реакцию

трубку. Выход реактора был соединен с нагревательным органическим маслом (барботером), чтобы обеспечить герметизацию системы и что небольшой избыточный водород не выбрасывался непосредственно в атмосферу. Схематический чертеж установки оборудования показан на рисунке 10 [37].

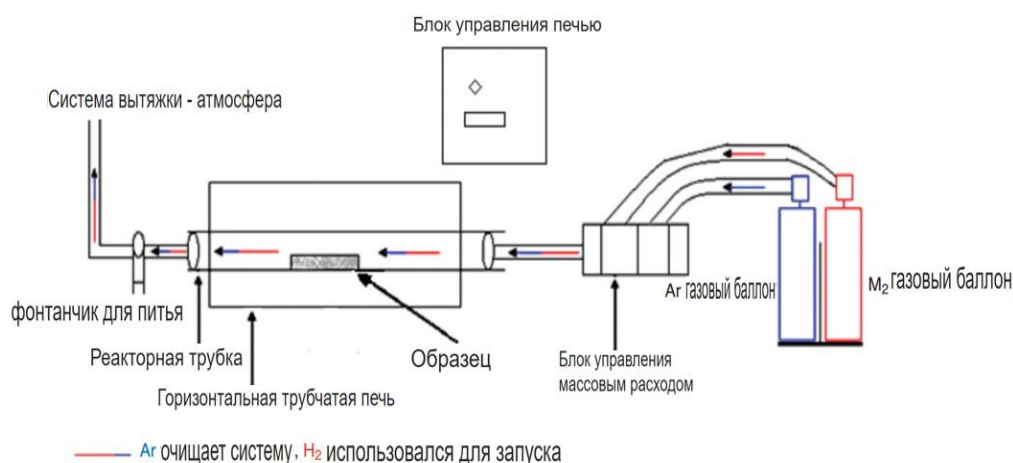


Рисунок 10 - Схематический чертеж горизонтальной трубчатой печи

Во время оптимизации параметров процесса гидрирования температуру изменяли от 300 до 800 ° С, а время реакции варьировалось от 1 часа до 4 часов. Установленные оптимальные условия для гидрирования титановой губки включают нагрев в течение 2 часов при температуре 600 ° С при потоке водорода около 1572 мл / мин через губку в трубчатой печи.

Гидрированный материал измельчали для получения тонкого порошка с размером частиц от 100 мкм до 1 мкм. В начальных экспериментах использовалась планетарная мельница RETSCH (модель РМ 100), заполненная закаленными стальными шариками толщиной 10 мм. Заполнение TiH₂ и последующее уплотнение фрезерной банки проводили в заполненном аргоном

перчаточном ящике [38]. Атмосферу в перчаточном ящике поддерживали на уровне кислорода менее 5%.

Запечатанную фольцевальную банку помещали в планетарную мельницу, как показано на рисунке 11. Этот процесс включает фрезерование измельченного TiH₂ на 50 г в мельнице, работающей с оптимальной скоростью и заполненной стальными шариками 100 × 10 мм.



Рисунок 11 - Герметичная фреза в планетарной мельнице RETSCH

Для оптимизации условий измельчения время измельчения изменялось от 5 до 30 минут, а скорость вращения мельницы варьировалась от 300 до 500 об / мин. Установленные оптимальные рабочие условия планетарной мельницы включают в себя фрезерование 50 г частиц TiH₂ со стальными шариками 100 × 10 мм, работающими со скоростью 500 об / мин в течение 10 минут (с обратным вращением включается после первых 5 минут в минуту и изменяет

направление вращения в течение последних 5 минут). Оптимальное соотношение «шарик в порошок» составляет 8,34 [39].

Для мельницы TiN₂ также использовалась шаровая мельница с роликом (барабанная), спроектированная и изготовленная Mintek. Фотографическое изображение роликовой мельницы показано на рисунке 12 (а и б). В этом эксперименте банку роликовых мельниц, содержащую 540 × 10 мм и 60 × 20 мм закаленные стальные шарики и заполненные 500 г TiN₂, продували аргоном в течение примерно 15 минут для удаления следов кислорода до процесса измельчения. Мельница работала с оптимальной скоростью 71 об / мин (75% критической скорости) в разные периоды времени.

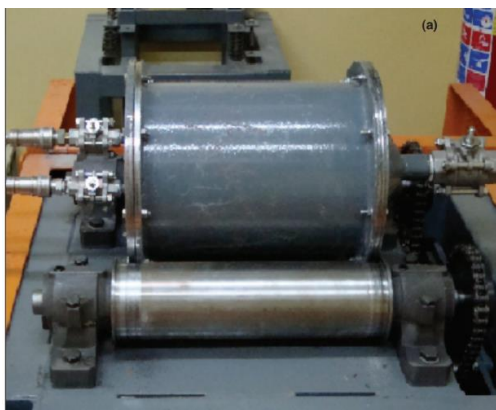




Рисунок 12 - Фотографическое изображение роликовой мельницы Mintek -

(а) барабан мельницы на двух ведущих валах, (b) разгрузочная рама

Установленные оптимальные условия для этого крупномасштабного фрезерования включали фрезерование 500 г TiN₂ с 540 x 10 мм и 60 x 20 мм стальными шариками, работающими со скоростью 71 об / мин (75% критической скорости) в течение 10 минут [40]. Оптимальное соотношение «шарик в порошок» составляло 8,49.

Порошки TiN₂ после измельчения с планетарными и роликовыми мельницами дегидрировали для получения соответствующих окончательных титановых порошков. Фрезерную банку планетарной мельницы удаляли и выгружали в контейнер для образцов в перчаточном ящике, продутом аргоном, чтобы обеспечить уровень кислорода в окружающей среде ниже 5%. В этом процессе банку открывали и порошок осторожно (избегая образования искр) переносили в меченый контейнер для образцов, используя антистатические

щетки. Образец подавали из контейнера в реторту вне перчаточного ящика (поскольку реторта не могла вписаться в перчаточный ящик). Затем реторта была запечатана, чтобы обеспечить минимальное воздействие атмосферного кислорода. Запечатанную реторту, соединенную с системой вакуумного насоса, помещали в муфельную печь.

В случае роликовой мельницы порошок непосредственно переносился в реторту, как показано на рис.13. Устройство позволяет фрезеровать материал под защитной аргоновой атмосферой, а затем переносить между мельницей и регенерацией HDH при полностью герметизации в аргоне. Как и в случае с планетарной мельницей, запечатанную реторту помещали в муфельную печь.

Было достигнуто содержание водорода 3,50% в гидрированной титановой губке; это указывает на то, что процесс гидрирования очень эффективен, поскольку содержание водорода находится в пределах литературного диапазона.

Таблица 6. Химический состав порошка титана, полученного методом HDH

| Химический состав порошка титана, полученного методом HDH в Mintek | | | | | | | |
|--|-----------|-----------|----------|-------|------------|------------|-------------|
| | Mg (%) | Fe (%) | H (%) | C (%) | N (ppm) | O (ppm) | Cl (ppm) |
| TiH_2 | - | - | 3.50 | - | - | - | - |

| | | | | | | | |
|-------------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| Ti | 0.06 | 0.44 | 0.01 | 0.99 | 7.05 | 110 | <50 |
| порош ок | | | | | | | |

Примечание: <50 ppm: концентрация аналита не может быть точно определена количественно, поскольку она ниже ее предела обнаружения (50 ppm) '-': анализ не проводился

Как показано в таблице 3, содержание углерода в титановом порошке Mintek выше, чем в коммерчески доступных порошках (таблица 6). Источник углерода в процессе не известен, поскольку его содержание в исходной губе было ниже, чем в коммерческих порошках (таблица 7) [41]. Однако содержание других элементов в этом титановом порошке соответствует техническим требованиям.

Поэтому, после решения проблемы углеродного восстановления, полученный порошок может найти различные применения, в том числе при изготовлении прокладок и частей самолета.

Статистический анализ PSD планетарного и роликового гидрида титана приведен в таблице 4. Средний диаметр гидрида титана, D, составляет 27,74 и 41,84 мкм для планетарной мельницы и роликовой мельницы, соответственно [42]. Эти статистические результаты показывают, что планетарная мельница производит более мелкий порошок, чем роликовая мельница. Соотношение шарового напора планетарной мельницы составляет 8,34, что немного ниже, чем у роликовой мельницы, которая составляет 8,49. Существует небольшая

разница в соотношениях между шарами и порошками планетарных и роликовых мельниц.

Таблица 7. Краткий статистический анализ PSD для измельченного гидрида титана на мельницах мельницы мельницы

| Резюме статистического анализа PSD для измельченного гидрида титана с помощью мельниц мельницы мельницы | | |
|---|----------------------|--------------------|
| | Планетарная мельница | Роликовая мельница |
| D_{10} , МКМ | 1.210 | 8.203 |
| D_{50} , МКМ | 8.809 | 30.80 |
| D_{90} , МКМ | 61.96 | 102.1 |

То, что размер частиц планетарного измельченного порошка является относительно небольшим, в первую очередь можно отнести к более высокой энергетической интенсивности, используемой планетарной мельницей (фрезерование относительно меньшего образца с относительно высокой скоростью с использованием стальных шариков малого диаметра). Однако как планетарные, так и роликовые мельницы оказались эффективными при уменьшении размера TiH₂ для использования в порошковой металлургии.

В этом разделе отчета приведены результаты XRD и SEM различных образцов титана. Продукты текущей работы сравниваются с доступными коммерческими материалами.

Результаты фазового состава гидрида титана после измельчения приведены на рисунке 13.

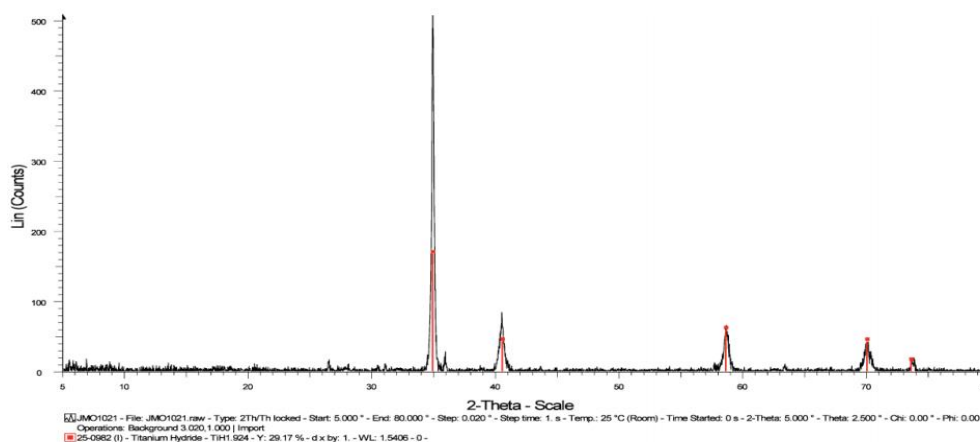


Рисунок 13 - Рентгеновская дифрактограмма измельченной гидрированной титановой губки

Дифрактограммы дегидрированных порошков гидрида титана, измельченных планетарными и роликовыми мельницами, приведены на рисунке 14 (а и б). Тонкий титановый порошок обладает высокой реакционной способностью и может легко реагировать с кислородом и азотом в атмосфере. Свидетельства оксигенации и азотированного титана на рисунке 13 могут быть следствием этой высокой реакционной способности титана. Результаты химического анализа не показывают значительного содержания кислорода и азота в дегидрированном порошке. Таким образом, считается, что загрязнение кислорода не является неотъемлемой частью процесса, а на подвыборках XRD. Кислород оказывает пагубное влияние на прочность на растяжение, усталостную прочность и коррозию под напряжением в коммерческом чистом

титане и различных титановых сплавах. Таким образом, такое загрязнение должно быть сведено к минимуму.

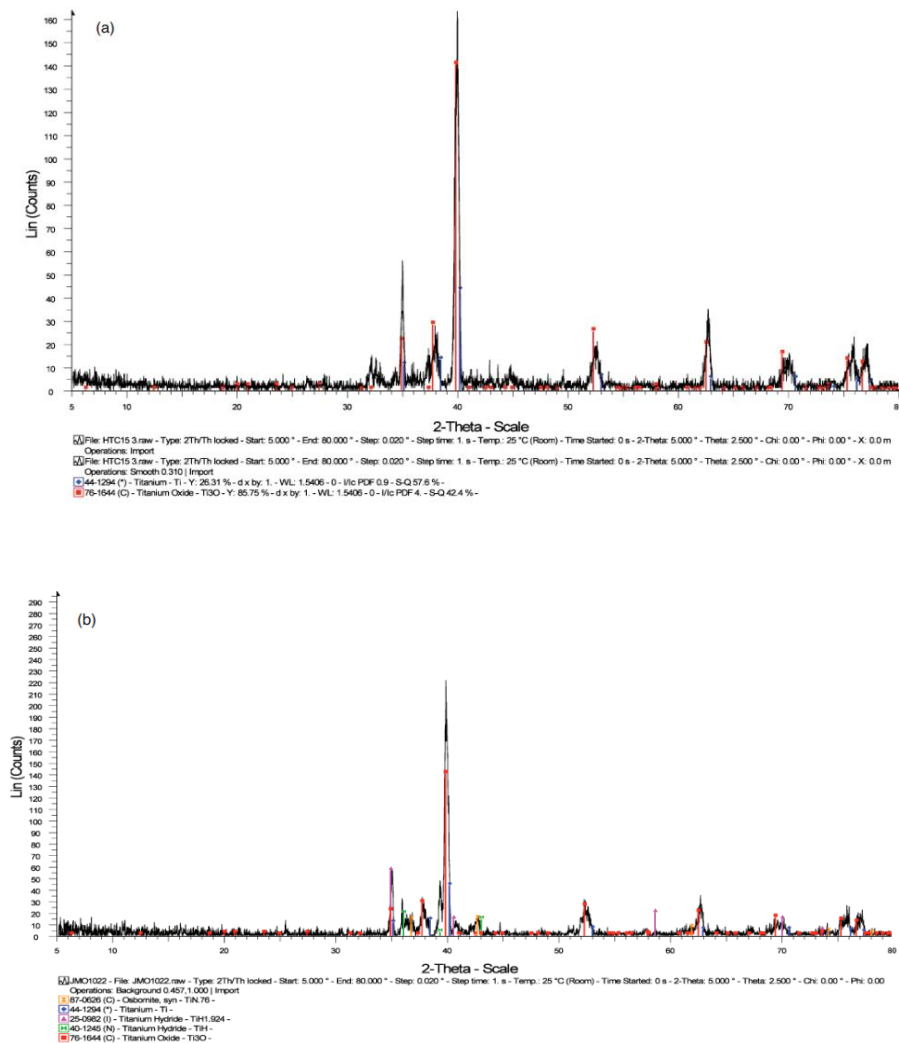


Рисунок 14 - Рентгеновские дифрактограммы, (а) планетарного

измельченного титанового порошка и (б) порошкового титанового порошка

На рисунке 15 показаны микрофотографии сканирующего электронного микроскопа коммерчески доступных и порошкообразных порошков титангидрида Mintek. Между этими порошками существует четкое сходство.

Гидрированные частицы губки проявляют некоторую угловатость (что необходимо для металлургической консолидации), что указывает на то, что она более хрупкая. Граничные гранулы расщепления проявляются на гидридных частицах двух производителей.

