

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

---

Институт *физики высоких технологий*

Направление подготовки 22.03.01 «*Материаловедение и технологии материалов*»

Кафедра *наноматериалов и нанотехнологий*

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Модификация поверхности сплава на основе титана электронно-ионно-плазменным методом</b>

УДК 669.295-408-048.35

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б22	Кузичкин Евгений Евгеньевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Иванов Ю.Ф.	д.ф.-м.н., доц.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. МЕН	Грахова Е.А.			06.06.2016

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Назаренко О.Б.	д.т.н.		07.06.2016

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Наноматериалов и нанотехнологий	Хасанов О.Л.	д.т.н., проф.		

*Планируемые результаты обучения по ООП 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов*

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

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

Институт физики высоких технологий

Направление подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Кафедра наноматериалов и нанотехнологий

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ Хасанов О. Л.

(подпись) (дата) (Ф.И.О)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
4Б22	Кузичкин Евгений Евгеньевич

Тема работы:

Разработка комбинированного метода модифицирования поверхности технически чистого алюминия
--

Утверждена приказом директора ИФВТ	Приказ №2598/с от 05.04.2016 г.
------------------------------------	---------------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <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></p>	<p>Объектом исследования в данной работе является поверхность сплава титана (BT1-0, BT-6), подвергнутая обработкой импульсным электронным пучком и азотированию.</p> <p>Целью данной работы — разработка механизмов повышения трибологических и прочностных характеристик технически чистого титана и сплава на его основе BT-6 путем насыщения поверхностного слоя материала азотом в плазме газового разряда низкого давления и обработки импульсным электронным пучком</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <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></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Литературный обзор             <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1 Титан</li> <li>1.2 Сплавы на основе титана                     <ol style="list-style-type: none"> <li>1.2.1 Классификация</li> <li>1.2.2. Технически чистый титан BT1-00 и BT1-0</li> <li>1.2.3 Сплавы типа BT6</li> </ol> </li> <li>1.3 Методы модифицирования поверхности титана и его сплавов                     <ol style="list-style-type: none"> <li>1.3.1 Обработка электронным пучком</li> <li>1.3.2 Обработка ионным пучком</li> <li>1.3.3 Обработка лазерным пучком</li> <li>1.3.4 Плазменная обработка</li> </ol> </li> </ol> </li> <li>2. Материал, методы обработки и методы исследования</li> </ol>

	3. Результаты исследований 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5. Социальная ответственность Заключение Список публикаций Список используемых источников
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Слайд-презентация (21 слайд)
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Социальная ответственность	Назаренко О.Б., профессор кафедры ЭБЖ, НИИ ТПУ
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Грахова Е.А., ассистент кафедры МЕН, НИИ ТПУ
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Разделы на русском языке:	Литературный обзор; материал, методы обработки и методы исследования; результаты исследований; финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; социальная ответственность.
Разделы на английском языке:	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Иванов Ю.Ф.	д.ф.-м.н., доц.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б22	Кузичкин Е.Е.		

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

Институт физики высоких технологий  
 Направление подготовки 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов  
 Уровень образования бакалавриат  
 Кафедра нанотехнологий и наноматериалов  
 Период выполнения осенний/весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма предоставления работы

Бакалаврская работа
---------------------

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

Срок сдачи студентом выполненной работы	
---	--

Дата контроля	Название раздела	Максимальный балл модуля
15.12.2015	Модификация структуры и свойств поверхностного слоя сплавов на основе титана азотированием в плазме газового разряда и облучением интенсивным электронным пучком.	20
16.03.2016	Исследование структуры и свойств (микротвердость, нанотвердость, износостойкость, коэффициент трения) поверхностного слоя, модифицированных электронно-ионно-плазменными методами.	10
16.05.2016	Систематизация и анализ результатов, полученных при исследовании структуры и фазового состава поверхностного слоя сплавов на основе титана, модифицированных электронно-ионно-плазменными методами.	35
16.06.2016	Систематизация и анализ результатов, полученных при исследовании свойств поверхностного слоя сплавов на основе титана, модифицированных электронно-ионно-плазменными методами.	35

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Иванов Ю. Ф.	д.ф.-м.н., доц.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Наноматериалов и нанотехнологий	Хасанов О. Л.	д.т.н., проф.		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 89 с., 28 рис., 22 табл., 38 источников.

Ключевые слова: титан, азотирование, поверхностный слой, прочность, износостойкость, электронный пучок.

Объектом исследования является модифицированная поверхность сплава титана.

Цель работы – разработка механизмов повышения трибологических и прочностных характеристик и сплава титана основе путем насыщения поверхностного слоя материала азотом в плазме газового разряда низкого давления и обработки импульсным электронным пучком.

В процессе исследования проводилось азотирование поверхности образцов титана марки ВТ1-0 и поверхностная обработка импульсным электронным пучком. Выполнен анализ морфологии модифицированного слоя методами атомно-силовой микроскопии, анализ структуры методами оптической и сканирующей микроскопии, фазовый состав и состояние дефектной субструктуры слоя анализировали методами электронной дифракционной микроскопии тонких фольг. Выполнены механические, трибологические испытания поверхности образцов.

В результате исследования получены образцы титана с увеличенными прочностными и трибологическими характеристиками.

Степень внедрения: данный метод был использован в научно-исследовательской работе на модельных образцах.

Область применения: для машин и механизмов, работающих в условиях трения, при высоких скоростях скольжения и агрессивных средах.

Экономическая эффективность/значимость работы на данном этапе исследований не определена.

В будущем планируется продолжить исследования по модификации поверхности сплавов на основе титана с целью выявления оптимальных режимов обработки.

## Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**коррозия:** Самопроизвольное разрушение металлов в результате химического или физико-химического взаимодействия с окружающей средой.

**модифицирование:** Воздействие, при котором изменяются структура и свойства материала.

**азотирование:** Химико-термическая обработка, при которой поверхностные слои насыщаются азотом.

**твёрдость:** Свойство материала сопротивляться пластической деформации, вызванной местным контактным воздействием (обычно сводящегося к внедрению в материал более твёрдого тела - индентора).

**износостойкость:** Свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определённых условиях трения, оцениваемое величиной, обратной скорости изнашивания или интенсивности изнашивания.

**трибологические свойства:** Свойства, проявляемые твёрдыми деформируемыми телами при их контактном относительном перемещении, такие как сопротивление трению и изнашиванию.

**индентор:** Элемент прибора для измерения твёрдости, вдавливаемый в испытываемый материал.

**морфология:** Совокупная характеристика объектов, включающая в себя их размер, форму и пространственную организацию (агрегатную структуру).

**электронный пучок:** Поток электронов, движущихся по близким траекториям в одном направлении, имеющий размеры, значительно большие в направлении движения, чем в поперечной плоскости.

## Оглавление

Введение	10
1. Литературный обзор	13
1.1 Титан	13
1.2 Сплавы на основе титана	14
1.2.1 Классификация	14
1.2.2. Технически чистый титан BT1-00 и BT1-0	15
1.2.3 Сплавы типа BT6	15
1.3 Методы модифицирования поверхности титана и его сплавов	16
1.3.1 Обработка электронным пучком	16
1.3.2 Обработка ионным пучком	18
1.3.3 Обработка лазерным пучком	20
1.3.4 Плазменная обработка	22
2. Объекты и методы исследования	25
2.1 Модификация поверхности титана импульсным электронным пучком	33
2.2 Азотирование поверхности титана	35
3 Результаты исследований	37
3.1 Анализ образцов сплавов на основе титана, обработанных импульсным электронным пучком	37
3.2 Анализ азотированной структуры и свойств образцов титана	46
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	53
4.1 Оценка коммерческого потенциала исследования	53
4.2 Планирование работ по НИР	54
4.3 Составление сметы научного исследования	59
4.3.1 Амортизация	59
4.3.2 Электроэнергия	60
4.3.3 Полная заработная плата исполнителей	61
4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	62
4.3.5 Накладные расходы	63
4.3.6 Формирование бюджета затрат научного исследования	63



4.4. Эффективность работы	64
4.4.1. Оценка научно-технического уровня НТИ	64
5 Социальная ответственность	70
5.1 Производственная безопасность	71
5.2 Экологическая безопасность	76
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	78
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	80
5.4.1. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	80
Заключение	83
Список публикаций	85
Список цитируемых источников	86

## Введение

Титан и его сплавы широко используются в промышленности и медицине благодаря таким своим свойствам как малый удельный вес, высокая коррозионная стойкость и биологическая совместимость. Однако невысокая твердость, а соответственно, и низкая износостойкость этих материалов являются одной из причин, ограничивающих их более широкое применение.

В большинстве случаев для улучшения механических и трибологических свойств материала достаточно повысить твердость не всей детали, а лишь ее поверхности. Основными, на современном этапе развития науки и техники, методами увеличения твердости поверхности титана и его сплавов являются метод осаждения покрытий, лазерная обработка, имплантация и метод диффузионного насыщения поверхностного слоя легирующими элементами[1-3].

В промышленности для азотирования широко используется тлеющий разряд, который имеет недостатки, обусловленные большим рабочим давлением и, вследствие этого, невозможностью проводить очистку поверхности образца плазмой. В связи с этим исследователи обращают внимание на другие типы разрядов, которые способны функционировать при сравнительно малом давлении (1 Па и ниже). Одним из таких разрядов является вакуумно-дуговой. Использование вакуумно-дугового разряда для ионизации газа осложняется наличием ионов металла и микрокапель в плазменном потоке. Известно несколько способов очистки плазменного потока от металла[4]. Одним из них является использование для азотирования альтернативного типа разрядов – несамостоятельного газового разряда. Такой тип разряда предполагает наличие внешнего источника ионизации (первичных электронов). Самым простым в реализации источником первичных электронов является термокатод[5].

Цель работы – разработка механизмов повышения трибологических и прочностных характеристик технически чистого титана и сплава на его основе ВТ-6 путем насыщения поверхностного слоя материала азотом в плазме

газового разряда низкого давления и облучения импульсным электронным пучком.

В ИСЭ СО РАН разработаны импульсная электронно-пучковая установка, применяемая для облучения поверхности твердых тел, и плазмогенератор, используемый для азотирования. Обе эти разработки подразумевают использования уникальной технологии поверхностной обработки металлов и сплавов. Научная новизна работы объясняется тем, что используемые в работе установки для электронно-ионно-плазменной модификации по совокупности параметров являются уникальными.

Результаты исследований могут быть использованы в областях промышленности и техники, где основные эксплуатационные свойства детали определяются состоянием ее поверхности (пары трения, коррозия, циклические нагрузки и т.д.), а также высокие удельными характеристиками (удельный предел прочности и т.д.). В частности это может быть использовано в аэрокосмической и авиационной промышленности, машиностроении и кораблестроении.

Результаты, полученные в работе, были представлены на седьмой международной научно-практической конференции «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине» (ТПУ, 1-3 июня 2016) и на третьем всероссийском конкурсе научных докладов студентов «Функциональные материалы: разработка, исследование, применение» (ТПУ, 26-27 мая 2015).

Результаты работы опубликованы в сборниках трудов конференций:

1. III Всероссийского конкурса научных докладов студентов «Функциональные материалы: разработка, исследование, применение» (Томск, 2015 г.)
2. VIII Международной научно-практической конференции «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине» (Томск, 2016 г.).

## 1 Литературный обзор

### 1.1 Титан

Титан – легкий металл серебристо-белого цвета. Существует две кристаллические модификации:  $\alpha$  и  $\beta$  с гексагональной плотноупакованной решёткой ( $\alpha$ -Ti) и кубической объёмноцентрированной упаковкой ( $\beta$ -Ti) соответственно.