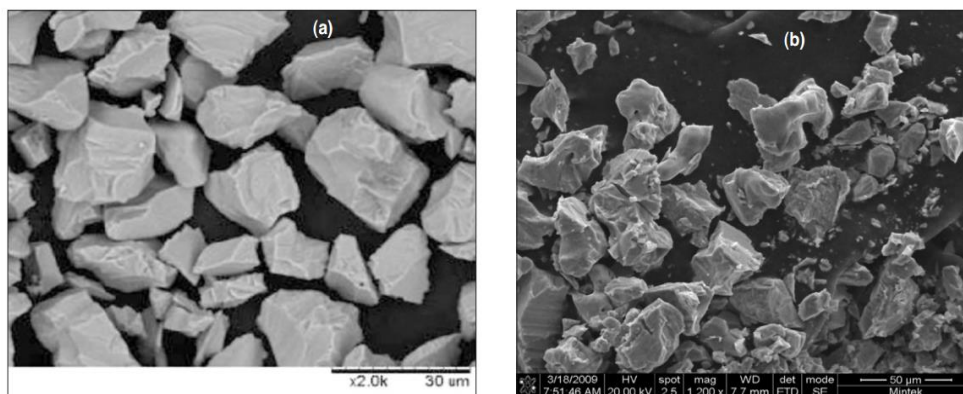


Рисунок 15 - СЭМ-микрофотография порошка TiH_2 , полученного на (a) AG Materials Inc. и (b) Mintek

Микрофотографии СЭМ планетарного и роликового измельченного титанового гидрида показаны на рисунке 16. Микрофотографии показывают, что оба порошка имеют угловую форму.

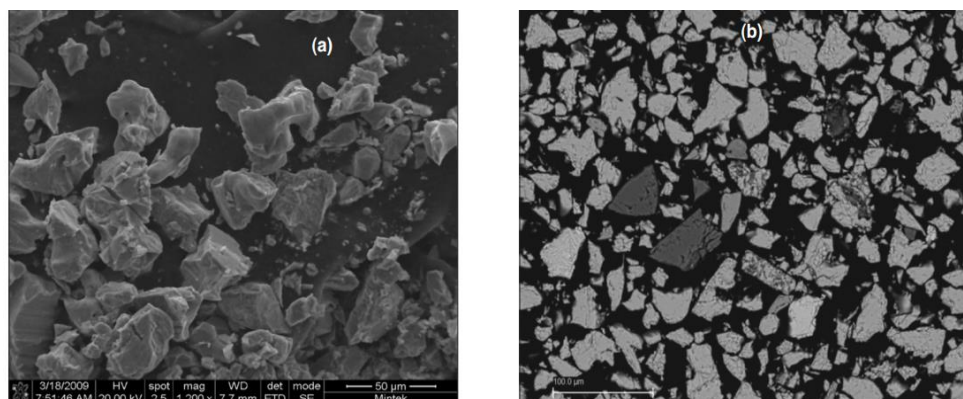


Рисунок 16 - СЭМ-микрофотографии измельченного гидрида титана: (a) планетарной мельницей и (б) роликовой мельницы

Углость в гидрированных порошках переносится в последующие дегидрированные порошки, как показано на рис. 17. Планетарные и роликовые измельченные порошки сравнимы с коммерческим порошком с точки зрения угловатости. Однако морфология частиц планетарного измельченного порошка представляется более нерегулярной по сравнению с очень угловатыми формами необработанного гидрида титана. Однако при более внимательном осмотре очевидно, что это обусловлено адгезией очень мелких угловых частиц на поверхностях более крупных частиц или агломерацией мелких частиц. Адгезия мелких частиц может быть вызвана высокими вакуумированием и высокими температурами при дегидрировании.

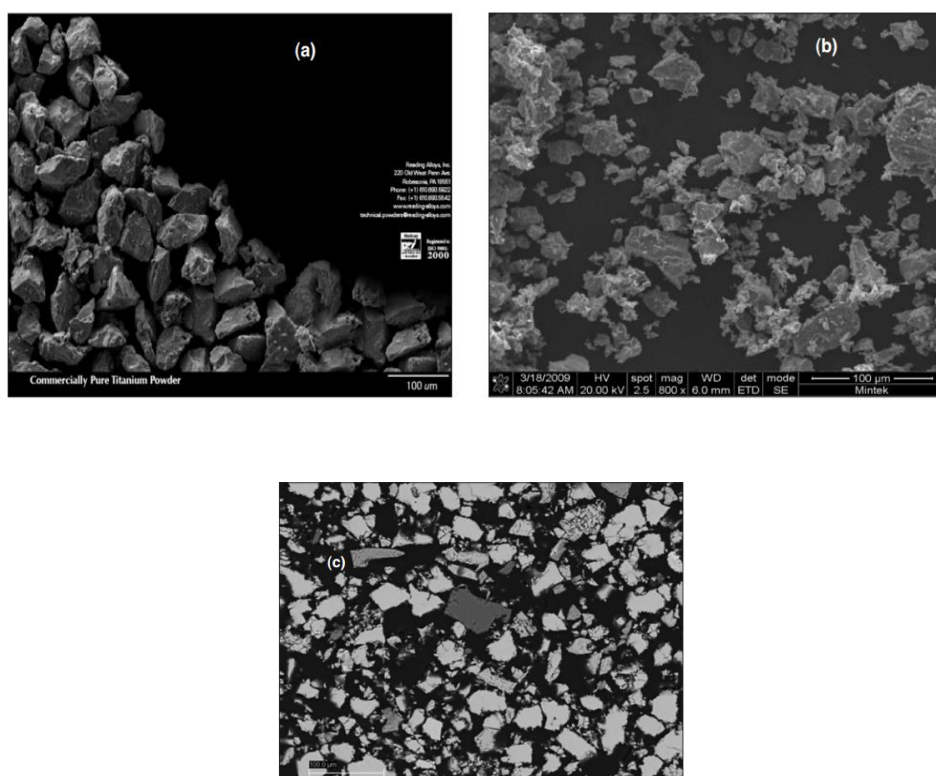


Рисунок 17 - СЭМ-микротография, (а) коммерческого титанового порошка, (б) планетарный измельченный титановый порошок и (с) роторный титановый порошок

Проведено сравнение пригодности двух типов технологии фрезерования для производства титанового порошка для металлургических уплотнений. Планетарная мельница показала большую способность к производству титанового порошка для металлургических уплотнений [43]. Однако прямые затраты на измельчение в значительной степени зависят от мощности мельницы. Планетарная мельница представляет собой лабораторное оборудование. Было бы относительно дорого увеличить мощность этой мельницы. Потребление энергии в этом виде фрезерования относительно велико.

В отличие от планетарной мельницы, гораздо легче увеличить роликовую мельницу, тем самым снижая эксплуатационные расходы. В аналогичные сроки эксплуатации стоимость измельчения TiH₂ на планетарной мельнице будет примерно в шесть раз выше, чем у роликовой мельницы [44]. Одним из основных факторов, влияющих на стоимость планетарной мельницы, является высокая потребляемая мощность.

Лабораторные испытания проводились для получения титанового порошка методом HDH. Оптимизированы этапы гидрирования и дегидрирования. Были оценены две технологии шарового фрезерования, а именно планетарные и

роликовые мельницы для уменьшения размера частиц TiN₂ для получения подходящего титанового порошка. Как планетарные, так и роликовые мельницы выпускают достаточно тонкий титановый порошок со средним диаметром, D 27,74 мкм и 41,84 мкм, соответственно [45]. Частицы порошка имели угловую форму и не было признаков вредного покрытия. Однако порошок планетарной мельницы можно производить только в лабораторных условиях при относительно высоких затратах. И наоборот, валковая мельница может быть легко увеличена для получения значительного количества порошка.

Результаты химического анализа показали, что элементное содержание полученного титанового порошка соответствует спецификациям коммерческого титанового порошка, за исключением высокого содержания углерода. Тем не менее, порошок был испытан при механическом легировании и был признан подходящим для изготовления порошковых металлургических компактов.

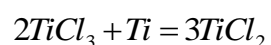
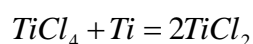
1.5 Получение титанового порошка электролитическим методом и уплотнение порошка

Поскольку путь Кролла [46] титана стал доминирующим процессом получения титана, который представляет собой большую нерегулярную морфологию частиц более полувека назад, были предприняты значительные усилия из ряда технологий сокращения для разработки процесса производства титана в морфологии, пригодной для непосредственного использования при обработке порошковой металлургии. Морфология частиц губки из процесса Кролла ограничивает его прямое использование в обработке порошковой металлургии из-за его высокой стоимости. Губковая губка впоследствии расплавляется и перерабатывается в формы мельниц, которые затем перерабатываются в порошок, подходящий для прямой обработки порошковой металлургии. Следовательно, высококачественный титановый порошок в 15-30 раз превышает первоначальное значение губки. Кроме того, обработка сплавов из расплава металлургического расплава ограничивает возможные комбинации сплавов из-за больших разностей плотности и температуры плавления с титаном. Расширение возможных композиций сплавов и получение порошков с морфологией для непосредственного использования при обработке порошковой металлургии при более низких затратах энергии и обработки, чем обработка Кроллом, обеспечивает стимул для расширения использования титана, делая его доступным для широкого промышленного использования.

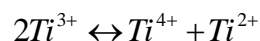
Первая, если не одна из первых, электролитическая изоляция титана была проведена Hupperty [47] в 1905 году. Несмотря на успех Кролла в использовании электролитически полученного магния для металлотермического восстановления тетрахлорида титана ($TiCl_4$), который называется «щекотливым», «То есть, процесс Кролла, Кролл предположил, что наиболее предпочтительный процесс получения металлического титана будет электролитическим. За последние полвека были проведены обширные электролитические исследования для получения титана [48] и разработка электролитической обработки в промышленном масштабе [49]. Морфология электролитически полученного титана варьируется от наночастиц, до хлопьев, до дендритов, которые относятся к электролиту расплавленной соли и рабочим параметрам, а также к концентрации ионов металлического титана в электролите. Из-за потенциала титана для разложения электромотора по отношению к водороду в электромоторных термодинамических рядах титан может быть электролитически получен только из электролитов, которые не содержат ионизируемого водорода. Это означает слитые соли, в которых вся вода или ионизируемый водород удаляются и поддерживаются в изоляции от атмосферы, чтобы избежать сбора любых водяных паров, а также междуузлий кислорода, азота или углерода, к которым титан является довольно чувствительным. Почти без исключения галогениды щелочных и щелочноземельных металлов использовались в качестве электролитов,

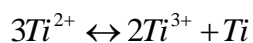
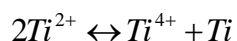
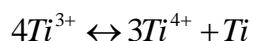
эвтектические композиции которых могут плавиться при такой низкой температуре, как 350 ° С.

Электролитические процессы в основном использовали галогенид титана или комплекс галогенида в качестве сырья для электролитического производства титана с наибольшим упором на $TiCl_4$. Электролиз титана является ионизируемым процессом, тогда как $TiCl_4$ является ковалентно связанным соединением, которое имеет очень низкую растворимость в ионизированных сплавленных галоидных солях. Это привело ко многим архитектурным конфигурациям электролитических процессов с целью достижения достаточной растворимости иона титана в растворе для поддержки электролиза при потенциале напряжения меньше, чем требуется для разложения щелочного или щелочноземельного металла на катоде. Обратимость диспропорционирования между переменными валентностями ионов титана в расплавленных солевых электролитах усложняет переработку для электролитического производства титана. В случае получения ковалентного соединения возможные реакции включают следующее:

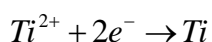
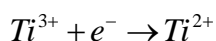
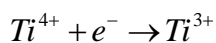


В ионизированном состоянии обратимые реакции включают следующее:





Когда применяется потенциал, возможные реакции включают следующее:



Чтобы свести к минимуму обратимость ионов диссоциации ионов титана в электролитическом реакторе, который потребляет электроэнергию без получения титанового металла, использовался разделительный диффузионный барьер между анодом и катодом [50]. Было исследовано много материалов конструкции и конфигураций диффузионного барьера сепаратора [51]. Наиболее известными успешными разделительными барьерами сепараторов были те, которые описаны Бюро США по рудникам [52] и автора [53].

Хотя успех достижения эффективности Faradaic в конце 1980-х годов до середины 1990-х годов был зарегистрирован с использованием $TiCl_4$ в качестве сырья в электролитических процессах [54], крупномасштабная коммерциализация была затруднена периодическим характером электролитического процесса, аналогичным пакетной операции процесса Кролла. Как и во всех электролитических процессах, где электролитическое осаждение находится в твердом состоянии ниже температуры плавления

осаждаемого металла (т. Е. В отличие от магния и алюминия), осаждение проводят на больших плоских катодных поверхностях, аналогичных электролитной меди. Однако в случае титана электролитическая ячейка должна быть герметизирована и защищена от атмосферы, что усложняет сбор титана, электролитически нанесенный на большой катод, и замену нового катода на дополнительное осаждение. Для обмена большими плоскими катодами и / или цилиндрическими катодами использовались разработанные камеры, не подвергая электролизеру воздействию атмосферы. Другим недостатком в электролитическом процессе было вытягивание солевого электролита, содержащего ценный ион титана, на очень большую площадь поверхности электролитного титана на поверхности катода. После обмена катодов от воздушных замков и воздействия атмосферы ион титана в соли окисляется, оставляя состав титана на электролитном титане, а также теряя этот ценный ионный ион титана. Затем титановые катоды промывали для удаления солевого электролита, который продуцировал экологически опасный поток соленой воды, который должен был быть обработан путем отбрасывания или рециркуляции, который не мог содержать никакого остаточного оксигенатного материала из титана.

Сбор катода при поддержании электролитической ячейки без загрязнения атмосферы и устранении катода соли с промывкой водой без усугубления окислительной пассивации электронного титана, а также экологических

проблем водно-солевого потока и периодического характера все процессы способствовали электролитическому процессу, не заменяя процесс Кролла, даже с проверенными крупными коммерческими экспериментальными установками Dow-Howmet и Timet, которые считались более экономичными, чем процесс Kroll.

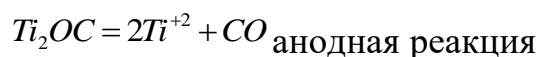
В 2003 году Агентство перспективных исследований обороны (DARPA) инициировало программу по производству титана более экономично и отличалась от процесса Кролла, при этом содержание кислорода в титане не превышало 500 ppm. Процесс, основанный на патентах Уизерса [55], состоящий из композитного анода оксида металла, и углерод был выбран DARPA для исследования электролитически создающего титанового порошка. Предлагаемый процесс устраняется с использованием больших пластинчатых катодов и, следовательно, дорогостоящая, громоздкая и пакетная обработка предыдущих электролитических подходов. Дополнительные патенты были предоставлены Уизерс [56] для использования электролитической ячейки, в которой катодный электролитный титановый порошок промывали или промывали с катода путем прокачивания электролита с высокой скоростью потока по поверхности катода в отдельную закрытую ячейку, где электролитный титан порошок собирали фильтрованием и центробежной обработкой для отделения всего электролита, за исключением того, что удерживали на титановом порошке поверхностным натяжением. Отделенный

электролит, содержащий ценный титан, течет обратно в электролизную ячейку без какого-либо контакта с загрязнением. Этот процесс обеспечивает бесперебойную работу электролизера, не открывая его для воздействия на загрязнение.

Программа DARPA продемонстрировала, что композитный анод может быть стехиометрической смесью диоксида титана (TiO_2) и углерода или восстановленной формы, состоящей из TiO_xC_y с идеальной стехиометрией Ti_2OC . Предпочтительно, чтобы соотношение x и y было таким, что при электролизе CO выделяется из анода, не оставляя избытка O или C . Восстановление TiO_2 углеродом в отсутствие воздуха может быть подвергнуто термической обработке углеводородным газом или твердым углеродом. Снижение TiO_2 начинается примерно при $1150-1200^\circ C$, при этом скорость восстановления увеличивается с повышением температуры. При более низких температурах уменьшение до определенной стехиометрии занимает больше времени, тогда как оно завершается в течение нескольких минут при приблизительно $1800^\circ C$. Существует обширная литература, связанная с карботермическим восстановлением TiO_2 [57].

TiO_2 для восстановления может быть природным или синтетическим рутилом или рудой. В программе DARPA [58] и других программах, спонсируемых правительственными агентствами, Уитерс исследовал, помимо природного и синтетического рутила, вне спецификации очень тонкий, чтобы нано TiO_2 и

руды ильменита и перовскита. Обработка показала, что может образоваться бескислородный TiO_xC_y , который обычно представляет собой Ti_2OC . TiO_xC_y можно использовать в качестве анода для электролитического получения титана в электролизе с расплавленной солью, состоящем из галогенидов щелочных или щелочноземельных металлов. На аноде Ti_2OC ионизируется с ионами Ti^{2+} , которые затем восстанавливаются до металла титана на катоде.