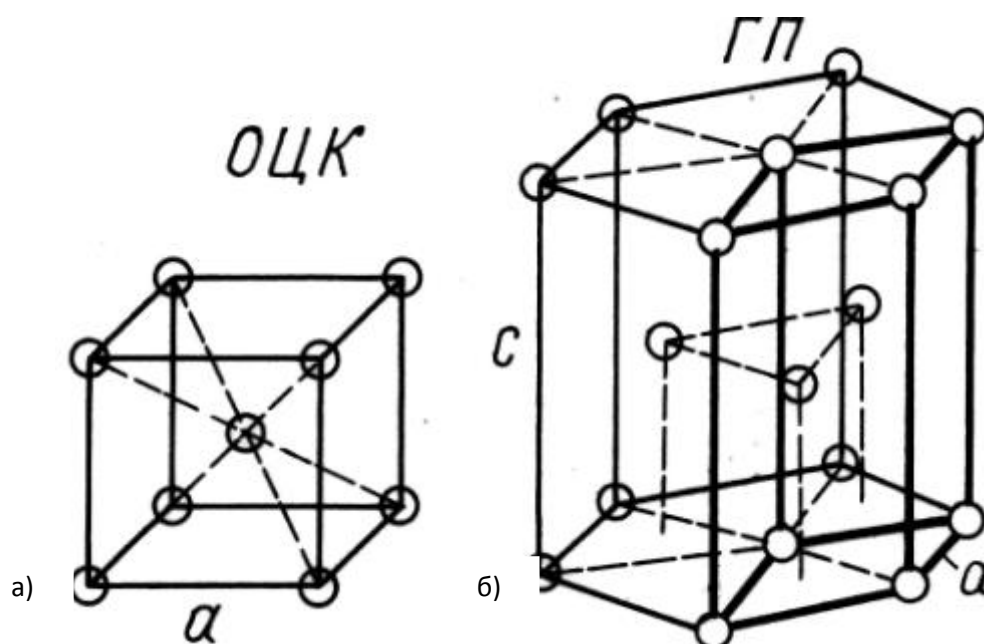


Рисунок 1 – Кристаллическое строение титана: а)  $\beta$  модификация с кубической объёмноцентрированной упаковкой; б)  $\alpha$ -модификация с гексагональной плотноупакованной решёткой.

Температура перехода из одной кристаллической модификации в другую –  $883^{\circ}\text{C}$ , энтальпия фазового превращения равна  $3,8$  кДж/моль. Температура плавления составляет  $1660\pm 20^{\circ}\text{C}$ , температура кипения равна  $3260^{\circ}\text{C}$ , плотность альфа-титана при  $20^{\circ}\text{C}$  равна  $4,505$  г/см<sup>3</sup>, бета-титана при  $900^{\circ}\text{C}$  составляет  $4,32$  г/см<sup>3</sup>, атомная плотность -  $5,71 \cdot 10^{22}$  ат/см<sup>3</sup> и удельное сопротивление  $0,42$  мкОм·м при  $20^{\circ}\text{C}$ , атомный радиус-  $147$ . Титан достаточно пластичен и сваривается в инертной атмосфере. Обладает высокой вязкостью, при механической обработке склонен к налипанию на режущий инструмент, и поэтому требуется нанесение специальных покрытий на инструмент,

структурно-фазовой модификации поверхностного слоя детали, использования различных смазок [11].

При комнатной температуре титан коррозионностоек к различным средам, за исключением щелочной, благодаря появляющейся оксидной плёнке.

Титановая пыль обладает способностью взрываться с температурой вспышки около 400 °С, а титановая стружка может воспламеняться при точении детали.

Титан взаимодействует с Br<sub>2</sub> и I<sub>2</sub>. В присутствии комплексообразователей реагирует со слабыми кислотами, например, с плавиковой кислотой реагирует благодаря образованию [TiF<sub>6</sub>]<sup>2-</sup>. При нагревании до 1200 °С титан на воздухе загорается ярким белым пламенем, при этом образуются оксидные фазы типа TiO<sub>x</sub>. Из растворов солей титана осаждаются амфотерные TiO(OH)<sub>2</sub>, осторожным прокаливанием которого получают оксид TiO<sub>2</sub> и ·xH<sub>2</sub>O.

Оксид титана взаимодействует с серной кислотой при долговременном кипячении, а при нагревании взаимодействует с галогенами. Оксид TiO<sub>2</sub> образует титанаты при сплавлении с Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> или K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>:



При нормальных условиях тетрахлорид титана (TiCl<sub>4</sub>) - бесцветная жидкость, дымящаяся на воздухе, из-за его гидролиза, в воздухе парами воды в воздухе и образованием мелких капелек HCl, и взвеси гидроксида титана.

Трихлорид (TiCl<sub>3</sub>) и дихлорид (TiCl<sub>2</sub>) титана и — твёрдые вещества, обладающие сильными восстановительными свойствами, получают восстановлением TiCl<sub>4</sub> водородом, алюминием, кремнием и другими сильными восстановителями.

При температуре выше 400 °С, взаимодействуя с азотом, титан образует нитриды. Также образует карбиды, при взаимодействии с углеродом.

Во время нагревания титан поглощает водород с образованием соединения переменного состава типа TiH<sub>x</sub>. При нагревании эти гидриды

разлагаются с выделением  $H_2$ . Титан широко используется в промышленности в виде сплавов со многими металлами [12].

## **1.2 Сплавы на основе титана**

Существенными преимуществами титановых сплавов перед другими конструкционными материалами являются высокая коррозионная стойкость, удельная прочность и жаропрочность. К тому же, титан и его сплавы хорошо свариваются и парамагнитны. Титановые сплавы имеют большие перспективы для применения в различных областях машиностроения. Это относится, в первую очередь, к авиастроению, ракетостроению, судостроению, химическому, пищевому и транспортному машиностроению. Еще он представляет огромный интерес как конструкционный материал для космической промышленности [13].

### **1.2.1 Классификация**

Титановые сплавы принято разделять на три группы:

- Конструкционные и высокопрочные титановые сплавы являются твердыми растворами, что дает им оптимальное соотношение прочности и пластичности.
- Жаропрочные титановые сплавы являются твердыми растворами с большим или меньшим количеством химического соединения, что обеспечивает им повышенную жаропрочность при небольшой потере пластичности.
- Титановые сплавы на основе химического соединения рассматриваются как жаропрочный материал с низкой плотностью, сравнимый с жаропрочными никелевыми сплавами в некотором интервале температур.

В настоящее время титан является одним из важнейших и перспективных конструкционных металлических материалов, хотя 200 лет назад он признавался непригодными в конструкционных целях [14].

### 1.2.2. Технически чистый титан ВТ1-00 и ВТ1-0

Таблица 1 – элементный состав титана марки ВТ1-00

Fe	C	Si	N	Ti	O	H
до 0.15	до 0.05	до 0.08	до 0.04	99.58 - 99.9	до 0.1	до 0.008

Таблица 2 – элементный состав титана марки ВТ1-0

Fe	C	Si	N	Ti	O	H
до 0.25	до 0.07	до 0.1	до 0.04	99.24 - 99.7	до 0.2	до 0.01

Металлургия поставляет технический титан двух марок: ВТ1-00 и ВТ1-0, разница которых в содержании примесей (кислорода, азота, углерода, железа, кремния и других). Это материалы отличаются небольшой прочностью. Главное преимущество технически чистого титана его высокая пластичность, что позволяет изготавливать из него фольгу. Прочность титана может быть улучшена с помощью нагартовки, но снижает его пластичность. При этом пластичность снижается быстрее, чем повышается прочность. Таким образом, нагартовка не является лучшим методом улучшения свойств титана. С повышением содержания водорода титан становится все более хрупким, в связи с чем содержание водорода не должно превышать 0,008 % и 0,01 % титане ВТ1 - 00 и ВТ1 – 0 соответственно.

### 1.2.3 Сплавы типа ВТ6

Сплавы типа ВТ6 широко используются за рубежом для изготовления широкого диапазона разновидностей конструктивных элементов (габаритных конструкций летательных аппаратов, изготовления баллонов и многого другого). Причиной обширного использования этого сплава - его легирование. Алюминий в сплавах типа ВТ-6 повышает прочность и жаропрочность, а ванадий не только прочность, но и пластичность.

Таблица 3 – Элементный состав титана марки ВТ-6

Fe	C	Si	V	N	Ti	Al	Zr	O	H
до 0.6	до 0.1	до 0.1	3.5 - 5.3	до 0.05	86.45 - 90.9	5.3 - 6.8	до 0.3	до 0.2	до 0.015

Сплавы легко деформируемы в горячем состоянии. Из сплавов типа ВТ6 получают прутки, трубы, профили, поковки, штамповки, плиты, листы. Выгодное отличие этих сплавов в том, что они свариваются всеми обычными видами сварки, кроме того, при сварке ЭЛС прочность сварного шва практически равна прочности основного материала. Сплавы типа ВТ6 применяют в отожженном и термически упрочненном состояниях, так как после отжига повышается вязкость разрушения и ударная вязкость при сохранении высоких пластических свойств из-за формирования смешанной структуры с большой долей пластинчатой составляющей, причем отжиг проводят с последующим охлаждением на воздухе или вместе с печью, что предотвращает коробление крупных деталей и частичную закалку мелких. Двойной отжиг также позволяет повысить вязкость разрушения и сопротивление коррозионному разрушению[16].

### **1.3 Методы модифицирования поверхности титана и его сплавов**

Для повышения служебных характеристик титана и его сплавов, наряду с легированием (рассмотрено выше), в настоящее время широко используют различные методы поверхностной обработки:

Обработка электронным пучком;

Обработка ионным пучком;

Обработка лазерным пучком;

Плазменная обработка [17].

#### **1.3.1 Обработка электронным пучком**

Электровзрывное легирование является одним из перспективных методов поверхностной обработки. Такое легирование приводит к одновременному повышению микротвердости, жаро- и износостойкости в условиях абразивного износа и сухого трения скольжения, устойчивости к фреттинг-коррозии.



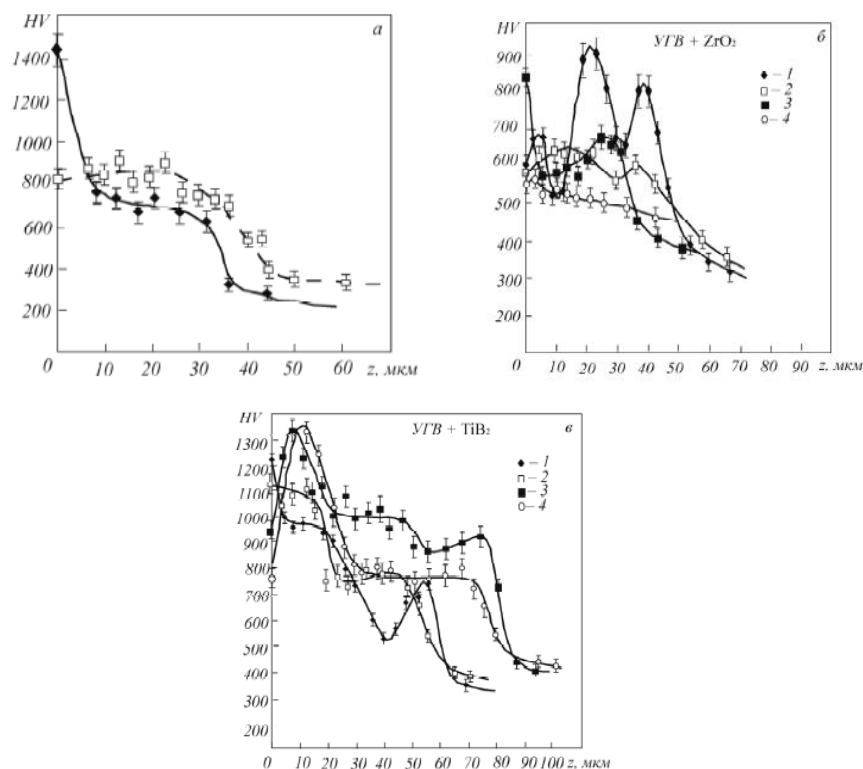


Рисунок 2 – Распределение микротвердости по глубине поверхностного слоя ЭВЛ (а) с использованием УГВ и порошковой навески диборида титана  $TiB_2$  (-), УГВ и диоксида циркония  $ZrO_2$ (---), а также после ЭВЛ с использованием УГВ и диоксида циркония (б) и УГВ и диборида титана (в) и последующей ЭПО в различных режимах: 1 –  $E_s = 45 \text{ Дж/см}^2$ ;  $\tau = 100 \text{ мкс}$ ;  $N = 10 \text{ имп}$ ;  $f = 0,3 \text{ с}^{-1}$ , 2 –  $E_s = 50 \text{ Дж/см}^2$ ;  $\tau = 100 \text{ мкс}$ ;  $N = 10 \text{ имп}$ ;  $f = 0,3 \text{ с}^{-1}$ , 3 –  $E_s = 60 \text{ Дж/см}^2$ ;  $\tau = 100 \text{ мкс}$ ;  $N = 10 \text{ имп}$ ;  $f = 0,3 \text{ с}^{-1}$ , 4 –  $E_s = 45 \text{ Дж/см}^2$ ;  $\tau = 200 \text{ мкс}$ ;  $N = 10 \text{ имп}$ ;  $f = 0,3 \text{ с}^{-1}$

Еще большего повышения свойств изделия можно достичь комбинированной обработкой, сочетающей электровзрывное легирование с последующей электронно-пучковой обработкой поверхности. Электронно-пучковая технология выгодно отличается от лазерной большими возможностями контроля и регулирования количества подводимой энергии, локальностью распределения энергии и высоким коэффициентом полезного действия.