В то время как электрохимия является достаточно простой, механика эксплуатации коммерческих размеров клеток является сложной задачей. Электропроводность желательна выше Ti_2OC при $1000 \mu\Omega\text{-см}$. Ti_2OC представляет собой керамику, которая может быть переработана в твердые блоки, чтобы служить в качестве анода стандартными методами керамической обработки. Анодные свинцовые стержни в анодные блоки Ti_2OC становятся сложными. Графит - единственный анодный соединительный стержень, который предотвращает анодное растворение, которое могло бы загрязнить электролизер. Таким образом, необходимо закрепить плотный керамический Ti_2OC с графитовым стержнем, который имеет минимальное сопротивление в суставе, которое не будет перегреваться под действием электролиза.

Поскольку электролиз обычно проводят выше примерно 500°C для поддержания растворимости и предотвращения осаждения комплекса

галогенидов щелочного титана, такого как K_2TiCl_6 или $KTiCl_4$, плотный анод Ti_2OC подвергается растрескиванию, когда куски анода удаляются, что может быть коротким на небольшом расстоянии 1,25-3 см между анодом и катодом, который может закрыть ячейку вниз, требуя открытия для ремонта. Кроме того, когда анод электрохимически растворяется, частицы Ti_2OC размером от микрометра до нанометрового размера могут смещаться и попадать в порошок электролитического титанового катода, что приводит к загрязнению.

Альтернативой крупным твердым анодам Ti_2OC и проблемам соединения стержней является использование кусков Ti_2OC в корзине из графитовой ткани, которая служит в качестве анода, в котором графитовая корзина выполнена анодной, а также графитовые стержни внутри корзины. Корзина из графитовой ткани должна быть достаточно пористой, чтобы пропускать ионы и предотвращать высокую устойчивость, но не пропускать мелкие частицы Ti_2OC , чтобы загрязнить электролитный титановый порошок. Такая анодная конфигурация обладает более высоким сопротивлением, чем твердый Ti_2OC , что означает более высокий расход энергии для получения титанового порошка.

Появление Ti_2OC для ионизации в ионы Ti при низкой энергии предполагает наличие смещения реактивности, которое может быть выгодно использовано для получения $TiCl_4$. Ti_2OC начинает хлорировать при температуре приблизительно $200\text{ }^\circ\text{C}$ и может достичь самоподдерживающейся реакции при $350\text{-}400\text{ }^\circ\text{C}$, что подтверждается термодинамикой хлорирования.

В программе DARPA Уитерс продемонстрировала, что титаносодержащие руды могут быть превращены в Ti_2OC , которые могут быть хлорированы при температуре + 400 ° С или для получения $TiCl_4$. Этот низкоэнергетический, недорогой $TiCl_4$ можно затем использовать для обработки Кроллом или в качестве подачи к электролитическим ячейкам, который рассчитывает для получения титана при существенно меньшей энергии, чем маршрут Кролла. Сравнительно, что энергия процесса Кролла для получения губки составляет приблизительно 9 долларов США / кг, что потребляет около 100 кВтч / кг энергии. Расчетная электролитическая стоимость составляет 3,50 долл. США / кг для чистого Ti и для кодирования алюминия и ванадия для получения сплава составляет 7 долл. / Кг, как при примерно 50% -ной энергоэффективности. Также значительно меньше выбросов CO_2 для электролитического процесса по сравнению с маршрутом Кролла.

В программе DARPA были созданы и эксплуатировались крупные экспериментальные коммерческие демонстрационные камеры, которые работали непрерывно, для демонстрации производства титанового порошка. Иллюстрация такой системы показана на рисунке 18 с фактической ячейкой, показанной на рисунке 19.

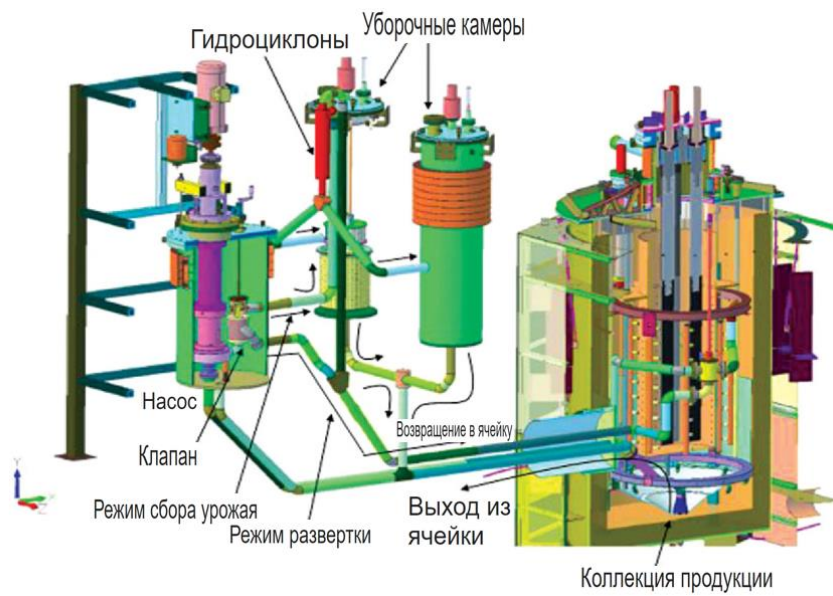


Рисунок 18 - Иллюстрация производственной ячейки для непрерывного получения титана



Рисунок 19 - Электролитические ячейки, непрерывно производящие титановый порошок

Было подтверждено, что концентрация ионов титана приблизительно 2% требуется для работы при плотности тока с высоким катодом и получения частиц в целом больше приблизительно 10-25 мкм и больших размеров частиц до приблизительно 500 мкм. Плотность низких катодных токов при приблизительно 0,25 ампер / см², как правило, приводит к образованию мелкого порошка независимо от концентрации ионов титана. Размеры частиц обычно максимизируются в плотности тока катода приблизительно 1,0-1,25 ампер / см². Размер частиц также регулируется периодичностью промывки осаждающих частиц с поверхности катода путем накачки электролита с большой скоростью через поверхность катода для удаления осажденного порошка. Частая промывка не дает зародышевым частицам на катоде достаточного времени для роста до заданного размера. Таким образом, плотность катодного тока и периодичность промывки можно регулировать для получения размеров частиц. Некоторые электролитные частицы титана показаны на рис.20-22.

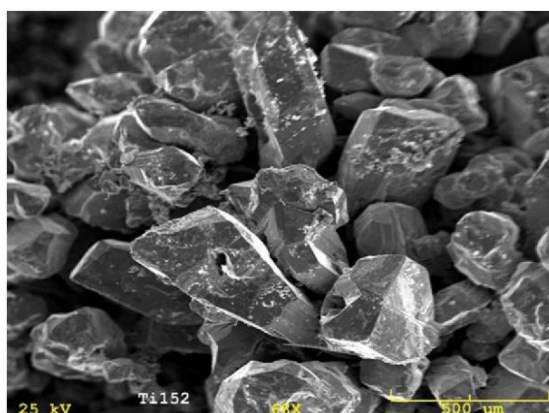


Рисунок 20 - Электролитически получен из электролитов с галогенидной солью, содержащих ион Ti^{2+}

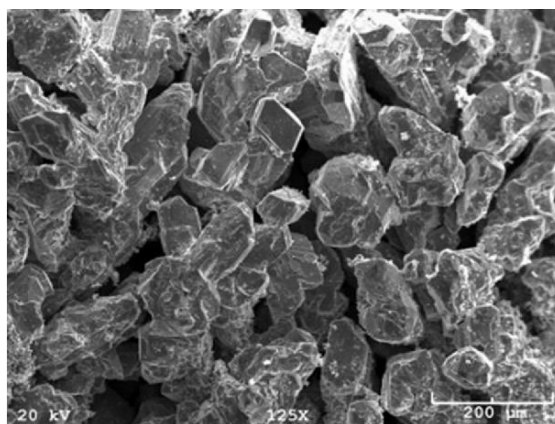


Рисунок 21 - Среднеразмерные электролитически полученные частицы титана

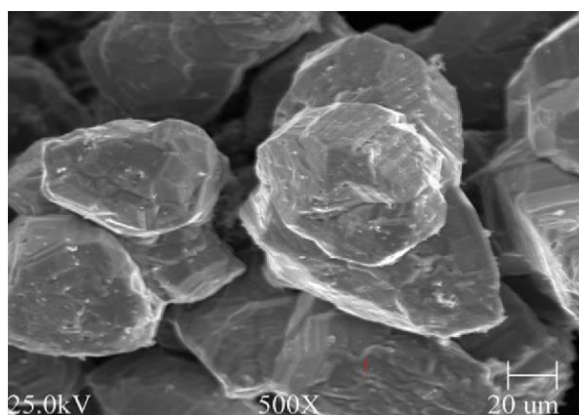


Рисунок 22 - Хорошие однородные кристаллические электролитически образовавшиеся частицы титана

Поскольку электролитическая ячейка остается закрытой, она становится очень чистой от промежуточных загрязнений с непрерывным электролизом и способна производить частицы титана с содержанием кислорода менее 100 ppm.

Остаточное содержание кислорода в электронных частицах титана будет содержать пассивирующий кислород относительно размера частиц, а также обработку, используемую для отделения остаточного электролита от частиц. В системе непрерывного электролиза накачка электролита с высокой скоростью по поверхности катода транспортирует частицы к металлическим сетчатым фильтрам, которые концентрируют частицы, которые затем переносятся в центрифугу, работающую над точкой плавления соли, которая удаляет весь солевой электролит за исключением того, что они прилипают от поверхностного натяжения. Эта остаточная соль затем удаляется одним из трех способов, состоящих из вакуумного испарения при температурах чуть ниже температуры спекания порошка, что составляет приблизительно 900 ° C. Используя эвтектическую соль KCl-LiCl, остаточный хлор можно снизить до уровня ниже 10 ppm. Если используются соли с более низким содержанием паров, такие как NaCl, и т. Д., Более высокие температуры могут быть использованы в псевдооживленном слое, что в целом предотвращает спекание титанового порошка. Шаровое измельчение порошкообразного титанового порошка при температуре окружающей среды или более низкой температуре приведет к удалению хрупкой соли из частиц титана.

В настоящее время порошок из титанового сплава получают из легированной губки Кролла, которая превращается в кованный продукт, который затем восстанавливается до порошка методом расплава, в результате чего получается

дорогостоящий порошок в диапазоне примерно в 15-30 раз больше стоимости губки, Armstrong / ITP / Crystal экспериментально продуцировали порошок Ti-6Al-4V путем извлечения хлоридов-предшественников $TiCl_4 - AlCl_3 - VCl_4$ с помощью натрия (обработка Hunter), что приводит к образованию большого остаточного хлора из-за сложности полного удаления побочного продукта соль NaCl и непрореагировавший натрий; кроме того, известно, что процесс Хантера дает небольшой размер частиц приблизительно 10 мкм. В программах DARPA и BBC было продемонстрировано, что сплав Ti-6Al-4V можно получить электролитически, если $AlCl_3$ и VCl_3 или VCl_2 добавляют к описанной выше электролитической обработке. Контроль концентрации легирующего соединения по отношению к коэффициенту активности легирующего иона, а также для достижения кодогеодажа обеспечивает окно для электролитического производства сплава Ti-6Al-4V в желаемых размерах частиц для непосредственного использования при обработке порошковой металлургии. Напряжения разложения легирующих элементов достаточно близки к таковым для титана, чтобы обеспечить достаточно широкое рабочее окно для коммерческого производства порошка сплава. Так как стоимость электролитического производства титанового порошка будет меньше, чем стоимость губки Кролла, можно оценить электролитическое производство порошка Ti-6Al-4V для приблизительной стоимости губки, которая

значительно ниже, чем для порошка текущего сплава. Пример электролитического порошка сплава показан на рисунке 23.

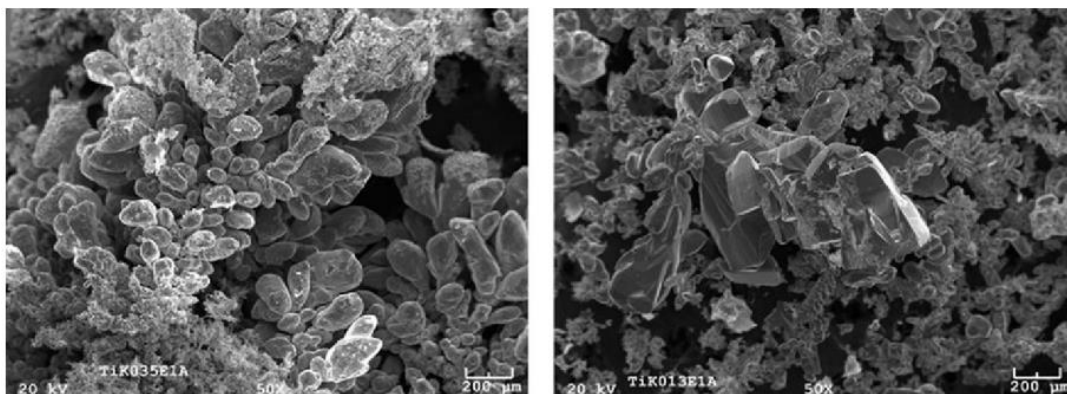
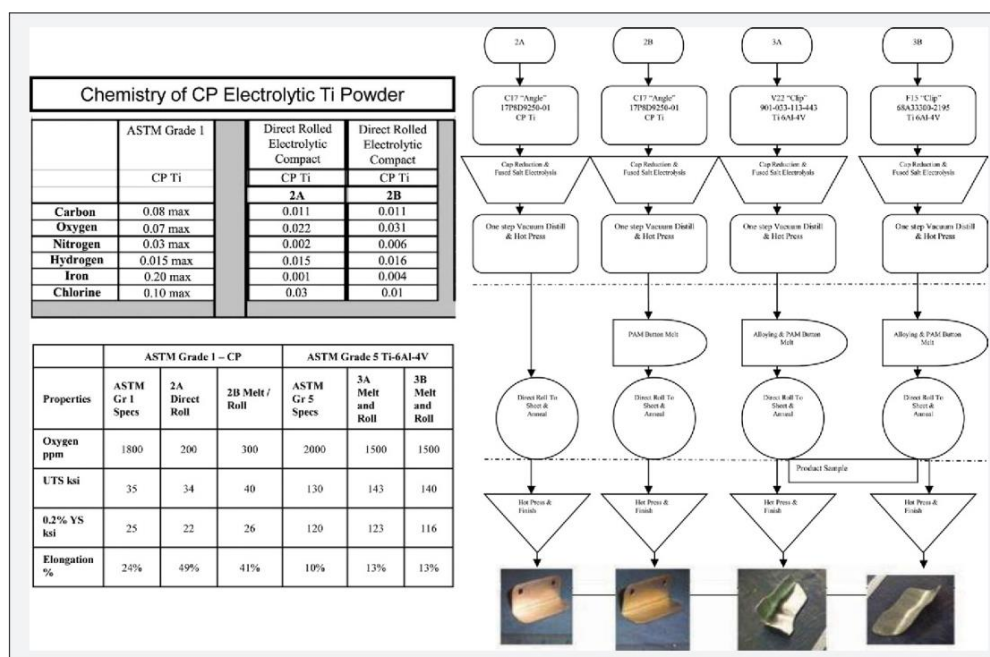


Рисунок 23 - Порошок сплава, полученный электролитически из расплавленной соли, содержащей $TiCl_2 - AlCl_3 - VCl_3$

Электролитический титановый порошок подвергали холодному прессованию в стальных матрицах и / или холодном изостатическом прессовании с последующим спеканием при $1000\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 4 часов. Некоторое количество электролитического порошка также расплавилось, а также спеченный материал, прокатанный в лист для характеристики механических свойств. Свойства, полученные за пределами титановой компании, показаны в таблице 8.

Таблица 8. Свойства электролитического порошка и деталей, изготовленных из электролитического порошка



Порошок, полученный электролитическим способом, также использовался в качестве подачи в систему поэтапной быстрой формообразования (АМ) с плазменной передачей (ПТА), которая объединяла порошок в заготовки, которые подвергались горячей и холодной прокатке до толщины 1 мм. В системе РТА, показанной на рис.24, порошок алюминия и ванадия, а также предварительно полученный алюминиевый и ванадиевый порошок совместно подавали для получения сплава Ti-6Al-4V.

Было произведено множество других композиций сплавов, которые невозможны при стандартной металлургической обработке слитков. Элементы легирования, соединенные с титаном сингулярно и в комбинации, включают железо, хром, марганец и TiB_2 для получения сплава с более высоким модулем, чем стандартный Ti-6Al-4V. Титан (Kroll) губка также используется в качестве

титанового сырья для системы РТА. На рисунке 25 показано множество чистых форм, созданных системой РТА АМ.

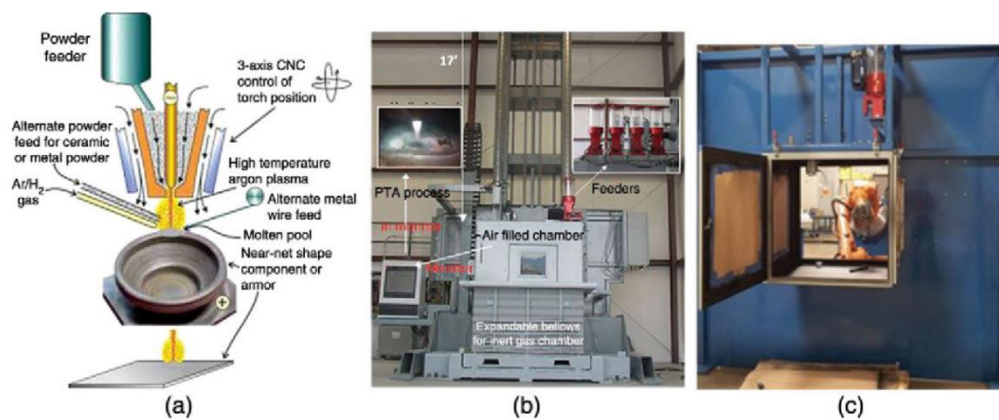


Рисунок 24 - (а) Схема системы быстрой присадки РТА, (b)

эксплуатационная единица MER и (c) роботизированная управляемая система.

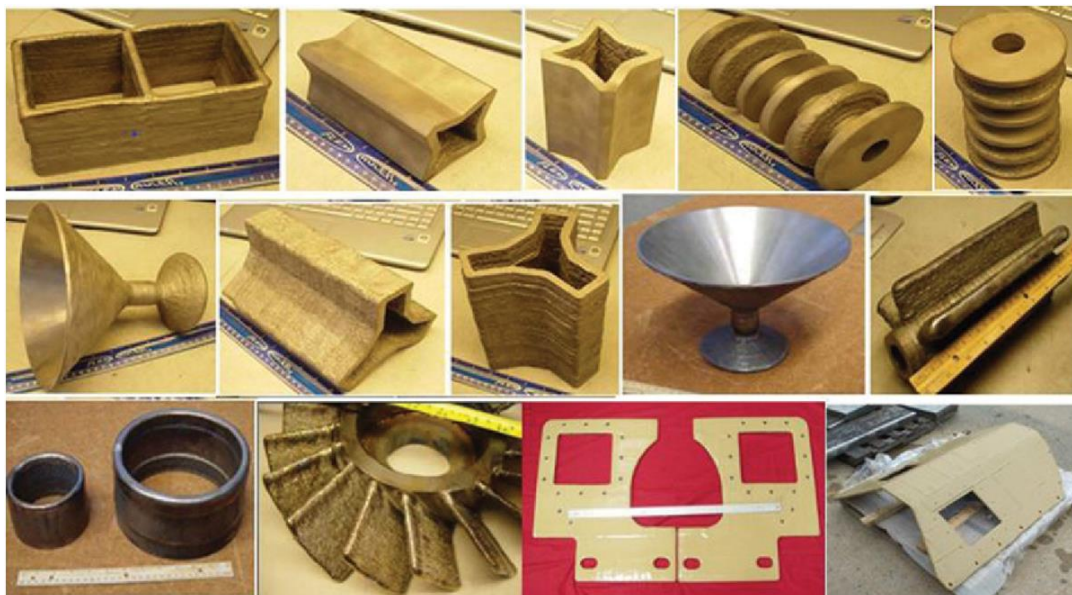


Рисунок 25 - Изменение трехмерных геометрических форм РТА в форме сетки из недорогого титана из недорогого губчатого порошка.

Некоторые примеры свойств сплавов, полученных из ПТА, приведены в таблице 9.

Таблица 9 Предельные / модулирующие свойства титановых сплавов,
получаемых ПТА

| Состав сплава | Прочность на растяжение (МПа) | Модуль (ГПа) | Удлинение (%) |
|-------------------------|-------------------------------------|--------------|------------------|
| Ti-6Al-4V литература | 896 | 147 | 10-14 |
| Ti-6Al-4V РТА | 1470 | 148 | 9-14 |
| Ti_xAl_yFe | 1470 | 145 | 8-12 |
| Ti_xAl_yMn | 1700 | 145 | 8-10 |
| Ti_xAl_yCr | 1525 | 149 | 7-10 |
| Ti_{-x+y} | 1560 | 175 | 4-8 |

Причина того, что титановые сплавы, изготовленные РТА АМ, демонстрируют более высокую прочность, чем стандартный промышленный сплав, состоит в том, что размер зерна намного меньше, как показано на рисунках 26 и 27. Сплав, полученный из РТА АМ, быстро охлаждается из пула *minimelt*, что также способствует меньшему образованию зерна.

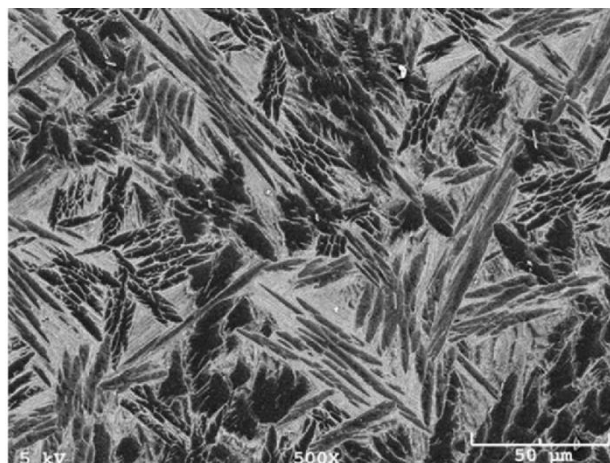


Рисунок 26 - Микрофотография Ti-6Al-4V от стандартной коммерческой пластины

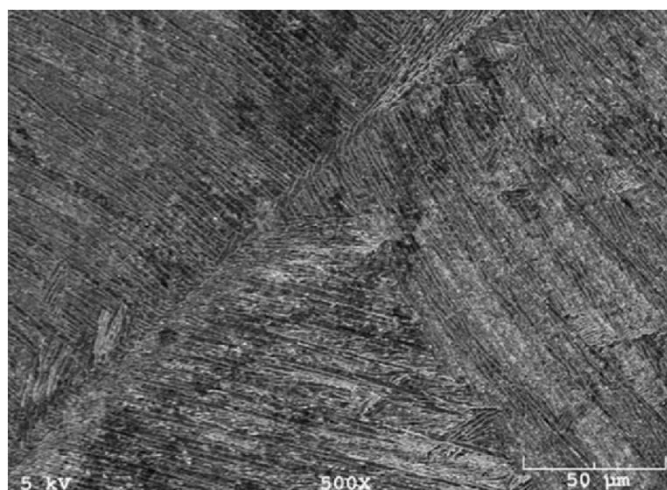


Рисунок 27 - Микрофотография PTA-полученного Ti-6Al-4V из электролитического порошка

В дополнение к системе PTA, производящей полностью плотный материал до почти чистой формы, параметры обработки могут быть использованы для получения пенопластов, полученных из расплава. Пример показан на рисунке 28, где представлено поперечное сечение и фактический компонент. Пористость может варьироваться от приблизительно 20% до 70% с различной

толщиной кожи, а также твердых непористых областей внутри пены. Поскольку пена имеет форму расплава, ее свойства примерно в два раза превышают характеристики порошковых материалов, полученных из порошковой металлургии.

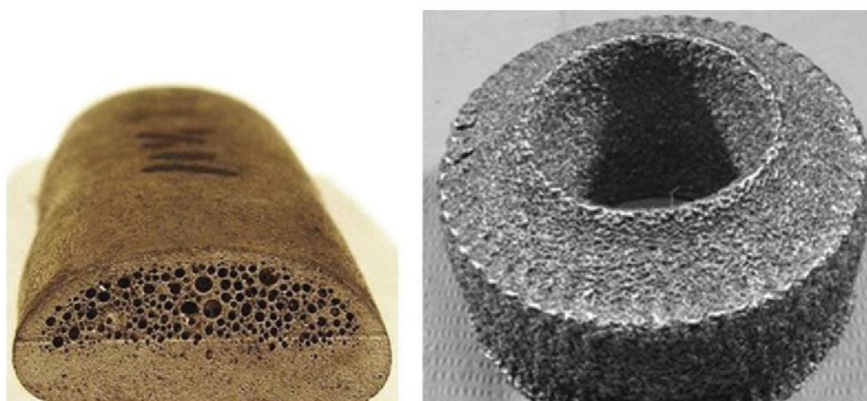


Рисунок 28 - Пористый пенополистирол, полученный обработкой ПТА с использованием электролитического порошкового сырья или подачи губки

Этот метод приводит к низкоэнергетическому и недорогому производству титанового порошка. Также значительно меньше выбросов CO₂ для электролитического процесса. Кроме того, поскольку электролитическая ячейка остается закрытой, она становится очень чистой из интерстициальных загрязнений с непрерывным электролизом и способна производить частицы титана с содержанием кислорода менее 100 ppm.

ГЛАВА 2 Материал и методы исследования

2.1 Титановый сплав ВТ6

Титан – это элемент низкой плотности (приблизительно 60% плотности стали и суперсплавов), который может быть значительно усилен путем легирования и деформации. Титан немагнитен и обладает хорошими теплообменными свойствами. Его коэффициент теплового расширения несколько ниже, чем у стали, и меньше, чем у алюминия. Титан и его сплавы имеют температуры плавления выше, чем у сталей, но максимальные полезные температуры для конструктивных применений, как правило, колеблются от 427 °С до примерно 538–595 °С, в зависимости от состава. Алюминидные титановые сплавы перспективны для применения при температурах до 760 °С. Титан и титановые сплавы производятся в широком ассортименте форм. Титан можно ковать, лить. Он может быть соединен с помощью сварки плавлением, пайки, клея, диффузионного соединения или крепежа. Титан и его сплавы являются формуемыми и легко поддаются механической обработке, при условии разумной осторожности.

Титан обладает способностью пассивировать и, таким образом, проявлять высокую степень устойчивости к воздействию большинства минеральных кислот и хлоридов. Чистый титан нетоксичен; коммерчески чистый титан и

некоторые титановые сплавы, как правило, биологически совместимы с тканями и костями человека.

Превосходная коррозионная стойкость и биосовместимость в сочетании с хорошей прочностью делают титан и его сплавы полезными в химической и нефтехимической промышленности, морской среде и биоматериалах. Сочетание высокой прочности, жесткости, хорошей ударной вязкости, низкой плотности и хорошей коррозионной стойкости, которую обеспечивают различные титановые сплавы при очень низких и повышенных температурах, позволяет снизить вес в аэрокосмических конструкциях и других высокопроизводительных применениях.

В течение большей части второй половины двадцатого века на долю Ti-6Al-4V приходилось около 45% общего веса всех отгруженных титановых сплавов. В течение жизни титановой промышленности различные составы имели временное использование; Ti-4Al-3Mo-1V, Ti-7Al-4Mo и Ti-8Mn представляют собой несколько примеров. Многие сплавы были изобретены, но никогда не видели значительного коммерческого использования. Сплав Ti-6Al-4V уникален тем, что он сочетает в себе привлекательные свойства с присущей обрабатываемостью (что позволяет производить его во всех типах мельничных изделий, как больших, так и малых размеров), хорошую технологичность изготовления в цехе (что позволяет мельничным изделиям быть в сложное аппаратное обеспечение), а также производственный опыт и коммерческая

доступность, которые ведут к надежному и экономичному использованию. Следовательно, деформируемый Ti-6Al-4V стал стандартным сплавом, с которым необходимо сравнивать другие сплавы при выборе титанового сплава (или сплава по индивидуальному заказу) для конкретного применения. Ti-6Al-4V также является стандартным сплавом, выбранным для отливок, которые должны демонстрировать превосходную прочность. Ti-6Al-4V будет оставаться наиболее используемым титановым сплавом в течение многих лет в будущем.

2.2 Метод газофазного гидрирования

Метод газофазного гидрирования металлических материалов состоит в том, чтобы использовать образец чистого металла и затем поместить его в капсулу меди с кварцевой ватой для изоляции от стенки реакционной камеры. Экспериментальная камера была введена в automated complex Gas Reaction Controller LPB.

Образец металла выдерживали в водородной среде при постоянной температуре и давлении до полного гидрирования, а затем медленно охлаждали в водородной среде. Концентрация водорода в образце измерялась объемным методом в automated complex Gas Reaction Controller и с помощью анализатора водорода RHEN602 от LECO.

Процесс поглощения водорода (или десорбции) металлами является обратимым и включает в себя поверхность и объем материала в несколько этапов. В газовой фазе реакция включает следующий механизм:

1. Поверхностная физическая сорбция (десорбция) молекулярного водорода (H_2). На этом этапе молекулы водорода адсорбируются (десорбируются) на (от) поверхности металла (M).



2. Поверхностная диссоциативная хемосорбция (рекомбинация). Это приводит к образованию (десорбции) атомарного водорода на поверхности металла.



3. Поверхностное поглощение (десорбция). На этом этапе адсорбированный атомарный водород поглощается (десорбируется) металлом на его поверхности.



4. Диффузия. Атомарный водород транспортируется из недр в объемную область.



5. Фазовое превращение. Приводит к осаждению (растворению) металлогидридной фазы.



Чистый титан считается элементом, обладающим высоким сродством к водороду; однако для поглощения водорода в этом материале необходимо использовать высокую температуру [3]. Чтобы избежать этого неудобства, некоторые титановые сплавы, такие как $TiFe$, Ti_2Ni , $TiMn_2$ или $Ti-6Al-4V$, привлекают интерес для хранения водорода, поскольку они могут поглощать и выделять водород в больших количествах и при более низкой температуре, чем чистый титан.

Максимальная водородная емкость материала зависит от количества водородных центров, доступных для заполнения водородом. Например, Сплав $Ti-6Al-4V$ состоит из двухфазной структуры: β -фазы (объемно-центрированная кубическая решётка – ОЦК), окружающей α -фазу [структура с

гексагональной плотноупакованной решеткой. (ГПУ)]. Тот факт, что этот сплав имеет структуру ОЦК, облегчает поглощение водорода благодаря тому, что атомы водорода попадают в кристаллическую структуру и помещаются в промежуточные участки кристалла. В случае β -фазы сплава Ti-6Al-4V структура ОЦК имеет 6 октаэдрических участков и 12 тетраэдрических участков на элементарную ячейку, куда может поместиться водород. Октаэдрические и тетраэдрические позиции в структуре ОЦК в три раза больше, чем те, что обнаружены в ГПУ и гранцентрированных кубических (ГЦК) латексах. Также было отмечено, что скорость диффузии водорода в структуре ОЦК на несколько порядков выше, чем в структуре ГПУ или ГЦК [3]. На рисунке 1 показаны микрофотографии сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) (а) чистого титана и (б) сплава Ti-6Al-4V. Чистый титан имеет кристаллическую структуру с гексагональной плотной упаковкой (ГПУ); Между тем, сплав Ti-6Al-4V имеет α -фазу (ГПУ), состоящую из Ti и Al, которая выглядит как темная зона на рисунке 1б, окруженная β -фазой (ОЦК), состоящей из Ti и V.