Толщина легированного слоя практически не зависит от режима электронно-пучковой обработки и изменяется в пределах 25 – 30 мкм. В  $\alpha$ -Ti присутствуют вторые фазы которыми является карбид титана независимо от вида легирования. После ЭВЛ максимальная микротвердость достигается на

поверхностном и приповерхностном слоях обработки. Последующая ЭПО приводит к существенному увеличению толщины упрочненного слоя. Так, при науглероживании с использованием навески порошка  $TiB_2$  толщина упрочненного слоя (микротвердость которого превышает микротвердость основы примерно в три раза) достигает 85 – 90 мкм.

Методами просвечивающей электронной микроскопии фольг, расположенных на расстоянии 2 – 3 мкм от поверхности обработки, показано, что в объеме субзерен сформирована пластинчатая субструктура  $\alpha-Ti$ . По границам субзерен и в стыках границ располагаются частицы второй фазы ( $TiC$ ) в виде протяженных прослоек или глобул. Таким образом, многократное увеличение микротвердости поверхностного слоя сплава титана, подвергнутого ЭВЛ и последующей ЭПО, обусловлено формированием многофазной субмикро- и наноразмерной структуры пластинчатого типа на основе  $\alpha-Ti$ , упрочненной частицами карбида титана, микротвердость которого в три – пять раз (в зависимости от типа порошка навески) превышает микротвердость основы. Последующая электронно-пучковая обработка снижает шероховатость поверхности модифицированного слоя и приводит к значительному увеличению толщины упрочненного слоя. Значительное увеличение микротвердости поверхностного слоя сплава титана, подвергнутого ЭВЛ и последующей электронно-пучковой обработке, обусловлено формированием многофазной субмикро- и наноразмерной структуры пластинчатого типа на основе  $\alpha-Ti$ , упрочненной наноразмерными выделениями второй фазы  $TiC$  [18].

### **1.3.2 Обработка ионным пучком**

Дополнительное повышение характеристик прочности, износостойкости поверхности и увеличение срока службы изделия достигается путем использования ионного модифицирования (ИМ) поверхности изделия. В связи с этим, в данной работе исследовались механические характеристики образцов титанового сплава ВТ6 в различных размерам зерен и влияние на эти характеристики ионного модифицирования поверхности образцов.

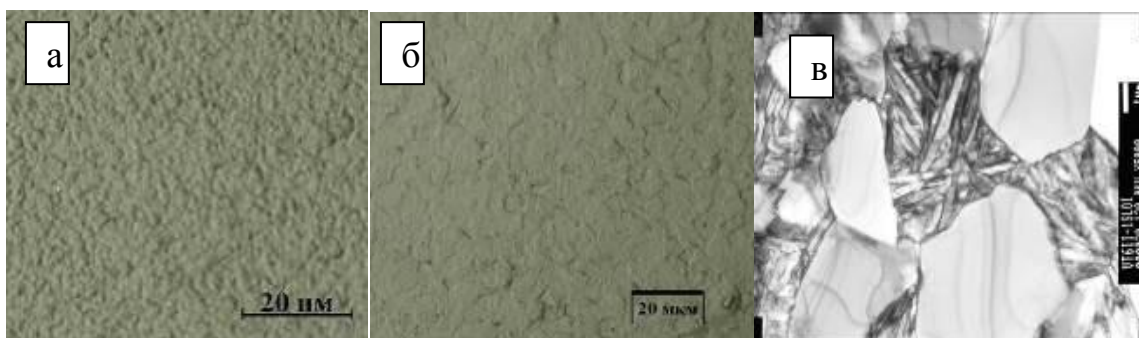


Рисунок 3 – Микроструктура имплантированной поверхности сплава титана (а, б – СМК состояние; в – МК состояние)

На рис. 3 представлена поверхность микрошлифов сплава титана после ионного модифицирования.

Из рис. 3 видно, что микроструктура однородная, представлена равноосными зернами размером 0,6 мкм в СМК состоянии и 8 мкм в МК состоянии. Тонкая микроструктуры сплава титана в СМК состоянии представлена на рисунке 3,б. Здесь наблюдаются две характерные области: область с пластинчатой структурой и область свободная от пластинчатых выделений. Фазовый состав имплантируемой поверхности, определенный с помощью рентгеноструктурного анализа показал, что в поверхностном слое имеется смесь фаз  $TiN$  с кубической решеткой и  $TiNx$  с тетрагональной решеткой. Толщина этого слоя определялась по поперечному сечению образца и составляет  $\approx 10$  мкм. Согласно, при ионном модифицировании азотом сплава ВТ6 вначале происходит образование твердого раствора внедрения азота в  $\alpha$ - и  $\beta$ -фазах титана, затем протекает инициированное азотом  $\beta \rightarrow \alpha$ - превращение с образованием на поверхности фаз нитридов титана.

На рис. 4 представлен график зависимости микротвердости поверхности сплава ВТ6 в при различных нагрузках на индентор.

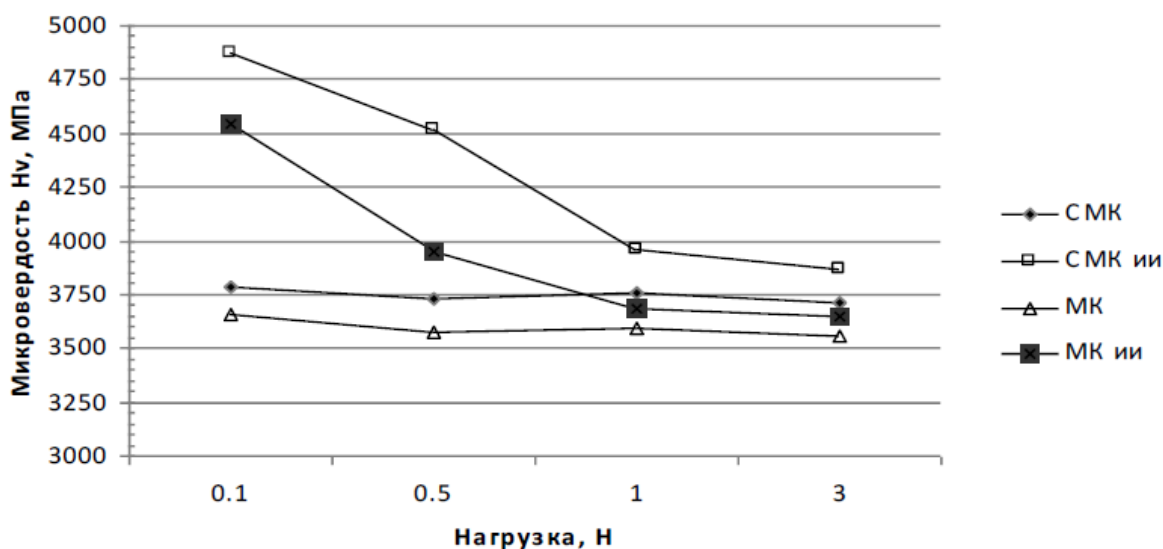


Рисунок 4 – Микротвердость поверхности сплава титана при различных нагрузках на индентор.

Из графика видно, что в исходных СМК и МК образцах величина нагрузки на индентор не влияет на значения микротвердости. В образцах после имплантации с увеличением нагрузки на индентор микротвердость уменьшается, что говорит о повышенных значениях микротвердости именно на поверхности образцов. Отметим, что ионное модифицирование значительно увеличивает прочность поверхности образцов как в СМК, так и в МК состоянии: в СМК состоянии микротвердость поверхности увеличилась на 1100 МПа, а в МК состоянии – на 900 МПа. Это связано с образованием на поверхности твердого раствора внедрения азота в  $\alpha$ - и  $\beta$ - фазах титана и нитридов титана. В СМК сплаве наблюдается большее упрочнение, вероятно, из-за более глубокого проникновения азота в поверхностные слои.

Таким образом, ионное модифицирование оказывает благоприятное воздействие на соотношение прочностных и пластических свойств СМК сплава, приводя к увеличению прочности и сохранению на высоком уровне пластичности по сравнению с МК состоянием [19].

### 1.3.3 Обработка лазерным пучком

Способ ионной имплантации поверхностей деталей из титановых сплавов включает обработку поверхности деталей лазерным лучом, который

фокусируют в пятно в форму круга с удельной мощностью излучения 200-450 Вт/мм<sup>2</sup>, после чего пятно перемещают по обрабатываемой поверхности со скоростью 45-70 мм/с, и проведение имплантации ионов азота с дозой  $(2-6) \cdot 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup>. Повышаются эксплуатационные свойства изделий из титановых сплавов за счет повышения износостойкости при высоких показателях усталостной прочности.

Недостатком отмеченного способа является невозможность обеспечения износостойкости на требуемом уровне из-за малой глубины проникновения ионов и, как следствие, недостаточной степени упрочнения модифицированной поверхности.

Проведение лазерной поверхностной закалки перед ионной имплантацией способствует созданию на поверхности детали слоя с повышенной микротвердостью и мелкозернистой структурой из-за высоких скоростей охлаждения. На формирование слоя с повышенной микротвердостью большое влияние оказывают параметры фокусирования и перемещения пятна нагрева лазерного луча.

Влияние на упрочнение титанового сплава поверхностной лазерной обработки при последующей обработке низкоэнергетичными ионами азота свидетельствует о важной роли наряду с образованием дислокационной структуры в приповерхностном слое, поверхностных эффектов, связанных с сорбционными процессами, которые активирует аргоновая плазма, возникающая в зоне контакта лазерного излучения с поверхностью детали.

На степень упрочнения поверхностного слоя титановых сплавов при лазерной обработке большое влияние оказывает состав газовой среды, в которой она проводится.

Испытания на износостойкость показывают, что весовой износ деталей, прошедших до имплантации поверхностную лазерную обработку, при пути трения 200 м примерно в 1,2-1,8 раза меньше, чем у контрольных образцов.

Способ ионной имплантации поверхностей деталей из титановых сплавов, включающий имплантирование ионов азота в поверхность сплава,

отличающийся тем, что перед имплантацией поверхность детали обрабатывают лазерным лучом, который фокусируют в пятно формой круга, с удельной мощностью излучения 200-450 Вт/мм<sup>2</sup>, после чего пятно перемещают по обрабатываемой поверхности со скоростью 45-70 мм/с, а ионы азота имплантируют после лазерной обработки с дозой  $(2-6) \cdot 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup> [20].

### **1.3.4 Плазменная обработка**

Существует способ низкотемпературного азотирования в плазме несамостоятельного дугового разряда низкого давления титановых сплавов. Способ включает азотирование с использованием в качестве плазмообразующей смеси азот-аргон. Азотирование выполняют при температуре 450°С с использованием ионной и электронной компоненты плазмы. Технический результат - повышение эксплуатационных характеристик. Способ относится к металлургической промышленности, а именно к химико-термической обработке поверхности изделий из титановых сплавов и может быть использован для повышения эксплуатационных характеристик медицинского инструмента.

Известен способ ионного азотирования в плазме дугового разряда титановых сплавов при температуре 500-600°С с в смеси газов азот-аргон. С помощью данного метода можно эффективно проводить процесс азотирования титановых сплавов. Указанный способ азотирования не позволяет проводить процесс для титановых сплавов в наноструктурном (НС) и/или субмикроструктурном (СМК) состояниях, так как при указанных температурах процесса в титановых сплавах в НС и СМК состоянии начнется процесс рекристаллизации. Еще одним недостатком ионного азотирования в плазме дугового разряда является тот факт, что при проведении процесса в данном типе разряда возможно попадание продуктов эрозии катода на поверхность обрабатываемых изделий.

Наиболее близким по своим признакам, принятым за прототип, является способ низкотемпературного азотирования титана и его сплавов в плазме несамостоятельного дугового разряда низкого давления. Процесс азотирования

титановых сплавов ВТ1-0 в состоянии поставки, проводился в следующем режиме: вакуумная камера откачивалась до давления  $p=2 \cdot 10^{-2}$  Па, затем через катодную полость подавался рабочий газ (Ar, N<sub>2</sub>). После этого подавалось напряжение ~70 В на разрядный промежуток. В результате чего происходило зажигание диффузионной дуги низкого давления с накалившимся катодом. В качестве плазмообразующей смеси использовались смеси газов аргон-азот в процентном соотношении (5:95, 12,5:87,5, 25:75). Азотирование выполняли при температуре ~420°C в течение 1 часа. Но этот способ не может быть применен для азотирования титановых сплавов в различных структурных состояниях в силу того, что используемая температура 420°C и состав газовой смеси при проведении процесса азотирования могут существенно снизить эффективность обработки. Это приведет к формированию тонких модифицированных слоев, которые не обеспечат достаточный уровень технологических характеристик, таких как твердость, износостойкость и коррозионная стойкость. Указанные режимы азотирования титановых сплавов проводятся в течение 1 часа, увеличение длительности процесса может привести к началу рекристаллизации титана в СМК и НС состояниях.

Используется способ низкотемпературного азотирования в плазме несамостоятельного дугового разряда низкого давления титановых сплавов в различных структурных состояниях, включающий азотирование титановых сплавов в крупнозернистом, субмикроструктурном и наноструктурном состояниях, используя в качестве плазмообразующей смеси азот-аргон, причем азотирование выполняется при температуре 450°C и используется ионная и электронная компонента плазмы. Время азотирования и количество аргона в плазмообразующей смеси зависит от требуемой толщины и структурно-фазового состава модифицированного слоя.

Предлагаемый способ низкотемпературного азотирования в плазме несамостоятельного дугового разряда низкого давления титановых сплавов позволяет улучшить качество и свойства поверхности изделий из них, при этом сохранить структуру в объеме материала, предварительно сформированную с

помощью методов интенсивной пластической деформации. Также стоит отметить, что предлагаемый способ позволяет варьировать время азотирования в зависимости от требуемой толщины модифицированных слоев. Такой результат был получен за счет проведения процесса при температуре 450°C в газовой среде азот-аргон с процентным содержанием аргона от 5 до 95% и использовании элионного режима.

Проведение процесса азотирования по прототипу при температуре 420°C в плазмообразующей среде газовой смеси азот-аргон с содержанием аргона от 5 до 25% приведет к снижению скорости диффузии азота в материал. Температура 450°C является наиболее приемлемой, так как, с одной стороны, не происходит рекристаллизация, а с другой стороны, скорость диффузии азота будет выше чем при 420°C. Соответственно характеристики модифицированных слоев будут лучше, при этом предварительно сформированная структура в объеме материала НС или СМК состояния сохранятся.

Проведя литературный обзор можно сделать вывод, что перечень возможностей применения титана и его сплавов вызывает уважение. Это военная промышленность, остеопротезы в медицине, ювелирные и спортивные изделия, платы мобильных телефонов и многое другое. Постоянно возносят титан конструкторы ракетно-, авиа-, кораблестроения. Даже химическая промышленность не оставила металл без внимания. Титан отлично подходит для литья, его очертания при отливке точны и имеют гладкую поверхность.

Одной из главных причин, сдерживающих титановый прорыв на широкие рынки, является его высокая стоимость. Кроме того, цена на металл сильно зависит от цикличности аэрокосмической промышленности коммерческого назначения. Развитие очень многих проектов может резко ускориться, если удастся найти пути снижения затрат на процессы получения и обработки титана, переработки ломов и технологий выплавки. Таким образом, общая стратегия в титановой промышленности требует разработки наиболее подходящих сплавов, технологии производства для каждого нового рынка и



области применения титана. Другим сдерживающим фактором широкого использования титана и его сплавов в промышленности – низкие трибологические свойства, не позволяющие данному материалу успешно работать в парах трения [21].

## 2. Объекты и методы исследования

Литературный анализ показывает, одной из причин, ограничивающих более широкое применение технически чистого титана и сплавов на его основе - невысокая твердость, а соответственно, и низкая износостойкость этих материалов являются. В большинстве случаев для улучшения механических и трибологических свойств материала достаточно повысить твердость не всей детали, а лишь ее поверхности.

Задача дипломной работы – разработка механизмов повышения трибологических и прочностных характеристик технически чистого титана и сплава на его основе ВТ-6 путем насыщения поверхностного слоя материала азотом в плазме газового разряда низкого давления.

Для достижения поставленной в работе цели были сформулированы и успешно решены следующие задачи:

- 1) Подготовка образцов технически чистого титана ВТ1-0 и сплава ВТ-6 (шлифовка, полировка, аттестация прочностных и трибологических свойств, анализ зеренной структуры);
- 2) Насыщение поверхности технически чистого титана ВТ1-0 и сплава ВТ-6 азотом в плазме газового разряда при вариации температуры насыщения в интервале 600-700 °С и времени насыщения (1-5 час.);
- 3) Исследование зеренной структуры модифицированной поверхности материала;
- 4) Исследования фазового состава поверхностного слоя модифицированного материала;
- 5) Изучение прочностных свойств путем определения микротвердости модифицированной поверхности материала;
- 6) Исследование трибологических свойств (определение износостойкости и коэффициента трения) модифицированного материала;
- 7) Выбор оптимального режима насыщения поверхности титана и его сплава азотом.

Материалом исследования являлись образцы технически чистого титана марки ВТ1-0 и сплава на его основе марки ВТ-6. Образцы имели форму пластинок толщиной 4,5 мм и размерами 15×15 мм



Рисунок 6 – образцы титана марки ВТ-6 в рабочей камере установки «СОЛО»

Перед модифицированием поверхность образцов шлифовали и полировали на шлифовально - полировальном станке «Полилаб» (рис. 8).



Рисунок 7 – Шлифовально - полировальный станок «Полилаб»

Ручной однодисковый шлифовально — полировальный станок Полилаб П12М — это практичный и экономичный прибор, предназначенный для проведения металлографической пробоподготовки. Скорость вращения приводного круга настраивается в пределах 50 — 1000 об/мин, благодаря чему возможно решение в т.ч. специфических задач. Станок отличается

современным дизайном, имеет корпус из армированного пластика и детали из нержавеющей стали. В комплект поставки входит алюминиевый приводной круг диаметром 250 мм, кольцо для крепления бумаг и сукон, шланги для подключения к системе водоснабжения и слива, кожух защиты от брызг и защитная крышка. По желанию заказчика станок может быть снабжен автоматическим держателем образцов. Станок идеально подходит для использования в заводских лабораториях, научно-исследовательских и образовательных институтах.

Анализ структуры проводился с помощью металлографического и сканирующего микроскопов

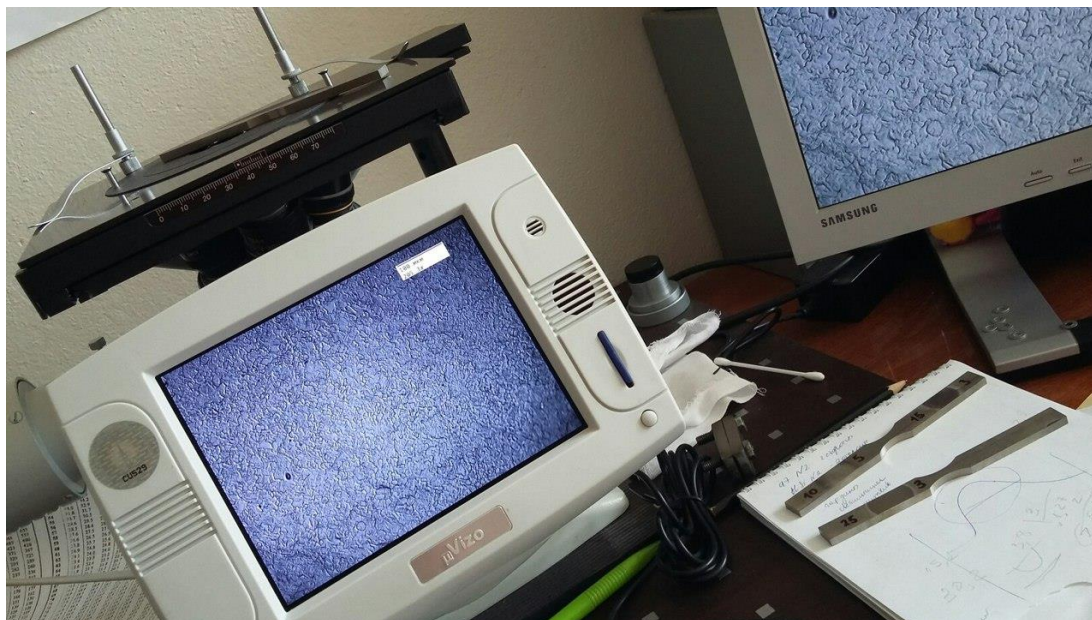


Рисунок 8 – Микроскоп «Микровизор металлографический  $\mu$ Vizo - MET-221P»

Применяется в металлографических, материаловедческих лабораториях заводов, НИИ, предприятий металлургической, машиностроительной промышленности, а также в микроэлектронике, криминалистике, в отделениях служб МЧС, противопожарной обороны, в образовательных учреждениях в научных и учебных целях с возможностью создания специализированных учебных классов с локальной сетью микровизоров и компьютера преподавателя и др.

Модель 221 комплектуется модулем дифференциально-интерференционного контраста.

#### Достоинства и возможности:

- возможность одновременного наблюдения несколькими исследователями; возможность изменения размеров и цвета шрифта и фона меню;
- визуальное наблюдение увеличенного прямого цветного оцифрованного изображения объектов на мониторе видеонасадки;
- настройка параметров качества изображения объекта: яркости, контрастности, резкости, объемности, цветопередачи; режим черно-белого изображения; дискретное изменение цифрового увеличения в 2 раза в дополнение к изменению оптического увеличения при смене объективов;
- фиксирование кадра – в режиме «стоп кадр»;
- автоматическая настройка баланса белого;
- автоматическая установка оптимальной яркости изображения на экране;
- работа с «указкой», определение площадей, линейных и угловых размеров, подсчет зерен;
- наложение на изображение объекта изображения перекрестия, шкал; окружностей, масштабного отрезка;
- анализ микроструктуры металлов и сплавов методом сравнения с эталонными шкалами;
- создание пользователем собственных альбомов с эталонными или произвольными изображениями.



Рисунок 9 – Сканирующий электронный микроскоп с микроанализатором JSM 7500F (JEOL, Япония EDS)

Таблица 4 – Основные технические характеристики СЭМ с микроанализатором JSM 7500F

Характеристика	Значение
Пространственное разрешение	1,0 нм при 15 кВ; 1,4 нм при 1 кВ; 0,6 нм при 30 кВ (достижимо)
Электронная пушка	с холодным катодом на полевой эмиссии
Ускоряющее напряжение	от 0,1 кВ до 30 кВ
Диапазон токов пучка	от $10^{-12}$ до $2 \cdot 10^{-9}$ А

Диапазон увеличений	от x25 до x1 000 000 (в пересчете на фотопластину 9 см*12 см)
Столик образцов	<p>большой, эвцентрического типа</p> <p>Диапазон перемещений:</p> <p>Тип 1: X:70мм, Y:50мм, Z: 37,5мм. Наклон от -5° до +70°. Вращение 360°.</p> <p>Тип 2: X:110мм, Y:80мм, Z: 23,5мм. Наклон от -5° до +70°. Вращение 360°.</p> <p>Тип 3: X:140мм, Y:80мм, Z: 23,5мм. Наклон от -5° до +70°. Вращение 360°.</p>
Максимальный размер образца	диаметром до 200 мм, высотой до 10 мм

Микротвердость измеряли с помощью микротвердомера ПМТ-3



Рисунок 10 – Микротвердомер ПМТ-3

Трибологические характеристики изучались на трибометре PC-Operated High Temperature Tribometer THT-S-AX0000 (CSEM, Швейцария)



Рисунок 1 1– трибометр PC-Operated High Temperature Tribometer THT-S-AX0000 (CSEM, Швейцария)

Таблица 5 – Основные технические характеристики трибометра

Максимальная температура образца,С	до 800
Нагрузка на индентор,Н	1-60
Разрешение по нагрузке, мН	10
Сила трения, Н	до 10
Частота вращения, об/мин	1-1500
Диаметр диска, мм	r=55, h=10
Программное обеспечение	Microsoft Windows