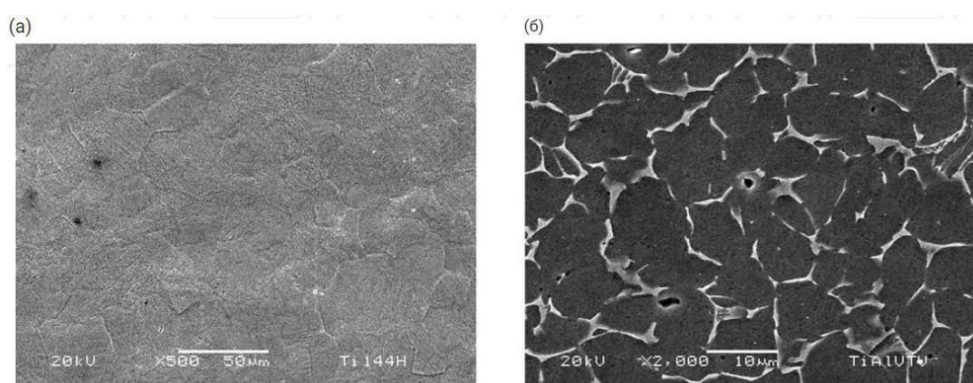


Рисунок 29 – СЭМ микрофотографии (а) чистого титана и (б) сплава Ti-6Al-4V.

2.3 Методы оптической и электронной микроскопии

Все электронные микроскопы используют электромагнитные и / или электростатические линзы для управления траекторией электронов. Стеклянные линзы, используемые в световых микроскопах, не влияют на электронный пучок. Основной конструкцией электромагнитной линзы является соленоид (катушка провода вокруг внешней стороны трубки), через которую можно проходить ток, тем самым индуцируя электромагнитное поле. Электронный пучок проходит через центр таких соленоидов по пути вниз по столбцу электронного микроскопа к образцу. Электроны очень чувствительны к магнитным полям и поэтому могут управляться путем изменения тока через линзы.

2.4 Метод рентгеноструктурного анализа

Рентгеновские лучи, открытые в 1895 г. В. Рентгеном – это электромагнитные колебания весьма малой длины волны, сравнимой с атомными размерами, возникающими при воздействии на вещество быстрыми электронами.

Рентгеновские лучи широко используются в науке и технике.

Длины волн рентгеновских лучей, используемых в практических целях, лежат в пределах от нескольких ангстрем до долей ангстрема (\AA), что соответствует энергии электронов, вызывающих рентгеновское излучение от 10^3 до 10^5 эв.

Рентгеноструктурный анализ это метод исследования строения тел, использующий явление дифракции рентгеновских лучей, метод исследования структуры вещества по распределению в пространстве и интенсивностям рассеянного на анализируемом объекте рентгеновского излучения. Дифракционная картина зависит от длины волны используемых рентгеновских лучей и строения объекта. Для исследования атомной структуры применяют излучение с длиной волны $\sim 1\text{\AA}$, т.е. порядка размеров атома.

Методами рентгеноструктурного анализа изучают металлы, сплавы, минералы, неорганические и органические соединения, полимеры, аморфные материалы, жидкости и газы, молекулы белков, нуклеиновых кислот и т.д. Рентгеноструктурный анализ является основным методом определения

структуры кристаллов. При исследовании кристаллов он даёт наибольшую информацию. Это обусловлено тем, что кристаллы обладают строгой периодичностью строения и представляют собой созданную самой природой дифракционную решётку для рентгеновских лучей. Однако он доставляет ценные сведения и при исследовании тел с менее упорядоченной структурой, таких, как жидкости, аморфные тела, жидкие кристаллы, полимеры и другие. На основе многочисленных уже расшифрованных атомных структур может быть решена и обратная задача: по рентгенограмме поликристаллического вещества, например легированной стали, сплава, руды, лунного грунта, может быть установлен кристаллический состав этого вещества, то есть выполнен фазовый анализ.

Рентгеноструктурный анализ кристаллических веществ распадается на два этапа.

1) Определение размеров элементарной ячейки кристалла, числа частиц (атомов, молекул) в элементарной ячейке и симметрии расположения частиц (так называемой пространственной группы). Эти данные получают путём анализа геометрии расположения дифракционных максимумов.

2) Расчёт электронной плотности внутри элементарной ячейки и определение координат атомов, которые отождествляются с положением максимумов электронной плотности. Эти данные получают анализом интенсивности дифракционных максимумов.

ГЛАВА 3 Закономерности сорбции водорода титановым сплавом ВТ6 в широком температурном диапазоне

3.1 Фазовая диаграмма

Фазовая диаграмма в физической химии, технике, минералогии и материаловедении – это тип диаграммы, используемый для отображения условий (давления, температуры, объема и т. д.), При которых возникают термодинамически различные фазы (такие как твердые, жидкие или газообразные состояния) и сосуществовать в равновесии.

Особенными частями фазовой диаграммы являются линии равновесия. Это означает какие-то условия, что две или три фазы могут существовать в балансе. По этим направлениям часто происходят фазовые переходы.

Когда эти линии встречаются вместе, будут тройные точки. Это означает, что три определенных фазы могут существовать одновременно при определенных обстоятельствах.

Солидус означает значение температуры, которое ниже точки, когда материал стабилен и находится в твердом состоянии. Ликвидус – это температура, которая выше определенной точки, когда материал стабилен в жидком состоянии. Может быть разрыв между солидусом и ликвидусом; в промежутке вещество состоит из смеси кристаллов и жидкости (как «суспензия»). [6]

Рабочие жидкости часто классифицируются на основе формы их фазовой диаграммы.

На рисунке 30 показана фазовая диаграмма Ti – H.

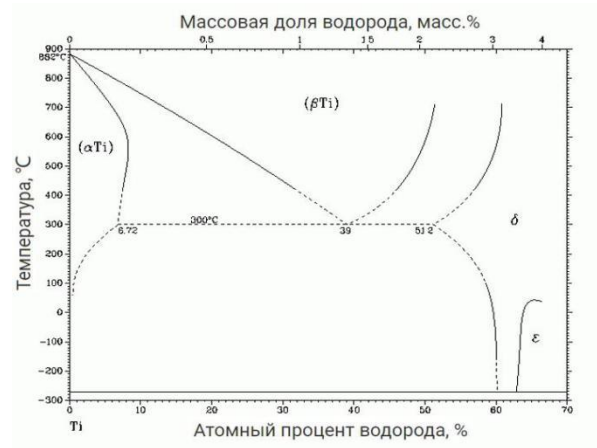


Рисунок 30 - Диаграмма состояния Ti – H

3.2 Конструкция и основные компоненты контроллера газовой реакции

Структурная схема Автоматизированного комплекса GRC показана на рис.

31.

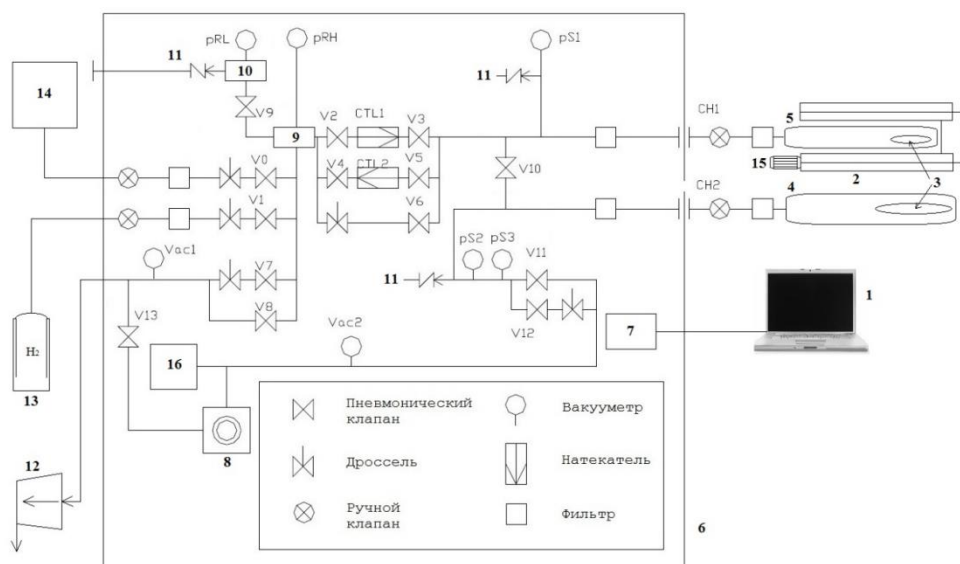


Рисунок 31 – Схема автоматизированного комплекса управления газовой реакцией: 1 – компьютер; 2 – печь; 3 – образец; 4 – камера низкого давления; 5 – камера высокого давления; 6 – контроллер; 7 – система управления комплексом; 8 – турбомолекулярный насос; 9 – резервуар низкого давления; 10 – резервуар высокого давления; 11 – система экстренного удаления водорода; 12 – вакуумный пост; 13 – баллон с водородом; 14 – генератор водорода; 15 – система охлаждения; 16 – квадрупольный масс-спектрометр

Линейный нагрев – это явление, которое может происходить при высоких температурах. И это существует в камере. Мы можем изменить температуру с

помощью криостата. Или, с другой стороны, мы можем использовать высокотемпературную печь для изменения температуры. Диапазон температур составляет от -30°C до 1000°C . Возможный способ удаления десорбированного газа – реализовать постоянную перекачку. И это должно было быть сделано во время процесса нагрева. Для низкого давления камера имеет размер 30 мм на 80 мм. Для высокого давления камера имеет размер 16 мм на 20 мм. Когда оно находится под высоким давлением водорода, идеальный параметр составляет 5066 кПа, в то время как при низком давлении идеальный параметр составляет 202,64 кПа.

3.3 Условия и методика проведения эксперимента

В качестве экспериментального образца мы используем титановый сплав ВТ6. Диаметр и толщина круглых дисков составляют 10 мм и 2 мм соответственно. Поверхность титановых сплавов была предварительно механически отшлифована и отполирована, а затем помещена в камеру. Образцы отжигали в вакууме при 750 ° С в течение 60 минут для удаления дефектов и уменьшения поверхностных напряжений. Температура в камере варьировалась от 300 ° С до 650 ° С, с шагом 50 ° С. Время обработки устанавливается равным 180 минутам каждый раз. Температура является независимой переменной этого эксперимента. При каждой температуре мы записываем данные, которые показывают связь между содержанием водорода и временем насыщения. И есть всего 8 температур. Они пошаговые. Давление установлено на уровне 0,7 барометрического давления. Максимальное значение содержания водорода увеличилось с 0 мас.% до 2 мас.%. Содержание водорода в образцах измеряли с помощью анализатора водорода LECO RHEN602 путем плавления образца в потоке инертного газа (аргона) и регистрации водорода путем изменения теплопроводности газа.

Автоматические режимы GRC могут помочь нам с этими проблемами.

1. SOAK. Первым делом нужно поместить образец в камеру. Второе, что нужно сделать, это закачать водород в камеру. В соответствии с экспериментальным требованием, мы устанавливаем определенное давление и

температуру. Эти значения должны быть постоянными. Атмосфера должна быть настроена на определенное значение. Эти значения будут постоянно отображаться на экране компьютера для наблюдения. Весьма полезно, чтобы мы использовали этот режим для выявления закономерностей поглощения водорода. Он также может быть использован, чтобы вникнуть в особенности подготовки образцов.

2. RELEASE. Этот режим используется вскоре после режима SOAK. В это время давление образца, содержащего водород, уменьшается. На экране отображаются данные об изменении количества десорбированного водорода со временем. Повторите, используя режимы SOAK и RELEASE. Не удаляйте образец из камеры. И, таким образом, исследователи могут узнать максимальное количество циклов сорбции и десорбции.

3. PCI. Этот режим предназначен для изучения закономерностей сорбции и десорбции водорода. Одним из примеров является десорбция водорода и скорость десорбции.

4. Monitor. Этот режим может записывать все необходимые значения в обычное время. Когда образец нагревается или отжигается в вакууме, это хороший выбор для использования этого режима.

Следующие последовательности представляют собой процессы сорбции и десорбции водорода.

3.4 Результаты и анализ эксперимента

На 650 °С (самая высокая температура, которую мы использовали в этом эксперименте), зависимость между временем гидрирования и массовой долей водорода показана на рисунке 32.

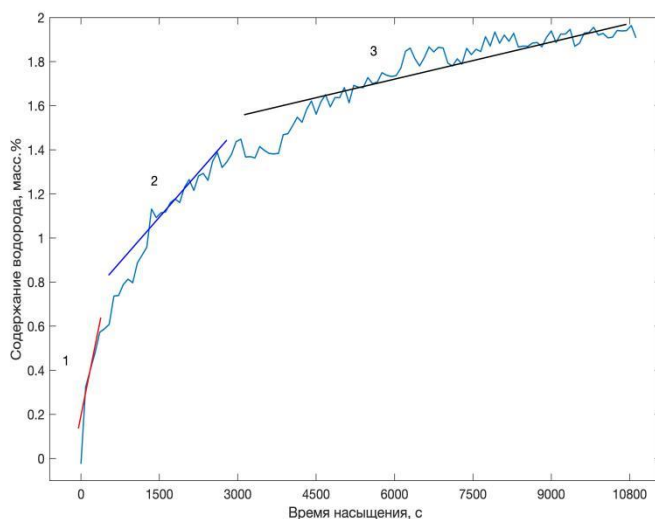


Рисунок 32 – Соотношение между временем гидрирования и массовой долей водорода

Мы можем провести расчет трех приближенных уклонов на этом рисунке, чтобы получить скорости сорбции водорода на разных стадиях. Результаты приведены в таблице 10.

Таблица 10. Три основных различных фазы ВТб и их приблизительные скорости сорбции.

| Фазы ВТб | ГПУ, α | Смесь ГПУ и ОЦК, $\alpha + \beta$ | ОЦК, β |
|----------------------------|---------------|-----------------------------------|--------------|
| Скорость сорбции, масс.%/ч | 0,41 | 0,15 | 0,04 |

Очевидно, что при одной постоянной температуре 650 на кривой почти три разных ступени. Их можно объяснить фазовой диаграммой Ti–H. На первой стадии (скорость поглощения составляет около 0,41 мас.% / ч) металл находится на чистой α -стадии. Кристаллическая структура образца – гексагональная плотноупакованная решетка (ГПУ). И затем, когда скорость поглощения становится ниже и становится стабильной со скоростью 0,15 мас.% / ч, часть металла находится в β -фазе, а общая фаза составляет $\alpha + \beta$. Кристаллическая структура образца представляет собой смесь гексагональная плотноупакованная решетка (ГПУ) и объемно центрированная кубическая решетка (ОЦК). С течением времени скорость продолжает уменьшаться и остается неизменной на уровне 0,04 мас.% / ч. И металл завершает свой переход от чистого α к чистому этапу β . Кристаллическая структура образца является объемно центрированная кубическая решетка (ОЦК).