Азотирование образцов проводилось на модифицированной установке типа  
ННВ-6.6-И1



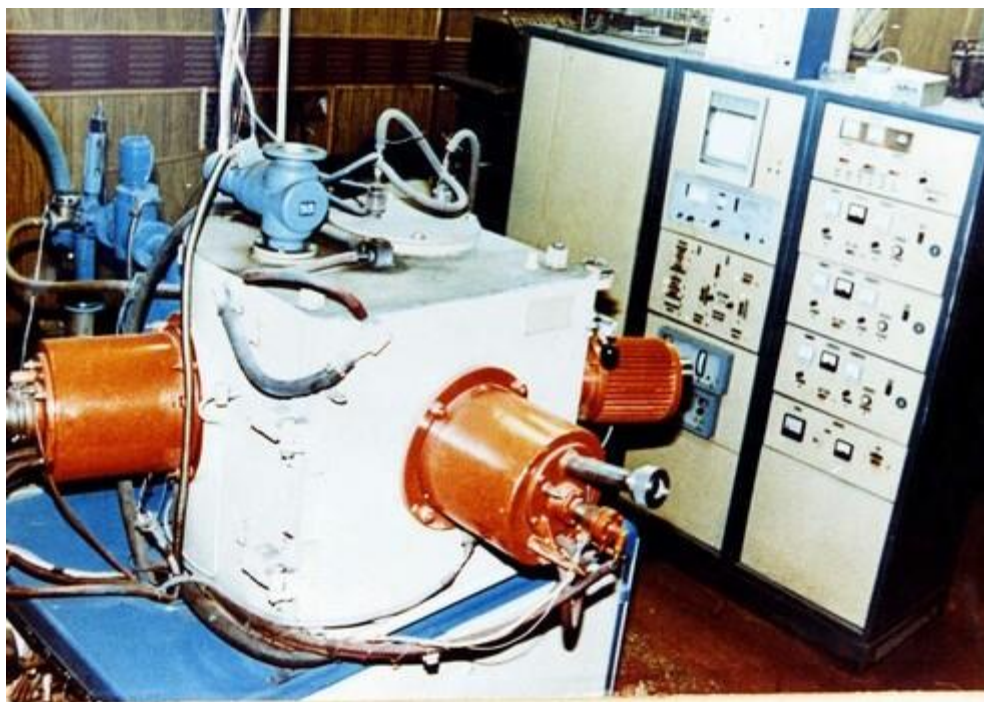


Рисунок 12 – Установка типа ННВ-6.6-И1

Установка ННВ-6.6-И1 оснащена турбомолекулярным насосом ТМН-500, с производительностью 500 л/с и плазмогенератором ПИНК. Вакуумная камера установки имеет размеры  $(600 \times 600 \times 600)$  мм<sup>3</sup>. В качестве плазмообразующего газа используется азот.

### **2.1 Модификация поверхности титана импульсным электронным пучком**

В ИСЭ СО РАН (г. Томск) создана импульсная электронно-пучковая установка, с электронным источником на основе импульсного дугового разряда низкого давления с сеточной стабилизацией границы катодной плазмы и открытой границей анодной плазмы, позволяющая генерировать электронный пучок с током до 300 А, энергией электронов до 25 кэВ, длительностью импульса (20-200) мкс, плотностью энергии в импульсе до 80 Дж/см<sup>2</sup>, частотой следования импульсов до 15 с<sup>-1</sup> [10]. Все параметры данной установки, получившей название «СОЛО», можно регулировать плавно и независимо друг от друга. Использование ускоряющего напряжения до 25 кВ не требует наличия дополнительной радиационной защиты.

В состав установки входят: импульсный электронный источник на основе плазменного катода с сеточной стабилизацией плазменной границы, вакуумная камера прямоугольной формы со смотровым окном и двухкоординатным столом-манипулятором, блоки питания электронного источника, система управления установкой на основе персонального компьютера и работающих под его управлением блоков на основе микроконтроллеров, система газового питания, система диагностики параметров электронного источника и электронного пучка.



Рисунок 13 – Общий вид установки «СОЛО» для импульсной модификации поверхности металлов и сплавов, металлокерамических и керамических материалов электронным пучком

Основные технические характеристики установки «СОЛО»:

1. Размеры установки –  $1350 \times 2150 \times 2000$  мм;
2. Размеры рабочей вакуумной камеры –  $600 \times 500 \times 400$  мм;
3. Амплитуда тока электронного пучка – (20-300) А;
4. Энергия электронов – (5-25) кэВ;
5. Длительность импульса тока электронного пучка – (20-200) мкс;

6. Частота следования импульсов –  $(0,3-15) \text{ с}^{-1}$ ;
7. Рабочее давление –  $(0,01 - 0,05) \text{ Па}$ ;
8. Рабочий газ – Ar, N<sub>2</sub>;
9. Диаметр отпечатка (зона поверхностного оплавления) –  $(2-5) \text{ см}$ ;
10. Размер области сканирования манипулятором –  $200 \times 200 \text{ мм}$ .

Общий вид установки «СОЛО» приведен на рис.13

## 2.2 Азотирование поверхности титана

Материалом исследования являлись образцы технически чистого титана марки ВТ1-0. Образцы имели форму пластинок толщиной 4,5 мм и размерами 15×15 мм. Насыщение поверхности образцов азотом осуществляли на модернизированной технологической установке типа ННВ-6.6-И1, оснащенной плазмогенератором «ПИНК» (разработка ИСЭ СО РАН). Использование плазмогенератора «ПИНК» позволяет проводить различные технологические циклы, включающие не только процесс азотирования, но и ионную очистку и активацию модифицируемой поверхности материала.

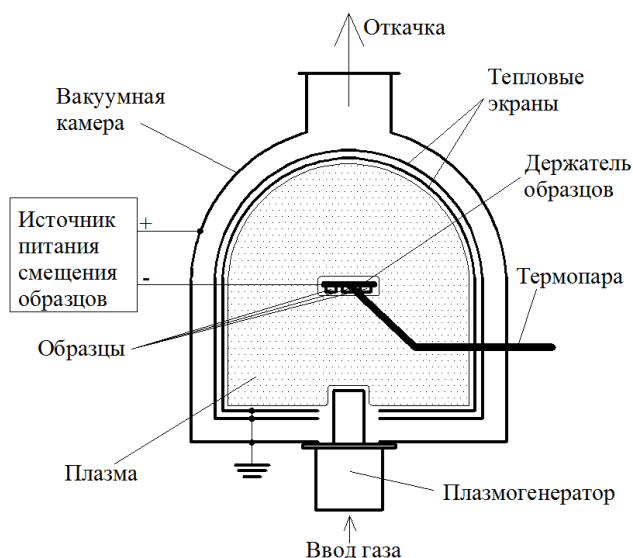


Рисунок 14 – Схема экспериментов по азотированию образцов

Перед проведением азотирования образцы подвергались ионной очистке и нагреву до заданной температуры ионами аргона в течение 15 мин при давлении 0,5 Па. Было проведено три серии экспериментов с разной температурой азотирования: 500°C, 600°C и 650°C. Температура держателя в

процессе азотирования удерживалась с точностью  $\pm 10^\circ\text{C}$ . В каждой серии было по три набора образцов с разными временами экспозиции: 1 ч., 3ч. и 5ч. Для всех экспериментов величина тока разряда составляла (120 – 130) А, давление рабочей смеси составляло 0,9 Па при соотношении парциальных давлений газов  $\text{N}_2 : \text{He}$  - 8:1 соответственно, а напряжение смещения выбиралось таким, чтобы обеспечить поддержание температуры образцов на заданном уровне и составило для трех серий экспериментов 360 В, 700 В и 850 В соответственно. В процессе очистки и нагрева образцов ионами аргона напряжение смещения на них выставлялось равным соответствующему напряжению проведения азотирования. Во избежание образования микродуг на поверхности образцов, начальный этап их нагрева осуществлялся в импульсном режиме с частотой 50 кГц и плавным наращиванием коэффициента заполнения импульса с 10 % до 90 %. После достижения температуры образцов равной половине от требуемой для азотирования, источник смещения переключался в постоянный режим. Азотирование проводилось при постоянном напряжении смещения. Плотность ионного тока при азотировании задавалась током разряда и составляла для всех случаев  $\approx 6 \text{ mA/cm}^2$ . Перед извлечением из вакуумной камеры образцы охлаждались до комнатной температуры.

### 3 Результаты исследований

#### 3.1 Анализ структуры и свойств образцов, обработанных импульсным электронным пучком

Анализ морфологии поверхности облучения образцов технически чистого титана марки ВТ1-0 осуществляли методами атомно-силовой микроскопии (AFM). В результате выполненных исследований установлено, что с увеличением плотности энергии пучка электронов, изменяющейся в интервале (10-25) Дж/см<sup>2</sup> (16 кэВ, (50-150) мкс, (3-5) имп., 0,3 с<sup>-1</sup>) снижается степень шероховатости поверхности, обработанной электронным пучком. После облучения при плотности энергии 25 Дж/см<sup>2</sup> уровень шероховатости по отношению к исходному образцу, подвергнутому механическому полированию, снижается в  $\approx 20$  раз (рис. 15).

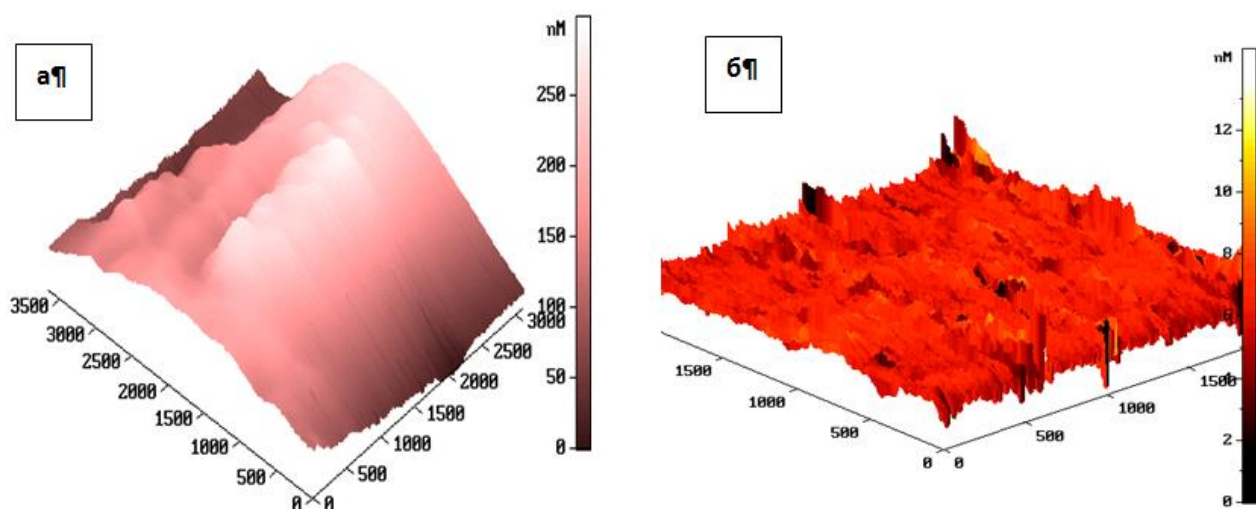


Рисунок 15 – 3d AFM изображение поверхности образца титана в исходном состоянии (а) и после электронно-пучковой обработки при  $E_s = 25$  Дж/см<sup>-2</sup>, 50 мкс, 3 имп. (б)

На рис. 16 и 17 представлены изображения структуры поверхности технически чистого титана марки ВТ1-0 в исходном состоянии и после облучении интенсивным электронным пучком, выявленные методами оптической микроскопия (рис. 16) и сканирующая электронная микроскопия (рис. 17). Отчетливо видно, что в исходном состоянии технически чистый титан является однофазным поликристаллическим материалом, средний размер зерен

которого 26 мкм (рис. 16, а). Облучение интенсивным электронным пучком приводит к существенному измельчению структуры поверхностного слоя титана (рис. 17, б-г). Средний размер выявляемых методами оптической микроскопии элементов структуры поверхности облучения образца, представленного на рис. 8, б, составляет (4-5) мкм; на рис. 16, в - (8-10) мкм; на рис. 16, г - (12-13) мкм. Следовательно, высокоскоростное циклирование через точку полиморфного  $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$  превращения (5 импульсов), имеющее место при облучении титана электронным пучком с параметрами 10 Дж/см<sup>2</sup>; 150 мкс, 5 импульсов, 0,3 с<sup>-1</sup>, позволяет многократно уменьшить размеры зеренно-субзеренной структуры материала.

Плавление поверхностного слоя и высокоскоростная кристаллизация приводят к формированию структуры, минимальные средние размеры элементов которой в лучшем случае (облучение электронным пучком с параметрами 15 Дж/см<sup>2</sup>; 100 мкс, 5 импульсов, 0,3 с<sup>-1</sup>) составляют (8-10) мкм (рис. 17, в).

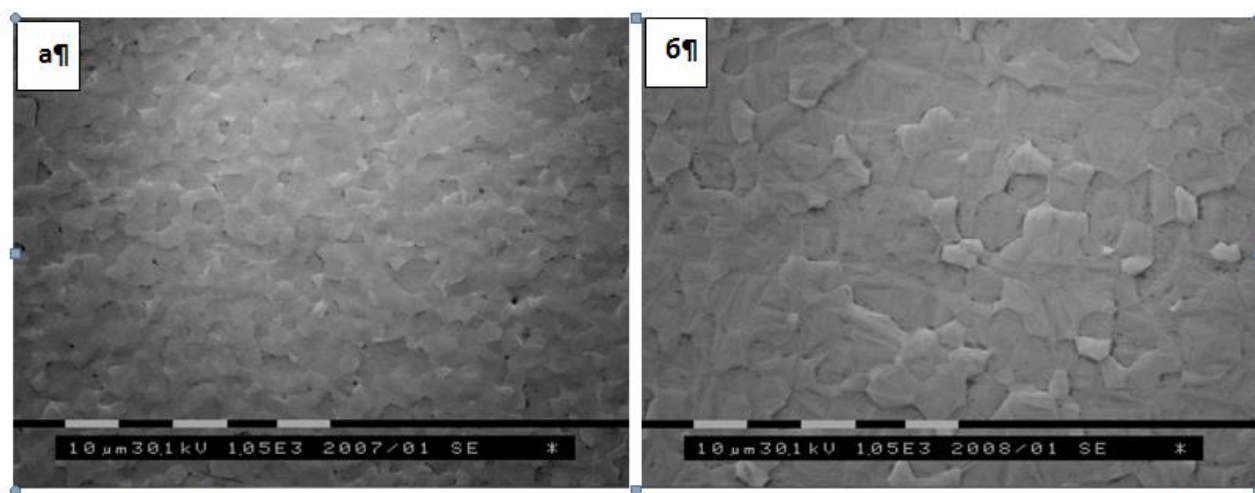


Рисунок 16 – Изображение поверхности технически чистого титана марки ВТ1-0, подвергнутого облучению электронным пучком с параметрами (50 мкс, 3 имп., 0,3 с<sup>-1</sup>): 12 Дж/см<sup>2</sup> (а) и 24 Дж/см<sup>2</sup> (б)

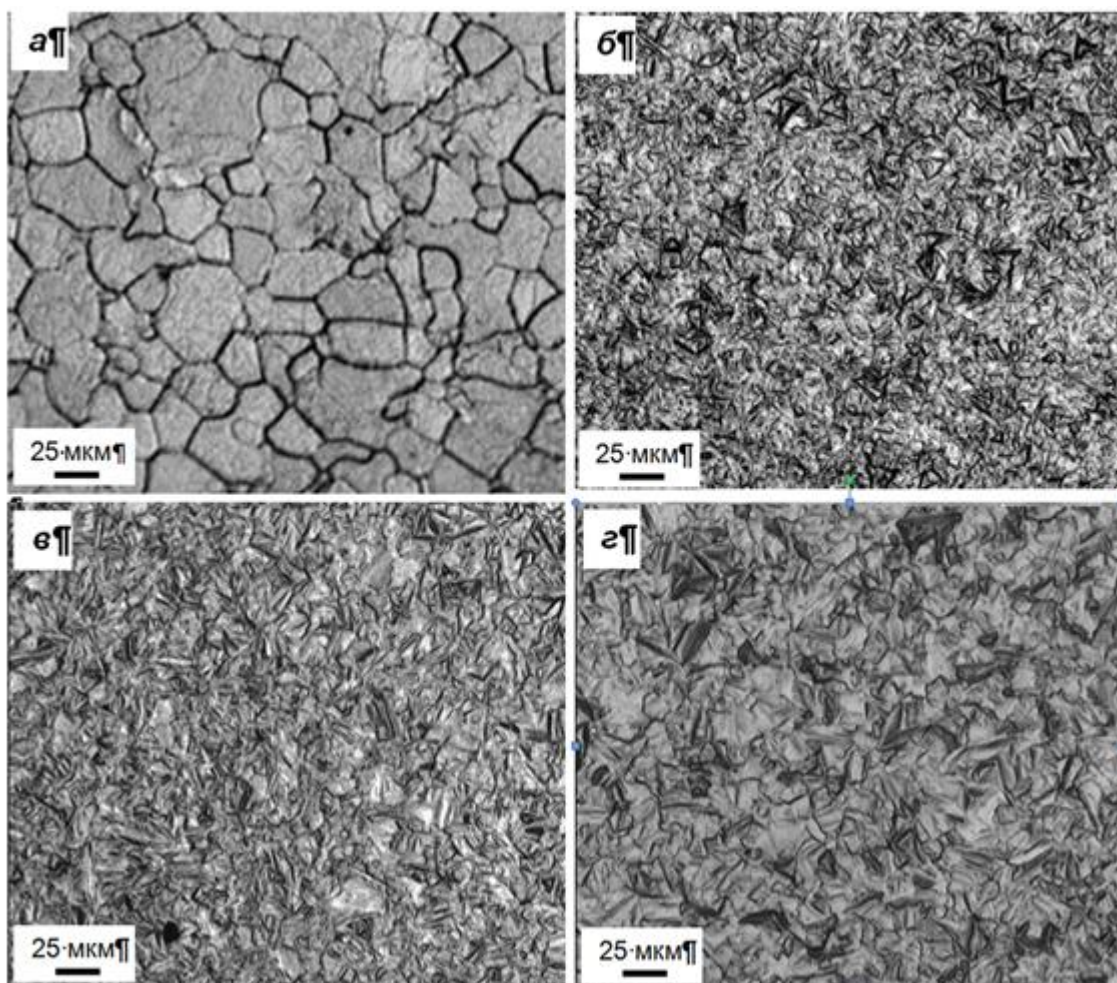


Рисунок 17 – Структура травленной поверхности образца технически чистого титана марки VT1-0 перед облучением (а) и поверхности, формирующейся в результате облучения интенсивным электронным пучком с параметрами: б – 10 Дж/см<sup>2</sup>, 150 мкс; 5 имп.; в – 15 Дж/см<sup>2</sup>, 100 мкс; 5 имп.; г – 20 Дж/см<sup>2</sup>, 150 мкс; 5 имп.; оптическая микроскопия

Выполнен анализ структуры поперечных травленных шлифов образцов технически чистого титана марки VT1-0, подвергнутых электронно-пучковой обработке (рис. 16). Показано, что при увеличении плотности энергии пучка электронов в интервале (12 – 25) Дж/см<sup>2</sup> (50 мкс; 3 имп.; 0,3 с<sup>-1</sup>) толщина модифицированного, в результате плавления поверхности материала, слоя возрастает от ≈10 мкм до ≈50 мкм, соответственно.

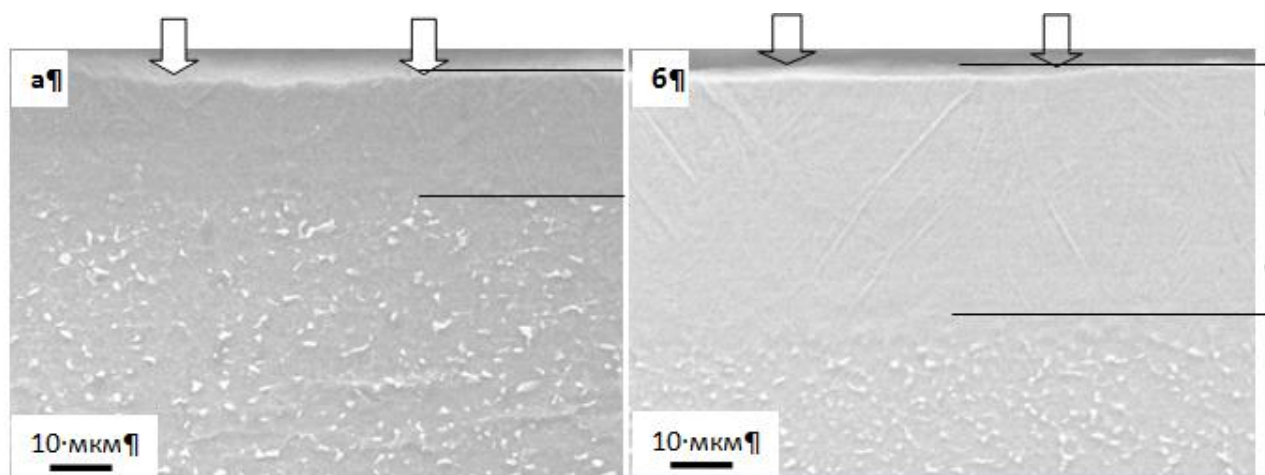


Рисунок 18 – Структура поперечного шлифа образцов титана облученных электронным пучком (50 мкс; 3 имп.;  $0,3 \text{ с}^{-1}$ ): а –  $18 \text{ Дж/см}^2$ ; б –  $25 \text{ Дж/см}^2$ .

Светлыми стрелками обозначена поверхность электронно-пучковой обработки; темной – толщина модифицированного слоя

Фазовый состав и состояние дефектной субструктуры слоя, модифицированного электронным пучком, анализировали методами электронной дифракционной микроскопии тонких фольг. В результате выполненных исследований установлено, что в исходном состоянии исследуемый сплав является поликристаллическим агрегатом на основе  $\alpha$ -титана (рис. 19, а). В объеме зерен наблюдаются хаотически распределенные дислокации. Сравнительно редко обнаруживаются микродвойники. Импульсная электронно-пучковой обработка приводит к смене морфологии  $\alpha$ -фазы – структура зеренного типа замещается пластинчатой структурой (рис. 19, б-г).

При плотности энергии пучка электронов  $10 \text{ Дж/см}^2$  формируется морфологически двухосновная структура – наряду с пластинами обнаруживается  $\alpha$ -фаза зеренного типа, однако объемная доля ее незначительна (10...15 %). В наиболее крупных пластинах  $\alpha$ -фазы наблюдаются микродвойники, поперечные размеры которых изменяются в пределах (50...100) нм.