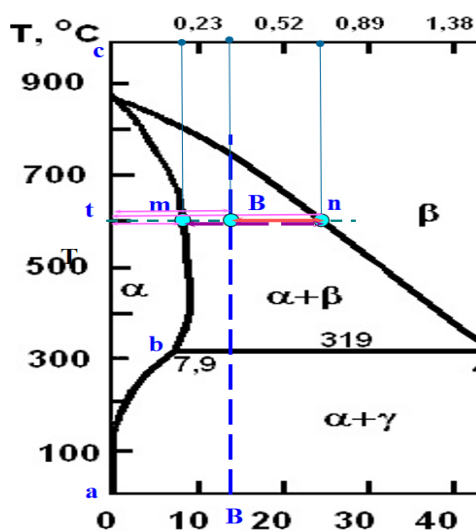


Рисунок 33 – Количественное соотношение фаз (правило отрезков или правило рычага) [9]

Как показано на рисунке 33, длина отрезка $|tm|$ равна содержанию водорода в α -фазе, $|tn|$ – в β -фазе, а $|tB|$ – в сплаве. Пусть V_α и V_β – массовые доли α – и β – фаз, соответственно.

Очевидно, что $V_\alpha + V_\beta = 1$. Концентрация водорода в сплаве равна сумме концентраций водорода в каждой фазе, тогда

$$|tm| \times V_\alpha + |tn| \times V_\beta = |tB|$$

Из этих двух уравнений легко получить

$$(|tn| - |tm|) \times V_\alpha = |tn| - |tB| \text{ или } V_\alpha = \frac{|Bn|}{|mn|} \text{ и } \frac{V_\alpha}{V_\beta} = \frac{|Bn|}{|mB|}.$$

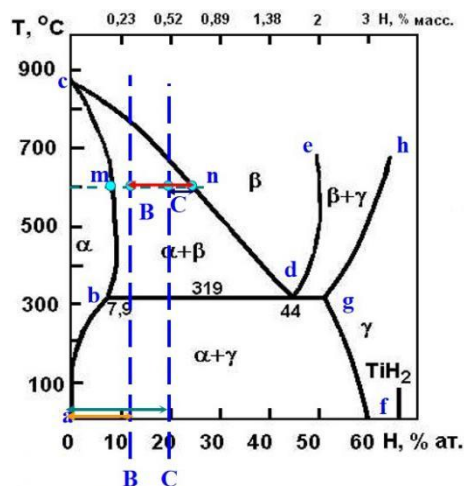


Рисунок 34 – Структура сплавов В и С отличается только количественным соотношением фаз [10]

На рисунке 34, доли первичной α -фазы (крупных темных пластин) в сплавах В и С соотносятся как Bn/Cn , а гидридов – как aB/aC (сплавы быстро охладили с 600°C до 20°C , $v=6^\circ\text{C}/\text{мин}$).

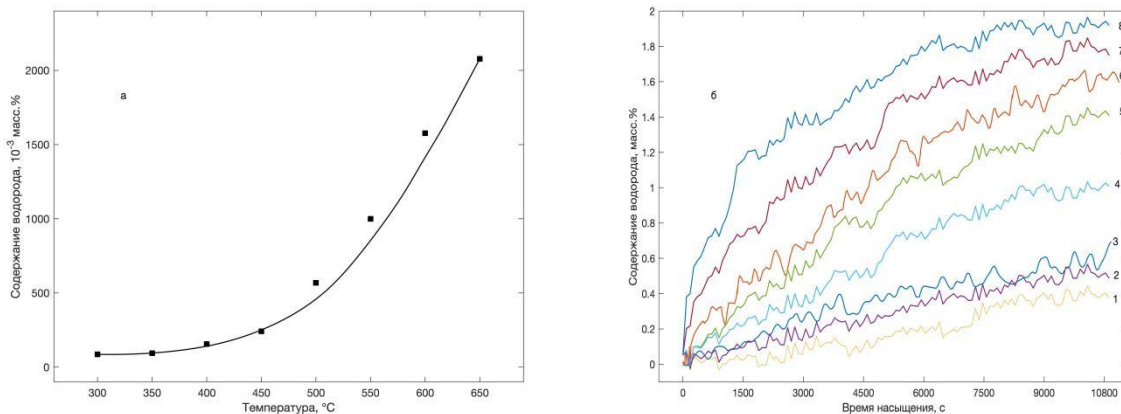


Рисунок 35 – Зависимость содержания водорода от температуры насыщения от газообразной среды (а) и кривые сорбции водорода при температурах в диапазоне от 300 до 650 °C. 300 °C (1), 350 °C (2), 400 °C (3), 450 °C (4), 500 °C (5), 550 °C (6), 600 °C (7), 650 °C (8) (б)

Далее, на рисунке 35, посмотрим на кривые сорбции водорода при температурах в диапазоне от 300 °C до 650 °C (с шагом 50 °C) в тех же образцах механически обработанного ВТ6.

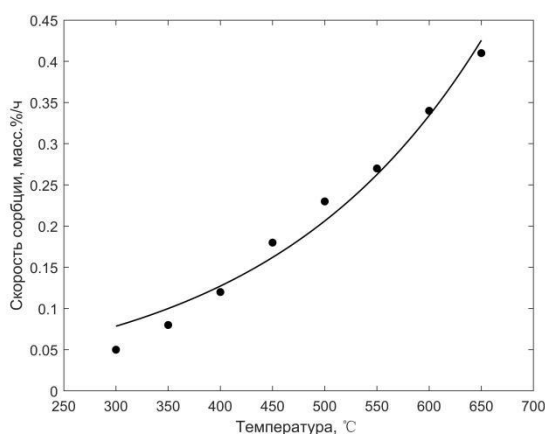


Рисунок 36 – Соотношение между скоростью сорбции водорода и температурой

Мы можем видеть из рисунка 36, что скорость поглощения водорода VT6 увеличивается с ростом температуры. При температуре выше 400 °С происходит сильное проникновение водорода в VT6.

Кроме этого, мы видим, что концентрация водорода увеличивается экспоненциально с ростом температуры. И это касается отношения между коэффициентом диффузии водорода и температурой.

Зависимость коэффициента диффузии от температуры в общем случае выражается следующим уравнением:

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (13)$$

где D — коэффициент диффузии [$\text{м}^2/\text{с}$]; D_0 — максимальный коэффициент диффузии (при бесконечной температуре; в $\text{м}^2 / \text{с}$), E_a — энергия активации [Дж]; R — универсальная газовая постоянная, $R = 8,3144598$ Дж/(моль·К); T — температура [К].

При увеличении T индекс e также увеличивается. И при этом коэффициент диффузии становится больше. Поэтому концентрация водорода возрастает экспоненциально с ростом температуры.

ГЛАВА 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Организация и планирование работ

В процессе организации реализации конкретных проектов необходимо разумно планировать ситуацию с занятостью участников и рабочее время каждого человека. В следующей таблице 4.1 перечислены люди и имена, вовлеченные в работу.

Таблица 4.1 Участники проекта

| № раб. | Исполнители | Имя |
|--------|---------------------------|---------------|
| 1 | Научный руководитель (НР) | Кудияров В. Н |
| 2 | Исполнитель(И) | Ву Кунь |

При
провед

ении исследований в выпускной работе необходимо строить рабочие группы для того, что достигнуть и выполнить конкретную цель. Для разных видов работ установите соответствующую должность исполнителя.

Таблица 4.2 Перечень работ и продолжительность их выполнения

| Этапы работы | Исполнитель и | Загрузка исполнителей |
|---|------------------|--------------------------|
| Постановка целей и задач, получение исходных данных | НР | НР – 100% |
| Составление и утверждение ТЗ | НР | НР – 100% |
| Определите тему и обсудите фактическое применение, связанное с темой. | НР, И | НР – 30% И – 100% |
| Разработать экспериментальный план и график | НР, И | НР – 100% И – 20% |
| Обсуждение литературы | НР, И | НР – 40% И – 100% |

| | | |
|--|-------|----------------------|
| Выбор структурной схемы устройства | НР, И | НР – 100% И – 50% |
| Выбор принципиальной схемы устройства | НР, И | НР – 100% И – 80% |
| Горячая обработка металлических материалов и сбор экспериментальных данных | НР | НР – 100% И – 80% |
| Экспериментальный анализ данных | НР, И | НР – 20% И – 80% |
| Оформление расчетно-пояснительной записки | НР, И | НР – 30% И – 80% |
| Оформление графического материала | НР, И | НР – 100% И – 80% |
| Подведение итогов | НР, И | НР – 50% И – 100% |

4.1.1 Продолжительность этапов работ

Существует два способа расчета продолжительности этапа работы.

Первый метод - это технология и экономика: этот метод применим к полностью разработанной нормативно-правовой базе для трудоемкости процесса планирования, что, в свою очередь, обусловлено их высокой воспроизводимостью в стабильной среде. Поскольку подрядчики часто не имеют соответствующих стандартов, мы отказываемся от использования этого метода.

Второй метод - опытно-статистический метод, который может быть реализован двумя способами: 1) аналоговый, 2) экспертный. Аналоговый метод возможен только при наличии устаревшего симулятора в поле зрения исполнителя. В большинстве случаев его можно применять только локально - для отдельных элементов (этап работы). Так что выбирайте экспертный метод для оценки. Экспертные методы пригодны для использования при отсутствии информационных ресурсов, а эксперты в конкретных предметных областях проводят необходимые количественные оценки на основе своего профессионального опыта.

Рассчитайте время, необходимое для каждого шага работы, по следующей формуле:

$$t_{ож} = \frac{t_{min} + 4t_{prob} + t_{max}}{6} \quad (4,1)$$

где t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.;

t_{prob} – наиболее вероятная продолжительность работы, дн.

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

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.;

$K_{вн}$ – коэффициент выполнения работ, $K_{вн} = 1,2$;

K_D – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ, $K_D = 1,1$

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{KD} = T_{RD} \cdot T_K \quad (4,3)$$

где T_{KD} – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

T_K – коэффициент календарности, решение по формуле:

$$T_K = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22 \quad (4,4)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$);

$T_{ВД}$ – выходные дни по кадровым вопросам. Вопросы применения ст. 111 ТК РФ, ($T_{ВД} = 52$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни по кадровым вопросам. Вопросы применения ст. 112 ТК РФ, ($T_{ПД} = 14$).



Рассчитайте время, необходимое для работы на каждом этапе из таблицы 4.2, и сделайте следующие выводы:

Таблицы 4.3 Трудозатраты на выполнение проекта

| Этап | Исполнитель и | Продолжительность работ, дни | | | Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн. | | | |
|--|------------------|---------------------------------|------------------------|-----------------------|---|--------------|-----------------|--------------|
| | | | | | Т _{рд} | | Т _{кд} | |
| | | <i>t_{min}</i> | <i>t_{max}</i> | <i>t_{ож}</i> | НР | И | НР | И |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Постановка целей и задач | НР | 3 | 4 | 3.4 | 3.379 | - | 3.505 | - |
| Составление и утверждение ТЗ | НР | 2 | 3 | 2.4 | 2.268 | - | 2.853 | - |
| Определите тему и обсудите фактическое применение, связанное с темой. | НР, И | 7 | 10 | 8.2 | 2.255 | 6.516 | 2.572 | 9.492 |
| Разработать экспериментальный план и график | НР, И | 2 | 6 | 3.4 | 2.566 | 0.262 | 3.678 | 0.503 |
| Обсуждение литературы | НР, И | 3 | 6 | 4.2 | 1.155 | 3.902 | 1.683 | 4.057 |
| Выбор структурной схемы устройства | НР, И | 7 | 14 | 9.8 | 8.983 | 4.459 | 10.958 | 5.754 |
| Выбор принципиальной схемы устройства | НР, И | 4 | 8 | 5.6 | 5.746 | 4.654 | 7.607 | 5.967 |
| Горячая обработка металлических материалов и сбор экспериментальных данных | НР | 30 | 40 | 34 | 31.179 | 24.894 | 38.502 | 30.604 |
| Экспериментальный анализ данных | НР, И | 15 | 20 | 17 | 3.116 | 12.967 | 3.635 | 15.862 |
| Оформление расчетно-пояснительной записки | НР, И | 5 | 7 | 5.8 | 1.958 | 3.498 | 2.963 | 4.075 |
| Оформление графического материала | НР, И | 10 | 15 | 12 | 11.745 | 8.056 | 13.068 | 10.063 |
| Подведение итогов | НР, И | 4 | 6 | 4.8 | 2.674 | 4.457 | 3.267 | 5.854 |
| Итого: | | | | 110.60 | 77.02 | 73.67 | 94.21 | 92.23 |

| Эта | НР | И | Март | | | Апрель | | | Май | | | Июнь | | |
|-----|-----------|-----------|------|----|----|--------|----|----|-----|----|----|------|-----|-----|
| | | | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
| 1 | 3.8 02 | - | ■ | | | | | | | | | | | |
| 2 | 2.6 84 | - | | ■ | | | | | | | | | | |
| 3 | 2.7 51 | 9.1 70 | | | ■ | | | | | | | | | |
| 4 | 3.1 31 | 0.3 13 | | | | ■ | | | | | | | | |
| 5 | 1.4 1 | 4.6 97 | | | | | ■ | | | | | | | |
| 6 | 10. 96 | 5.4 79 | | | | | ■ | | | | | | | |
| 7 | 7.1 57 | 5.7 25 | | | | | | ■ | | | | | | |
| 8 | 38. 02 | 30. 41 | | | | | | | ■ | | | | | |
| 9 | 3.8 02 | 15. 21 | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 2.4 15 | 4.8 31 | | | | | | | | | | | | |
| 11 | 13. 42 | 10. 73 | | | | | | | | | | | | |
| 12 | 3.2 | 5.3 | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | 21 | 68 | | | | | | | | | | | | |
|--|----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

HP - ; И - 

4.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

Стоимость создания проекта включает в себя все затраты, необходимые для реализации каждой из задач, которые составляют эту разработку. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат: материалы и покупные изделия; заработная плата; социальный налог; расходы на электроэнергию (без освещения); амортизационные отчисления; командировочные расходы; оплата услуг связи.

4.2.1 Расчет затрат на материалы

Во-первых, расходы включают материальные затраты, приобретенные продукты, полуфабрикаты и другие материальные ценности, которые непосредственно потребляются при работе объекта проектирования. Цена за единицу товара принимается за среднюю рыночную цену. Хотя цена на оптовую торговлю будет намного ниже, чем средняя рыночная цена, мало влияет на небольшое количество протестированных образцов.

Таблицы 4.4 Расчет затрат на материалы

| Наименование материалов | Единица измерения | Цена за ед., руб. | Кол-во | Сумма, руб. |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------|--------|-------------|
| Титановый сплав BT1-0 | штук | 250 | 8 | 2000 |
| Бумага | лист | 5 | 10 | 50 |
| Транспортно-заготовительные расходы | — | 350 | 2 | 700 |
| Итого: | | | | 2750 |

4.2.2 Расчет заработной платы

Среднедневная тарифная заработная плата ($Z_{\text{дн-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн-т}} = \frac{M_0}{298} = \frac{M_0}{24,83 \cdot 12}$$

Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов:

$$K_{\text{ПР}} = 1,1; K_{\text{доп.ЗП}} = 1,188; K_{\text{р}} = 1,3.$$

Поэтому необходимо добавить тарифы к базовой зарплате и оценить соответствующий коэффициент. Формула для расчета коэффициента выглядит следующим образом

$$K_i = K_{ПР} * K_{доп.ЗП} * K_r = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699.$$

Таблицы 4.5 Затраты на заработную плату

| Исполнитель | Оклад, руб./мес. | ежедневная ставка, руб./раб.день | Затраты времени, раб.дни | Коэффициент | Фонд з/платы, руб. |
|---------------|------------------|----------------------------------|--------------------------|-------------|--------------------|
| НР | 32 483 | 1286 | 77,02 | 1,699 | 165892,92 |
| И | 14 230 | 617 | 73,67 | 1,620 | 74 078,99 |
| Итого: | | | | | 239 971,91 |

4.2.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту.

$$C_{соц} = C_{зп} * 0,3 = 239\,971,91 * 0,3 = 71\,991,57 \text{ руб.}$$

4.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

Рассчитайте счет за электроэнергию, необходимый для теста. Вам нужно знать местную цену на электроэнергию, мощность устройства и сколько времени использовать, рассчитываемые по формуле:

$$C_{эл.об.} = P_{об} \cdot t_{об} \cdot C_{э}$$

где $P_{об}$ – мощность кВт;

$t_{об}$ – время работы оборудования, час.