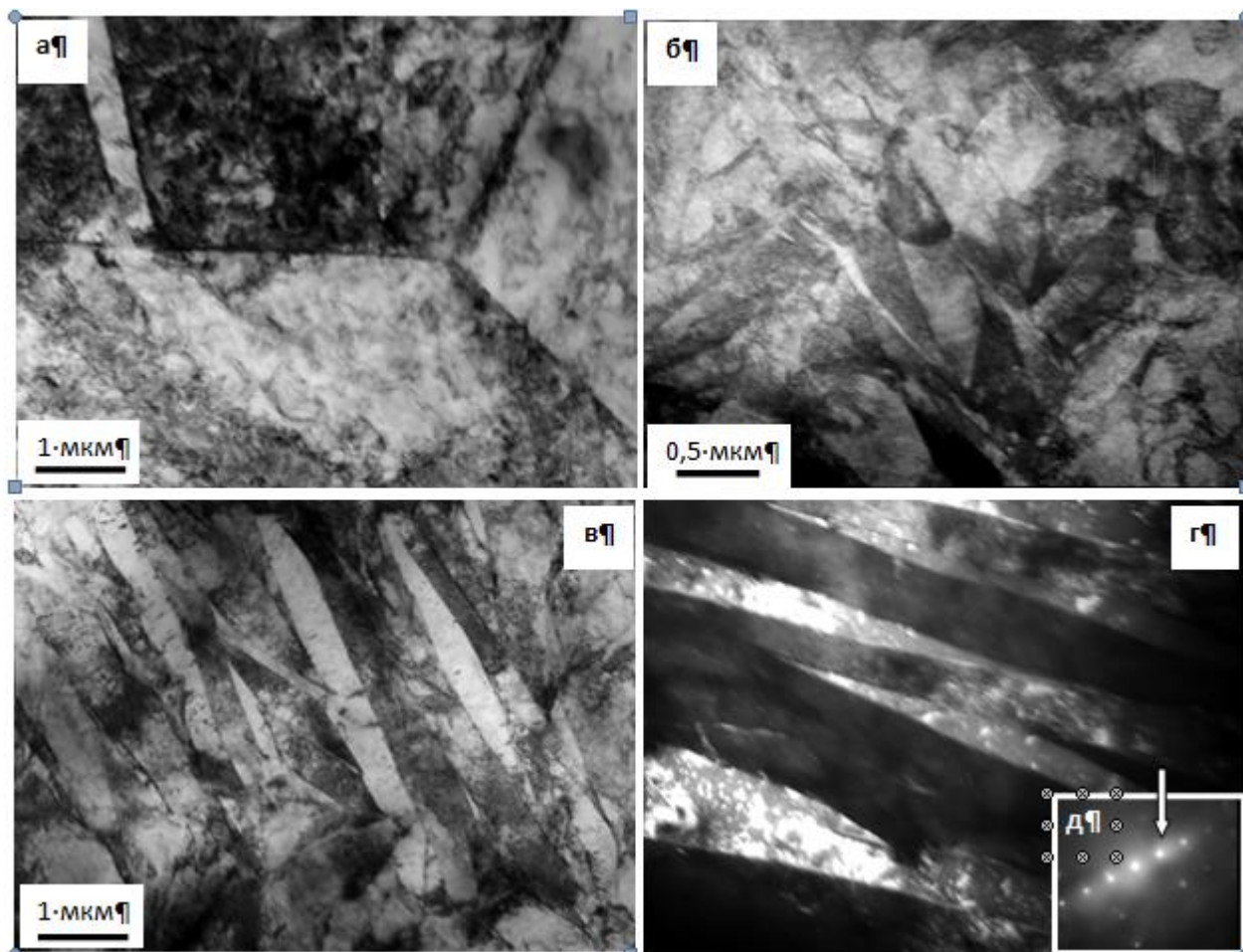


Рисунок 19 – Электронно-микроскопическое изображение структуры технически чистого титана марки ВТ1-0 перед облучением (а) и после облучения интенсивным электронным пучком с параметрами  $12 \text{ Дж/см}^2$ , 50 мкс, 3 имп.,  $0,3 \text{ с}^{-1}$  (б-г); а-в – светлопольные изображения; г – темное поле, полученное в рефлексе  $\alpha$ -фазы; д – микроэлектроннограмма (стрелкой указан рефлекс, в котором получено темное поле)

Увеличение плотности энергии пучка электронов до  $(15...20) \text{ Дж/см}^2$  приводит к формированию в поверхностном слое титана  $\alpha$ -фазы пластинчатого типа (рис. 20). Поперечные размеры пластин изменяются в пределах от 100 нм до 1,5 мкм. Пластины фрагментированы, что свидетельствует о высоком уровне упругих полей напряжений, формирующихся в процессе высокоскоростного охлаждения поверхностного слоя образцов и релаксирующих путем деформации структуры (рис. 20 а, б). Фрагменты разориентированы, о чем свидетельствует черно-белый контраст расположенных рядом фрагментов, а

также азимутальное размытие рефлексов на микроэлектронограммах. Азимутальная составляющая полного угла разориентации составляет  $\approx 4$  град.

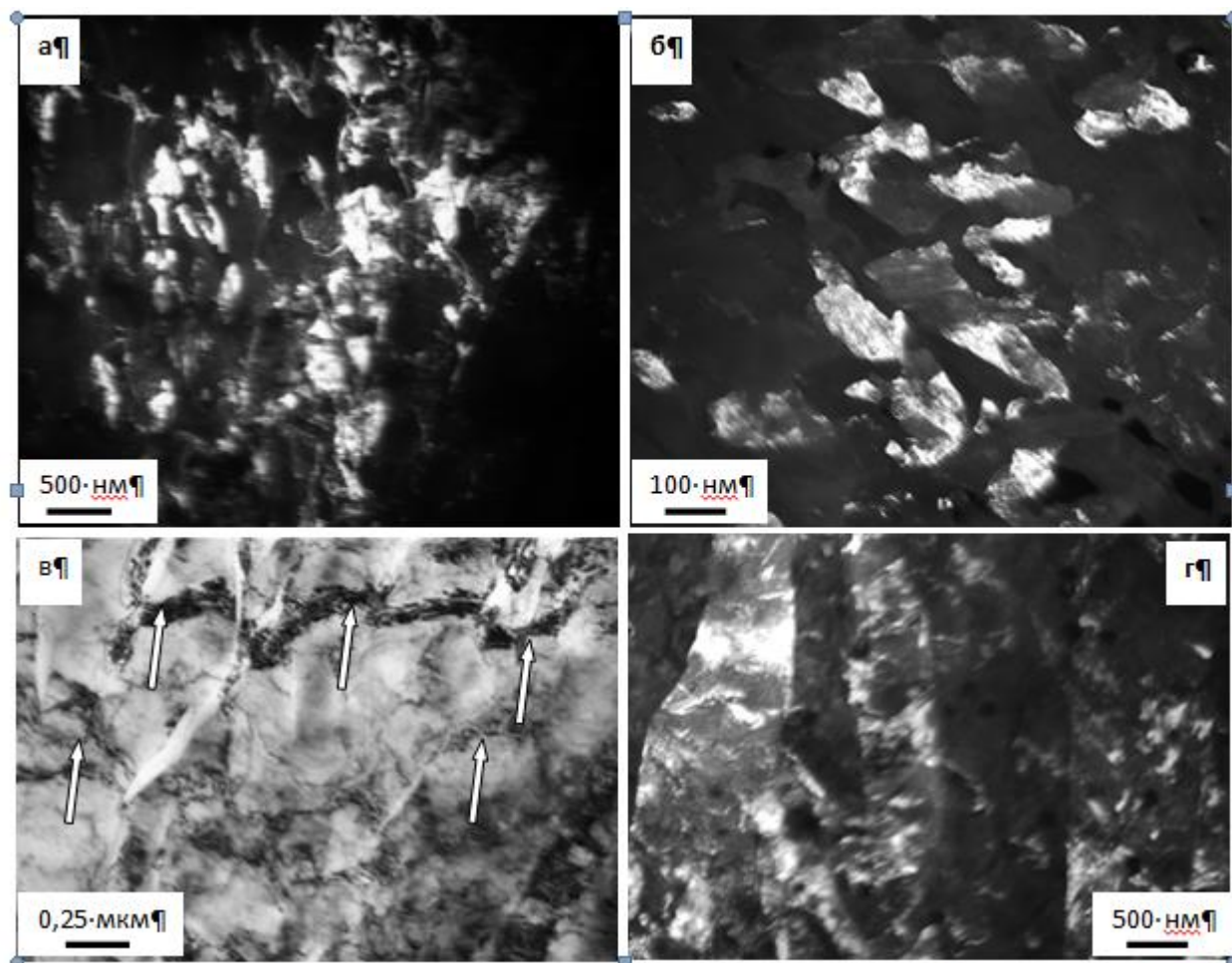


Рисунок 20 – Электронно-микроскопическое изображение структуры поверхностного слоя технически чистого титана марки ВТ1-0, подвергнутого облучению электронным пучком с параметрами 50 мкс, 3 имп.,  $0,3 \text{ с}^{-1}$ ,  $15 \text{ Дж/см}^2$  (а, в);  $21 \text{ Дж/см}^2$  (б);  $24 \text{ Дж/см}^2$  (г). Темнопольные изображения (а, б, г) получены в рефлексе  $\alpha$ -Ti. Стрелками на (в) указаны изгибные экстинкционные контуры

О высоком уровне упругих полей напряжений также свидетельствует присутствие в материале большого количества изгибных экстинкционных контуров (рис. 20, в). Присутствие на электронно-микроскопических изображениях структуры тонких фольг изгибных экстинкционных контуров указывает на изгиб-кручение кристаллической решетки материала [22, 23]. Очевидно, что причиной формирования упругих полей напряжений являются сверхвысокие скорости нагрева и охлаждения поверхностного слоя,

реализуемые при облучении образцов высокоинтенсивным импульсным электронным пучком.

Повышение плотности энергии пучка электронов сопровождается снижением средних поперечных размеров пластин и расположенных в них фрагментов. Минимальные средние размеры пластин и средние размеры фрагментов выявлены в материале, облученном электронным пучком при плотности энергии пучка электронов  $21 \text{ Дж/см}^2$ ; а именно, средние поперечные размеры указанных структурных элементов составляют  $\approx 60 \text{ нм}$  (рис. 20, б). Обработка сплава электронным пучком с плотностью энергии пучка электронов  $25 \text{ Дж/см}^2$  приводит к формированию в поверхностном слое пластинчатой структуры со сравнительно крупным размером пластин (средние поперечные размеры пластин  $330 \text{ нм}$ ), фрагментация которых выражена относительно слабо (рис. 20, г). Последнее может означать снижение скорости охлаждения образца.

Таким образом, выполненный сравнительный анализ результатов тепловых расчетов и структурно-фазовых исследований поверхностного слоя технически чистого титана марки ВТ1-0, облученного интенсивным импульсным электронным пучком при вариации плотности энергии пучка электронов и длительности импульса воздействия, показал, что многократное уменьшение размеров зеренно-субзеренной структуры материала можно реализовать при высокоскоростном циклировании (5 циклов) через точку полиморфного  $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$  превращения, имеющем место при облучении титана электронным пучком с параметрами  $10 \text{ Дж/см}^2$ ;  $150 \text{ мкс}$ ,  $5 \text{ имп.}$ ,  $0,3 \text{ с}^{-1}$ . В объеме сформированных таким образом зерен выявляется структура пластинчатого типа, характеризующаяся высоким уровнем кривизны-кручения кристаллической решетки.

Выполнены механические испытания поверхности образцов технически чистого титана, обработанного электронным пучком. Показано, что микротвердость модифицированного слоя увеличивается с ростом плотности энергии пучка электронов соответственно результатам, представленным на рисунок 13. (микротвердость поверхностного слоя определяли при нагрузках на

индентер 0,2 Н и 0,5 Н). Показано, что при параметрах пучка электронов 20 Дж/см<sup>2</sup>, 150 мкс, 3 имп., 0,3 с<sup>-1</sup> микротвердость модифицированного поверхностного слоя превышает микротвердость исходного материала более чем в 2,5 раза (рис. 21, кривая 2).

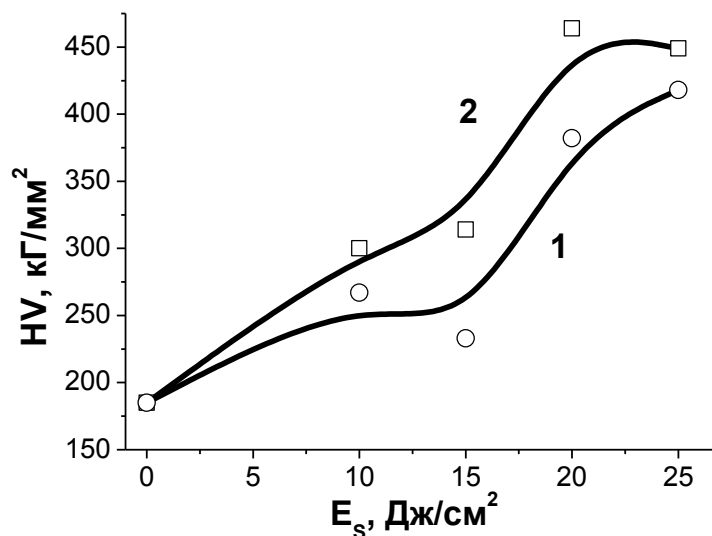


Рисунок 21 - Зависимость от плотности энергии пучка электронов микротвердости поверхностного слоя технически чистого титана, обработанного электронным пучком с параметрами 100 мкс, 3 имп., 0,3 с<sup>-1</sup> (кривая 1) и 150 мкс, 3 имп., 0,3 с<sup>-1</sup> (кривая 2); нагрузка на индентер 0,5 Н

Выявлен профиль твердости и модуля Юнга поверхностного слоя технически чистого титана, обработанного электронным пучком, при динамической нагрузке на индентор, изменяющейся в интервале от 5 мН до 300 мН. Согласно результатам, представленным на рис. 22, график зависимости твердости от нагрузки на индентор (толщины исследованного слоя) можно разбить на три области: 1 – область с высоким значением твердости (зона упрочнения материала); 2 – область с низким значением твердости (зона термического влияния) и 3 – область со значением твердости, близкой к исходному состоянию материала.