$C_{э}$ – цена на 1 кВт·час; $C_{э} = 5,748 \text{ руб./кВт.час}$ (в ТПУ).

Поскольку спектральные данные были записаны, экспериментальное оборудование работало 24 часа, и данные были получены в режиме реального времени с помощью удаленного компьютера. Поскольку экспериментальный метод имеет излучение частиц высокой энергии, он минимизирует контакт между людьми и оборудованием. Эта операция приведет к тому, что рабочее

время экспериментального оборудования будет больше рабочего времени человека.

В таких случаях $t_{об}$ определяется путем прямого учета, особенно если использование соответствующего оборудования ограничено.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{об} = P_{ном.} * K_C$$

где $P_{ном.}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C = 1$ (оборудование малой мощности).

Результаты расчета стоимости электроэнергии следующие таблице

Таблице 4.6

| № п/п | Наименование оборудования | Время работы $t_{об}$ (ч) | Потребляемая Мощность $P_{об}$ (кВт) | Цена единицы оборудования, $C_э$ (кВт/ч); | Затраты на электроэнергию, руб. |
|-------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------------|---|---------------------------------|
| 1. | Компьютер | 648 | 0,05 | 5,498 | 159,4 |
| 2. | Печь/криостат | 110 | 0,35 | | 38,6 |
| 3. | Система охлаждения | 150 | 0,28 | | 125,7 |
| 4. | Камера низкого давления | 648 | 0,02 | | 72,4 |
| 5. | Контроллер | 710 | 0,03 | | 123,6 |
| 6. | Резервуар низкого давления | 648 | 0,2 | | 746,8 |
| 7 | Вакуумный пост | 110 | 0,09 | | 54,5 |
| | Итого | 3024 | 1,02 | | 1256.0 |

4.2.5 Расчет амортизационных расходов

В учете затрат учитывается не только счет за электроэнергию оборудования, но и амортизация оборудования. Используется формула.

$$C_{ам} = \frac{N_A * C_{об} * t_{рф} * n}{F_d}$$

где N_A – годовая норма амортизации; ($N_A=40\%$ по приложению 1)

$\text{Ц}_{\text{об}}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР.

F_D – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования. ($301 \cdot 12 = 3612$ ч)

$t_{\text{рф}}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, задается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Результаты расчета нормы амортизации в таблице 4.7

Таблицы 4.7

| № п/п | Наименование оборудования | Количество (n). | Цена единицы оборудования, руб ($\text{Ц}_{\text{об}}$) | Общая стоимость оборудования, руб. | Время работы $t_{\text{рф}}$ (ч) | Амортизация руб |
|-------|---------------------------|-----------------|---|------------------------------------|----------------------------------|-----------------|
| 1. | Компьютер $N_A = 0,4$ | 1 | 30000 | 30000 | 648 | 2512,8 |
| 2. | Печь/криостат | 1 | 1200 | 1200 | 110 | 95,5 |
| 3. | Система охлаждения | 1 | 8500 | 8500 | 150 | 87,6 |
| 4. | Камера низкого давления | 1 | 4000 | 4000 | 648 | 259,4 |
| 5. | Контроллер | 1 | 6000 | 6000 | 710 | 69,4 |
| | Итого | | | 49700 | | 2664,7 |

4.2.6 Расчет прочих расходов

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{нп}}) \cdot 0,1 = 11096 \text{руб}$$

4.2.7 Стоимость всех проектов

Консолидировать и суммировать расходы по вышеуказанным разделам. Все затраты на этот эксперимент представлены в таблице 4.8 ниже.

Таблицы 4.8 Смета затрат на разработку проекта

| Статья затрат | Условное обозначение | Сумма, руб. |
|-------------------------------|----------------------|------------------|
| Материалы и покупные изделия | $C_{\text{мат}}$ | 2750 |
| Основная заработная плата | $C_{\text{зп}}$ | 239971,91 |
| Отчисления в социальные фонды | $C_{\text{соц}}$ | 71991,57 |
| Расходы на электроэнергию | $C_{\text{эл.}}$ | 1256,0 |
| Амортизационные отчисления | $C_{\text{ам}}$ | 636,9 |
| Прочие расходы | $C_{\text{проч.}}$ | 11096 |
| Итого: | | 327702,38 |

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 327702,38$ руб. Экономическая эффективность исследования, этот эксперимент не имеет экономического значения, только для изучения защиты материалов из сплава циркония в ядерных реакторах. Следовательно, оценка его экономического эффект – В рамках данной работы невозможна.

ГЛАВА 5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Процесс 3D-печати делится на два этапа: 1) сначала осуществляется нанесение слоев порошка на подложку; 2) затем производят спекание или сплавление порошка различными методами (электронным пучком, лазером). Есть много способов производства титанового порошка.

В процессе производства титанового порошка используется много инструментов. Одним из инструментов является Автоматизированный комплекс GRC.

Автоматизированный комплекс GRC разработан для определения количества сорбированного газа различными твердыми телами в различных диапазонах температур и давлений. Принцип работы GRC можно понять из рисунка.

При работе на комплексе Gas Reaction Controller LP на работников возможно воздействие следующих вредных факторов:

Микроклимат; компьютер; опасность поражения электрическим током; воздействие высокой температуры; эксплуатация газовых баллонов (аргон), работающих под давлением.

При неисправности в работе комплекса Gas Reaction Controller LP возможна утечка газа, возгорание.

Итак, это необходимо исследовать его социальная ответственность.

1.1. Производственная безопасность.

5.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.

Таблица 16. Опасные и вредные факторы при выполнении работ по оценке технического состояния подводного перехода нефтегазопровода

| Источник фактора, наименование видов работ | Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74) | | Нормативные документы |
|---|--|--|---|
| | Вредные | Опасные | |
| Полевые работы: 1) Подготовка образцов; 2) Исследование взаимодействия водорода с титаном; 3) Способы наводороживания сплавов из титана 4) Анализ полученных результатов; | 1. Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе; 2. Превышение уровней шума и вибрации; 3. Повышенная загазованность воздуха рабочей среды. | 1. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; 2. Электрический ток. | Приводятся нормативные документы, которые регламентируют действие каждого выявленного фактора с указанием ссылки на список литературы. Например, параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4-548-96 [1]. |

Основная часть государственной системы стандартизации устанавливает требования и нормы по видам опасных и вредных производственных факторов.

Для анализа и профилактики производственного травматизма профессиональной заболеваемости важное значение имеет классификация их причин. Несчастные случаи возникают в процессе неудовлетворительных

условий труда в результате действия опасных и вредных производственных факторов.

При анализе производственного травматизма и профессиональных заболеваний необходимо учитывать весь комплекс факторов, воздействующих на формирование безопасных условий труда.

Главными задачами анализа вредных и опасных факторов является установление закономерностей, вызывающих несчастные случаи, и разработка на основе этой закономерности эффективных профилактических мероприятий.

Можно выделить две группы факторов: производственно-технологические или объективные человеческие, к которым относятся:

- все работающие (движущиеся) части станков, машин или цеховой транспорт, а также острые кромки и заусенцы деталей, заготовок, инструмента и оборудования

- запыленность и загазованность цеха или рабочей зоны

- некомфортный микроклимат цеха или участка

- повышенная температура оборудования или материалов

- повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте или в цехе

- отсутствие или недостаток естественного освещения и недостаточность искусственного освещения цеха и рабочего места

- электрическое оборудование токоведущие провода и кабели

- наличие вредных и токсичных веществ

5.1.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.

Работающее оборудование, перемещаемые детали заготовки, цеховой транспорт, а также наличие острых кромок заусенцев на деталях, заготовках, инструменте и оборудовании является источником производственного травматизма – порезов, ушибов, переломов и т.д. Оборудование при работе выделяет тепло, и разогретый металл при обработке служит источником ожогов и тепловых травм. Все токоведущее и токопоглощающее оборудование при не соблюдении техники безопасности работы на нем может привести к поражению электрическим током.

Одним из вредных веществ, часто находящимся в воздухе машиностроительных цехов является пыль, представляющая собой мельчайшие частицы твердого вещества. Пыль, способная некоторое время находиться в воздухе во взвешенном состоянии, называется аэрозолью, в отличие от осевшей пыли, называемой аэрогелью. Пыль оказывает вредное действие главным образом на дыхательные пути и легкие. В зависимости от ее состава и вида может оказывать также неблагоприятные воздействия на кожу и глаза. К ядовитой или токсичной относятся свинцовая, марганцевая, хромовая и др. Эта пыль, попадая в организм или оседая на коже, может вызвать острое или хроническое отравление.

По дисперсности (степень измельченности) различают пыль: крупнодисперсную – частицами размером более 10 мкм; среднедисперсную – частицами размером от 10 до 5 мкм, мелкодисперсную и дым с частицами размером менее 5 мкм. Мелкодисперсная пыль представляет для организма наибольшую опасность.

Вредные вещества (пары, газы, пыль), находящиеся в воздухе производственных помещений, через дыхательные пути, пищевой тракт могут попасть в организм человека и при определенных условиях вызвать острые и хронические отравления, а также, при выделении в атмосферу при постоянном воздействии и повышенной концентрации приводит к загрязнению окружающей среды.

Важнейшее значение для нормальной жизнедеятельности человека имеет наличие чистого воздуха, необходимого химического состава и имеющего оптимальные температуру, влажность и скорость движения.

В производственных помещениях при работе станков, машин, оборудования, от технологического процесса и нахождения работающих людей могут выделяться избыточное количество тепла и влаги, а также загрязняющих воздух газов, паров, пыли.

Длительное воздействие шума на человека может привести к частичной потере слуха, повышению кровяного и внутреннего давления, общей утомляемости и увеличению опасности травматизма. Воздействие вибрации оказывает патологическое воздействие на весь организм человека, вызывая общую утомляемость и снижение внимания, и как следствие травматизм при работе, а также хронические профессиональные заболевания.

5.1.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.

Одним из вредных производственных факторов, действующих в цехах сервисного центра сельскохозяйственной техники является шум и вибрация. При разработке технологического процесса, при организации рабочих мест следует принимать все необходимые меры по снижению шума, до значений не превышающих допустимые (по ГОСТ 12.1.003-86) применением средств индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.051-78. В качестве средств индивидуальной защиты используют вкладыши, наушники, шлемы.

Средства и методы коллективной защиты от шума делятся на акустические, архитектурно-планировочные, организационно-технические.

К организационно-техническим методам защиты относятся применение малозумных технологий, оснащение шумных машин дистанционным управлением, использование рациональных режимов труда и отдыха.

Архитектурно-планировочные методы защиты от шума включают в себя рациональные акустические решения планировок зданий, рациональное размещение технологического оборудования, машин и механизмов.

Для устранения шума и вибрации в цехе применяются следующие мероприятия:

а) Станки, установленные на фундаменты, виброизолированные от конструкции здания;

б) Электродвигатели станков, установленные на демпфирующие прокладки;

в) Сопряжение всасывающих и выхлопных воздуховодов производится при помощи гибких патрубков.

Микроклимат производственных помещений - климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей.

В соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 значения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха устанавливаются для рабочей зоны производственных помещений в зависимости от категории тяжести выполняемой работы, величины избытков явного тепла, выделяемого в помещении, и периода года.

Во всех случаях в воздухе, поступающем внутрь зданий и сооружений через приемные отверстия систем вентиляции и через проемы для естественной приточной вентиляции, содержание вредных веществ не должно превышать 30% ПДК, установленных для рабочей зоны производственных помещений.

Требуемое состояние воздуха рабочей зоны может быть обеспечено выполнением определенных мероприятий:

1. Механизация и автоматизация производственных процессов, дистанционное управление ими.

2. Применение технологических процессов и оборудования, исключающих образование вредных веществ или попадания их в рабочую зону.

3. Большое значение для оздоровления воздушной среды имеет надежная герметизация оборудования, в котором находятся вредные вещества.

4. Защита от источников тепловых излучений.

5. Устройство вентиляции и отопления.

Вытяжная вентиляция устанавливается на рабочем месте заточки инструмента, а также на рабочем месте электросварщика.

В качестве индивидуальных средств защиты у каждого рабочего должны быть защитные очки. Для удаления стружки из рабочей зоны станка – специальные крючки.

В проектируемом цехе установлено большое количество электрооборудования. Чтобы избежать поражения работающих **электрическим током**, оборудование необходимо заземлить.

Контурное заземляющее устройство характеризуется тем, что его одиночные заземлители размещаются по контуру площади, на которой находится заземляемое оборудование. Безопасность при контурном заземлении обеспечивается выравниванием потенциала на защищаемой территории до такой величины, чтобы максимальное значение напряжений прикосновения и шага не превышали допустимых. Это достигается путем соответствующего размещения одиночных заземлителей.

Для защиты от поражения электрическим током также применяют зануление и защитные отключающие устройства.

Занулением называется присоединение к неоднократно заземленному проводу «нулевому» питающей сетки корпусов и других металлических частей электрооборудования, которые не находятся под напряжением, но вследствие повреждения изоляции могут оказаться под напряжением.

5.2 Экологическая безопасность.

5.2.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Вследствие относительной инертности титана считается, что он не оказывает отрицательного влияния на окружающую среду. 100% титана можно использовать повторно, он не разрушается, и как результат этого не загрязняет окружающую среду. Другие металлы, когда подвергаются действию загрязняющих веществ окружающей среды, разъедаются или разрушаются от коррозии и выделяют ионы металла в грунтовые воды, что является причиной возникновения проблем в окружающей среде. С учетом обязательств, связанных со "спецификацией по строительству без вреда окружающей среде", преимуществами титана считаются его наибольшая степень инертности и наибольший срок службы по сравнению со всеми остальными архитектурными металлами.

Однако во время эксперимента используется водород. Утечка водорода может вызвать взрыв.

5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.3.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.

Таблица 17 - Анализ возможных ЧС

| Чрезвычайная ситуация | Источники ЧС | Последствия ЧС |
|-----------------------|--|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Пожар | Пожар, разрушение машин, ожоги, отравления продуктами горения, опасность взрывов, летальные исходы | |
| Ураганный ветер | Природный фактор | Разрушение машин, зданий, травмирование и раздавливание людей летающими предметами и их осколками, опасность взрыва, летальные исходы, обрыв линии электропередач |
| Ливневые дожди | Природный фактор | Затопление территории предприятия, разрушение зданий, летальные исходы |

5.3.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.

К возникновению ЧС могут привести полное или частичное разрушение технологического оборудования.

К основным причинам и факторам, связанным с отказами оборудования относятся:

- опасности, связанные с технологическими процессами;
- физический износ, коррозия, механические повреждения, температурные деформации оборудования или трубопроводов;
- ошибки обслуживающего персонала.

Основными причинами выбросов и утечек нефти могут быть:

- превышение рабочего давления;
- разрушение (полное или частичное) трубопроводов, оборудования и сооружений;
- отказы оборудования и технологических устройств.

Рассматриваются наиболее опасные варианты развития аварии:

- для технологических трубопроводов - связанные с порывом трубопровода на участке с максимальным давлением;
- для насосных - связанные с полным разрушением насоса.

5.3.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.

Организационные мероприятия касаются области управления ЧС. К ним относится планирование, комплексные проверки состояния объектов ГО, проведение на предприятиях контроля состояния сил и средств на предприятиях, установление персональной ответственности за проведение тех или иных видов работ, направленных на повышение надежности функционирования объекта в условиях ЧС и т.п.

Организационные мероприятия касаются области управления ЧС. К ним относится планирование, комплексные проверки состояния объектов ГО, проведение на предприятиях контроля состояния сил и средств на предприятиях, установление персональной ответственности за проведение тех или иных видов работ, направленных на повышение надежности функционирования объекта в условиях ЧС и т.п.

Мероприятия по минимизации потерь населения:

Технические:

1. Ведение контроля за системой молниезащиты, за системой пожаробезопасности.
2. Ведение строгого контроля за условиями хранения химически опасного вещества.
3. Хранение СД и ЯВ в специализированных резервуарах и установка на них приборов регистрирующих изменение параметры состояния вещества - в случае разгерметизации срабатывают сигнальные устройства.
4. Ограждение площадки с резервуаром (место хранения) заградительной полосой (нейтрализация), в случае растекания вещества, размер зоны растекания не выйдет за пределы площадки, вещество будет нейтрализовано и утилизировано.

Организационно – технические:

1. Установление персональной ответственности за проведение тех или иных видов работ, которые могут вызывать риск возникновения ЧС.
2. Установление ответственности за проведение работ по эвакуации работников предприятия при локализации аварии.
3. Использование сорбента и металлической пены при разливе СД и ЯВ.

4. Ведение работ по прогнозированию возникновения химической опасности.
5. Проведение учений для отработки действий при локализации ЧС.
6. Обучение персонала методам активной защиты и использование СИЗ при возникновении ЧС.
7. Разработка инструкций к действиям для работников при возникновении ЧС.

5.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

5.4.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.

При работах с вредными и опасными условиями труда, а также выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением, работникам бесплатно выдаются прошедшие обязательную сертификацию или декларирование соответствия специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты, а также смывающие и (или) обезвреживающие средства в соответствии с типовыми нормами.

При работе с вредными условиями труда работникам выдаются бесплатно по установленным нормам молоко или другие равноценные пищевые продукты. Выдача работникам по установленным нормам молока или других равноценных пищевых продуктов по письменным заявлениям работников может быть заменена компенсационной выплатой в размере, эквивалентном, стоимости этих продуктов, если это предусмотрено коллективным договором и (или) трудовым договором.

Федеральный государственный надзор за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права, осуществляется федеральной инспекцией труда в порядке, установленном Правительством Российской Федерации.

Государственный контроль (надзор) за соблюдением требований по безопасному ведению работ в отдельных сферах деятельности 78 осуществляется в соответствии с законодательством Российской Федерации уполномоченными федеральными органами исполнительной власти.

Ведомственный контроль за охраной труда проводят министерства и ведомства, которые контролируют внутриведомственное соблюдение законодательства о труде. Для этого создают специальные службы охраны труда в виде отделов с аппаратом инженеров по охране труда, санитарных врачей и других специалистов.

Профсоюзный общественный контроль за охраной труда осуществляют общественные инспектора и комиссии по охране труда комитетов профсоюзов. Для исключения возможности несчастных случаев должны проводиться обучение, инструктажи и проверка знаний работников требований безопасности труда.

5.4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.

Персонал допускается к работе только в спецодежде и средствах индивидуальной защиты. На рабочем месте должны быть запасы сырья и материалов, не превышающие сменную потребность. Необходимо знать специфические свойства применяемых веществ и соблюдать установленные правила работы с ними. Производственный процесс должен быть организован так, чтобы не допускать выделения в воздух рабочей зоны пыли и вредных веществ. Все эксплуатируемые электроустановки должны соответствовать требованиям «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей», и др. нормативных документов. Эксплуатация электрооборудования без заземления не допускается. Помещения опытно-производственной лаборатории обеспечиваются первичными средствами пожаротушения согласно действующим нормам. Все работники должны уметь пользоваться средствами пожаротушения и уметь оказывать первую помощь при несчастном случае. Не допускается 79 загромождения рабочих мест, проходов, выходов из помещений и здания, доступа к противопожарному оборудованию.

Заключение

Изучение закономерностей поглощения водорода через титановый сплав ВТ6 в широком диапазоне температур проводилось путем регистрации и анализа взаимосвязи между продолжительностью гидрирования и содержанием водорода.

Из всех этих данных, которые мы получаем, и из кривых, которые мы рисуем, мы можем получить следующие закономерности:

1. Кристаллические структуры образцов ВТ6 после гидрирования переходят из α -фазы в β -фазу. Расчетным путем мы можем получить коэффициент плотной упаковки (КПУ) для этих двух кристаллических структур. КПУ для ГПУ составляет 0,74, а КПУ для ОЦК – 0,68. Поэтому плотность образцов становится меньше после гидрирования. Это повлияет на скорость поглощения водорода образцами. И мы видим это в явном виде по кривым (с течением времени наклон уменьшается). Это означает, что скорость поглощения водорода образцами уменьшается с течением времени.

2. Сравнивая кривые поглощения водорода при 8 температурах, которые постепенно увеличиваются, мы видим, что концентрация водорода увеличивается экспоненциально с ростом температуры. И это касается отношения между коэффициентом диффузии водорода и температурой. Проникновение водорода в титановый сплав при температуре ниже $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ происходит довольно медленно. Вероятно, это связано с тем, что проникновению водорода препятствует поверхностная оксидная пленка образцов. И существует огромное проникновение водорода в ВТ6, когда температура выше $400\text{ }^{\circ}\text{C}$.

На процесс поглощения водорода материалом существенно влияют структурное и фазовое состояние материала, условия эксплуатации (температура, эффективные напряжения). В связи с этим изучение закономерностей взаимодействия водорода с титановыми сплавами представляет не только фундаментальный, но и практический интерес.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Conner B. P., Manogharan G. P., Martof A. N., Rodomsky L. M., Rodomsky C. M., Jordan D. C., Limperos J. W. Making sense of 3-D printing: creating a map of additive manufacturing products and services // *Additive Manufacturing*. 2014. Vol. 1–4. P. 64–76.
2. Котляров В. И., Бешкарев В. Т. и др. Получение сферических порошков для аддитивных технологий на основе металлов IV группы // *Физика и химия обработки материалов*. 2016. № 2. С. 63–70.
3. Каблов Е. Н. Аддитивные технологии — доминанта национальной технологической инициативы // *Интеллект&Технологии*. 2015. № 2 (11). С. 52–55.
4. Horn T. Overview of current additive manufacturing technologies and selected applications // *Science Progress*. 2012. Vol. 95. P. 255–282.
5. Boulos M. Plasma power can make better powders // *Metal Powder Report*. 2004. Vol. 59, No. 5. P. 16–21.
6. Петрик И. А., Овчинников А. В., Селиверстов А. Г. Разработка порошков титановых сплавов для аддитивных технологий применительно к деталям ГТД // *Авиационно-космическая техника и технология*. 2015. № 8. С. 11–16.
7. ГОСТ 19440–94. Порошки металлические. Определение насыпной плотности. Часть 1. Метод с использованием воронки. Часть 2. Метод волюмометра Скотта. — Введ. 1997–01–01.
8. ГОСТ 20899–98. Порошки металлические. Определение текучести с помощью калиброванной воронки (прибора Холла). — Введ. 2001–07–01.
9. Гидриды металлов / под ред. В. Мюллера. — М. : Атомиздат, 1973.
10. Гидриды переходных металлов / под ред. Л. Мюттертиз. — М. : Мир, 1975. — 310 с.
11. Титановые сплавы. Металлография титановых сплавов / под ред. Н. Ф. Аношкина. — М. : Металлургия, 1980. — 464 с.

12. Yan L., Ramamurthy S., Noel J. J., Shoesmith D. W. Hydrogen absorption into alpha titanium in acidic solutions // *Electrochimica Acta*. 2006. Vol. 52. P. 1169–1181.
13. Колачев Б. А., Ливанов В. А., Буханова А. А. Механические свойства титана и его сплавов. — М. : Металлургия, 1974. — 544 с.
14. Зленко М. А., Нагайцев М. В., Довбыш В. М. Аддитивные технологии в машиностроении. — М. : ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. — 220 с.
15. Ротач В.Я. Теория автоматического управления: учебник для вузов. — М.: Изд-во МЭИ, 2005. — 400 с.
16. Ogunnaike B., Ray W.H. *Process Dynamics, Modeling and Control*. — New York, Oxford: Oxford University Press, 1994. — 1260 p.
17. Homans G. Social Behaviour as Exchange // *American Journal of Sociology* / — 1958. — Vol. 63. — P. 32-49.
18. Рудакова Ж.И. Управление организацией: согласование интересов и социальный конфликт: Дис. ... канд. социол. наук. Новочеркасск. 1999. — 146 с.
19. Бычков В.В. Эстетика Владимира Соловьёва как актуальная парадигма: К 100-летию со дня смерти В.Л. Соловьёва: [Электронный ресурс] / В.В. Бычков. — Электрон. ст. — Б. м., Б. г. — Режим доступа к ст.: <http://spasil.ru/biblt/bichcov2.htm>.
20. Гибкие производственные системы / В.В. Потапов [и др.]. — М: Изд-во Стандартов, 1989. — 311 с.
21. Пат. 2187888 Российская Федерация, Н04 В1/38, Н04 J13/00. Приемопередающее устройство / Чугаева В.И.; заявитель и патентообладатель Воронеж. науч.-исслед. ин-т связи. — опубл. 20.08.02, Бюл. № 23 (II ч.). — 3 с.
22. Pat. US 20120033331 United States. Nanocomposites for ultra high density information storage, devices including the same, and methods of making the same

[Electronic resource] / A. Goyal, J. Shin; Pat. Assignee UT BATTELLE. – Pub. Date 2012/02/09/ - 11 p.: 101. Scheme. – Access from “Questel”.

23.Беспалов А.В., Харитонов Н.И. Системы управления химико-технологическими процессами. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 690 с.

24.Теоретические основы электротехники / Л.Р. Нейман, Н.С. Демирчак, Л.А. Тимохин и др. – М: Высшая школа, 1990. – 125 с.

25.ГОСТ 7.1-2003 Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие правила составления. – М: ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 48 с.

26.ГОСТ 21.404–85. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 18 с.

27.А.С. 137418 СССР, В 25 J K7/16. Устройство для автоматической поверки приборов / В.Н. Чинков и др. – 3631077/24-10: заяв. 5.08.83; опубли. 10.07.85, Бюл. №12. – 4 с.

28.Кучеров А.Б. Попеременно-треугольный интеграционный метод решения разностных уравнений: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. _ М., 1979. _ 10 с.

29.Алешин Н.Н. Оптико-телевизионная система считывания показаний стрелочных приборов // Изв. вузов. Сер. Приборостроение. – 1987. – №2. – С. 3-5.

30.Промышленные приборы и средства автоматизации. Справочник / под ред. В.В. Черенкова. – Л.: Машиностроение, 1987. – 847 с.

31.Практикум по автоматике и системам управления производственными процессами / под ред. И.М. Масленникова. – М.: Химия, 1986. – 336 с.

32.Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.

33. Антипов В.В. Стратегия развития титановых, магниевых, бериллиевых и алюминиевых сплавов // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №S. С. 157–167.

34. Каблов Е.Н. Материалы и технологии ВИАМ в конструкциях перспективных двигателей разработки ОАО «Авиадвигатель» // *Пермские авиационные двигатели: информ. бюл.* 2014. №31. С. 43–47.

35. Оспенникова О.Г. Стратегия развития жаропрочных сплавов и сталей специального назначения, защитных и технологических покрытий // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №S. С. 19–35.

36. Каблов Е.Н., Петрушин Н.В., Светлов И.Л. Современные литые никелевые жаропрочные сплавы // *Тр. Междунар. науч.-технич. конф. «Научные идеи С.Т. Кишкина и современное материаловедение»*. М.: ВИАМ, 2006. С. 39–55.

37. Иноземцев А.А., Башкатов И.Г., Корявцев А.С. Титановые сплавы в изделиях разработки ОАО «Авиадвигатель» // *Современные титановые сплавы и проблемы их развития*. М.: ВИАМ, 2010. С. 43–46.

38. Сироткин О.С. Современное состояние и перспективы развития аддитивных технологий // *Авиационная промышленность*. 2015. №2. С. 22–25.

39. Gasser A., Backes G., Kelbassa I., Weisheit A., Wissenbach K. Laser Additive Manufacturing. Laser Metal Deposition (LMD) and Selective Laser Melting (SLM) in Turbo-Engine Application // *Laser Technik Journal*. 2010. Vol. 7. P. 58–63. DOI: 10.1002/latj.201090029.

40. Каблов Е.Н. Порошки избавляют от лишнего: интервью // *Эксперт*. 2014. №9. С. 46–51.

41. Белов С.В., Волков С.А., Магеррамова Л.А. Перспективы применения аддитивных технологий в производстве сложных деталей газотурбинных двигателей из металлических материалов // *Сб. докл. конф. «Аддитивные технологии в российской промышленности»*. М.: ВИАМ, 2015. С. 21–28.

42.Каблов Е.Н. Основные итоги и направления развития материалов для перспективной авиационной техники // 75 лет. Авиационные материалы. Избранные труды «ВИАМ» 1932–2007: юбил. науч.-технич. сб. М.: ВИАМ, 2007. С. 20–26.

43.Каблов Е.Н., Сидоров В.В., Каблов Д.Е., Ригин В.Е., Горюнов А.В. Современные технологии получения прутковых заготовок из литейных жаропрочных сплавов нового поколения // Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 97–105.

44.Каблов Е.Н., Евгенов А.Г., Рыльников В.С., Афанасьев-Ходыкин А.Н. Исследование мелкодисперсных порошков припоев для диффузионной вакуумной пайки, полученных методом атомизации расплава // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер.: Машиностроение. 2011. №SP2. С. 79–87.

45.Логачева А.И. Комплексная технология изготовления тонкостенных элементов методом порошковой металлургии для производства деталей из конструкционных и функциональных сплавов на основе титана и никеля для изделий ракетно-космической техники: дис. ... докт. техн. наук. Королев, 2017. С. 33–36.

46.Востриков А.В., Гарибов Г.С., Бер Л.Б., Шляпин С.Д. Исследование физико-механических свойств гранул из нового высокопрочного никелевого сплава, изготовленных методом PREP // Технология легких сплавов. 2013. №2. С. 69–75.

47.Banu A. et al. Effect of niobium alloying level on the oxidation behavior of titanium aluminides at 850° C //International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials. – 2016. – Vol. 23. №. 12. – P. 1452-1457.

48.Holmström J., Partanen J. Digital manufacturing driven transformations of service supply chains for complex products //Supply Chain Management: An International Journal. – 2014. – Vol. 19. №. 4. – P. 421 430.

49.Chen D. et al. Direct digital manufacturing: definition, evolution, and sustainability implications //Journal of Cleaner Production. – 2015. – Vol. 107. – P. 615-625.

50.Pinkerton A. J. Lasers in additive manufacturing //Optics & Laser Technology. – 2016. – Vol. 78. – P. 25-32.

51.Химушин, Ф.Ф. Жаропрочные стали и сплавы Ф.Ф. Химушин. – М. : Металлургия, 1969. – 752 с.

52.Fecht H., Furrer D. Processing of Nickel-Base Superalloys for Turbine Engine Disc Applications //Advanced Engineering Materials. – 2000. – Vol. 2. №. 12. – P. 777-787.

53.Каблов Е.Н., Ломберг Б.С., Оспенникова О.Г. Создание современных жаропрочных материалов и технологий их производства для авиационного двигателестроения // Крылья Родины. 2012. № 3–4. С. 34–38.

54.Ломберг Б.С., Овсепян С.В., Бакрадзе М.М., Мазалов И.С. Высокожаропрочные деформируемые никелевые сплавы для перспективных газотурбинных двигателей и газотурбинных установок // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2011. Спец. выпуск. С. 98-103.

55.Каблов Е.Н. Новое поколение жаропрочных сплавов для двигателей // Военный парад. 2010. - № 2 (98). - С. 32-33 : 1 портр., 2 рис. . - ISSN 1029-4678.

56.Furrer D., Fecht H. Ni-based superalloys for turbine discs //Jom. – 1999. – Vol. 51. №. 1. – P. 14-17.139

57.Deevi S. C., Sikka V. K. Nickel and iron aluminides: an overview on properties, processing, and applications //Intermetallics. – 1996. – Vol. 4. №. 5. – P. 357-375.

58.Базылева О.А., Аргинбаева Э.Г., Туренко Е.Ю. Жаропрочные литейные интерметаллидные сплавы // Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 57–60.