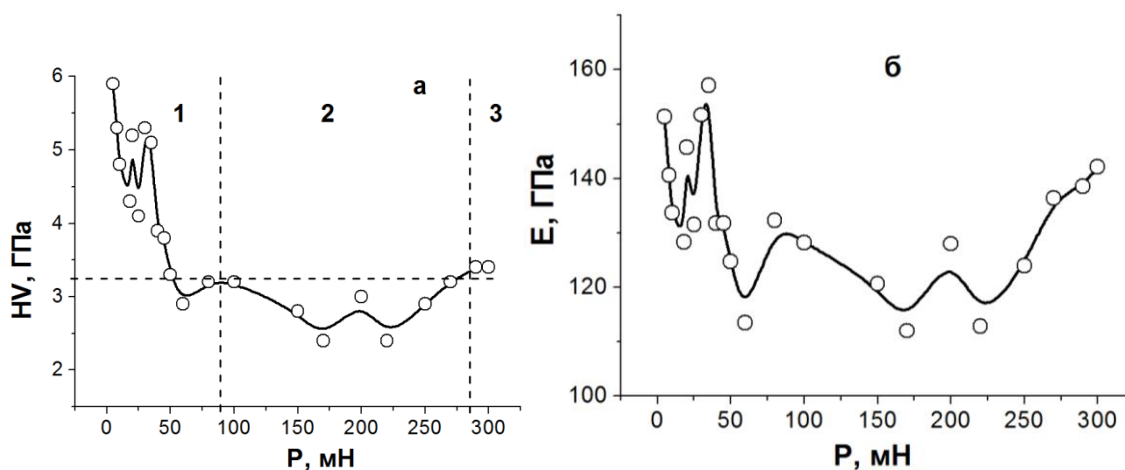


Рисунок 22 - Зависимость от нагрузки на индентор твердости (а) и модуля Юнга (б) поверхностного слоя технически чистого титана, обработанного электронным пучком с параметрами 20 Дж/см<sup>2</sup>, 150 мкс, 3 имп., 0,3 с<sup>-1</sup>

Проведены трибологические испытания поверхности образцов технически чистого титана, обработанного электронным пучком (трибометр «CSEM Tribometer High Temperature S/N 07-142», CSEM Instruments, Швейцария; контртело - шарик из твердого сплава ВК8 диаметром 3 мм). Объем износа поверхностного слоя определяли после проведения профилометрии образовавшегося трека с помощью лазерного оптического профилометра MicroMeasure 3D Station (Stil, Франция). Скорость износа рассчитывали, используя соотношение

$$V = \frac{2 * \pi * R * A}{F * L}, \quad (2)$$

где R = 2 мм – радиус трека,

A – площадь поперечного сечения канавки износа [мм<sup>2</sup>],

F = 3 Н – величина приложенной нагрузки,

L = 12 м – пройденная шариком дистанция.

В результате выполненных исследований установлено, что облучение поверхности технически чистого титана интенсивным электронным пучком при плотностях энергии пучка электронов (15-30) Дж/см<sup>2</sup>; длительности импульса пучка 100 мкс и 150 мкс; количестве импульсов 5 не приводит к повышению износостойкости материала. Коэффициент трения в процессе испытаний на износостойкость изменяется, практически не зависимо от режима облучения (в

указанном выше интервале значений), подобным образом, демонстрирую тенденцию к снижению (в  $\approx 1,4$  раза) на начальной стадии испытаний (рис. 23).

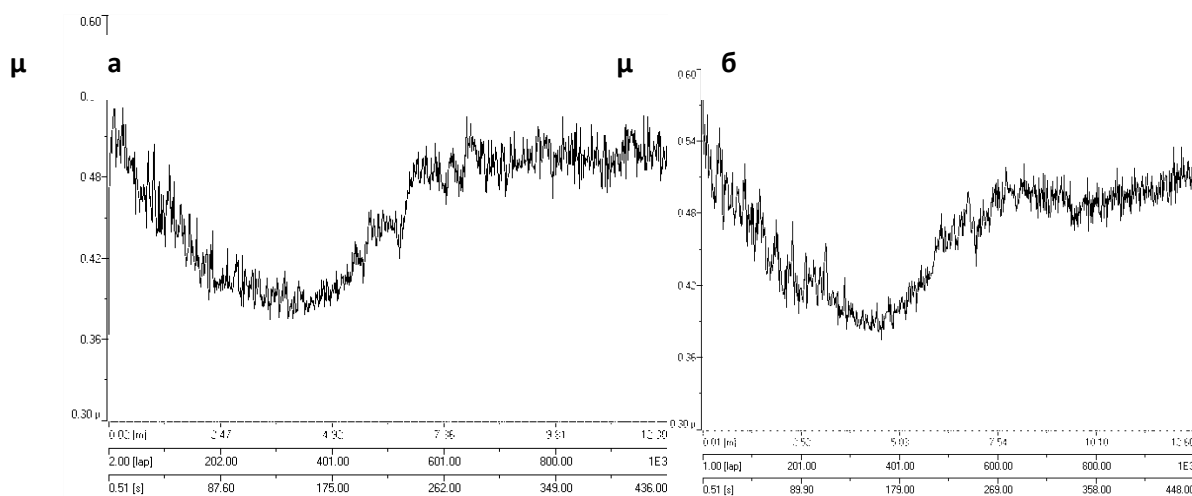


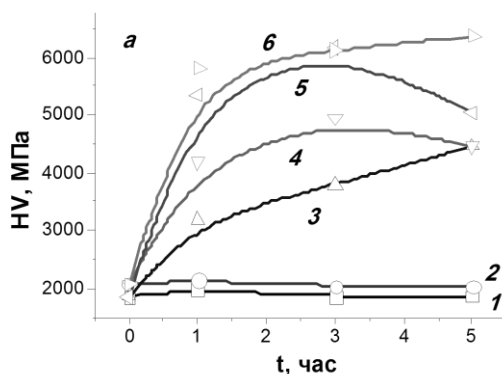
Рисунок 23 - Зависимость коэффициента трения от длины пройденного контртелом пути (времени испытаний); параметры облучения: а – 25 Дж/см<sup>2</sup>, 150 мкс, 3 имп., 0,3 с<sup>-1</sup>; б – 20 Дж/см<sup>2</sup>, 100 мкс, 3 имп., 0,3 с<sup>-1</sup>

### 3.2 Анализ азотированной структуры и свойств образцов титана.

Модифицированные образцы подвергали всестороннему анализу. Проводили механические испытания поверхности азотирования образцов (определяли микротвердость (прибор ПМТ-3, метод Виккерса) при нагрузках на индентер 0,2 Н и 0,5 Н). Выявляли (на поперечных шлифах) профиль твердости и модуля Юнга (ультрамикротвердомер Shimadzu DUN-211S) поверхности азотирования при динамической нагрузке на индентор, изменяющейся в интервале от 40 мН до 300 мН. Осуществляли трибологические испытания (трибометр «CSEM Tribometer High Temperature S/N 07-142», CSEM Instruments, Швейцария; 3D-профилемер MICRO MEASURE 3D station французской фирмы STIL) образцов, подвергнутых азотированию.

Эволюцию зеренной структуры технически чистого титана марки BT1-0, подвергнутого азотированию анализировали с помощью оптического микроскопа «Микровизор металлографический μVizo - MET-221». Исследования морфологии поверхности и элементного состава поверхностного слоя (метод микрорентгеноспектрального анализа осуществляли на

сканирующем электронном микроскопе "SEM-515 Philips", оснащенном микроанализатором EDAX ECON IV. Анализ фазового состава, состояния кристаллической решетки, величины микронапряжений, размера областей когерентного рассеяния поверхностного слоя азотированных образцов выполняли методом дифракции рентгеновских лучей, используя дифрактометр XRD-7000s (Shimadzu, Япония).



Рисунке 25 - Зависимость микротвердости  $HV$  поверхностного слоя технически чистого титана VT 1-0 от времени азотирования  $t$  в плазме газового разряда низкого давления с использованием плазмогенератора «ПИНК» при температуре (°C): 1, 2 – 500; 3, 4 – 600; 5, 6 – 650; кривые 1, 3, 5 получены при нагрузке на индентор  $P = 0,5$  Н; кривые 2, 4, 6 – при  $P = 0,2$  Н

Тестирование образцов перед и после азотирования выявило увеличение твердости поверхностного слоя обработанного материала более чем в 3 раза (рис. 24). Анализ результатов, представленных на рис. 15, показывает, что упрочнение поверхностного слоя технически чистого титана зависит и от температуры, и от времени азотирования. А именно, при температуре 500°C упрочнение поверхностного слоя при указанных нагрузках на индентор не выявляется, что, очевидно, свидетельствует о низком уровне насыщения поверхностного слоя азотом. При температурах 600°C и 650°C наблюдается упрочнение поверхностного слоя. Упрочнение поверхностного слоя образцов титана, азотированных при температуре 600 и 650°C, носит затухающий характер (рис.25, кривые 5 и 6).

Титан и его сплавы, несмотря на хорошие прочностные и коррозионные свойства, ограничено используются в качестве конструкционных материалов из-за низкой износостойкости. Поэтому, если необходима высокая износостойкость, то изделия из титановых сплавов подвергаются специальной поверхностной обработке (азотирование, напыление износостойких покрытий, имплантация). На рис. 26 приведены зависимости коэффициента трения от числа циклов (длины дорожки трения, числа оборотов образца относительно контртела из твердого сплава WC-Co) для тыльной и лицевой сторон образца технически чистого титана VT1-0, подвергнутого азотированию.

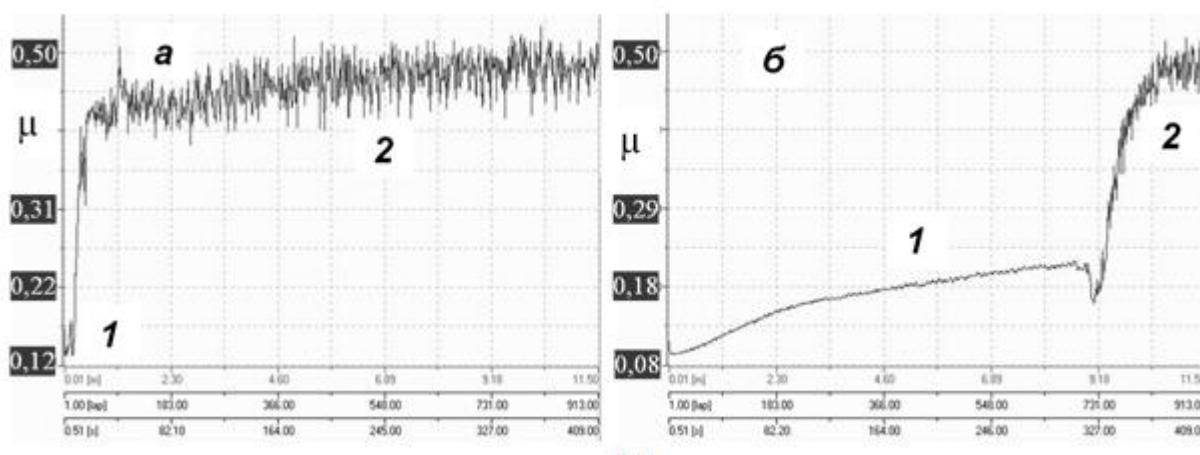


Рисунок 26 - Зависимость коэффициента трения  $\mu$  от длины дорожки трения азотированного титана VT1-0 при температуре 650°C (3 час.); а – не азотированный образец; б – образец после азотирования. Условия испытания: индентор – шарик ВК8 диаметром 3 мм, радиус трека 2 мм, величина приложенной нагрузки 3 Н, пройденная шариком дистанция 11,5 м

На рис. 27 представлены изображения фрагментов дорожек износа исходного титана VT1-0 и титана после азотирования. Анализируя представленные изображения, можно отметить, что при испытании образцов исходного титана преимущественным был механизм адгезионного изнашивания, заключающийся в схватывании и глубинном вырывании объема материала, переноса его с одной поверхности трения на другую и воздействия возникших неровностей на сопряженную поверхность [24].



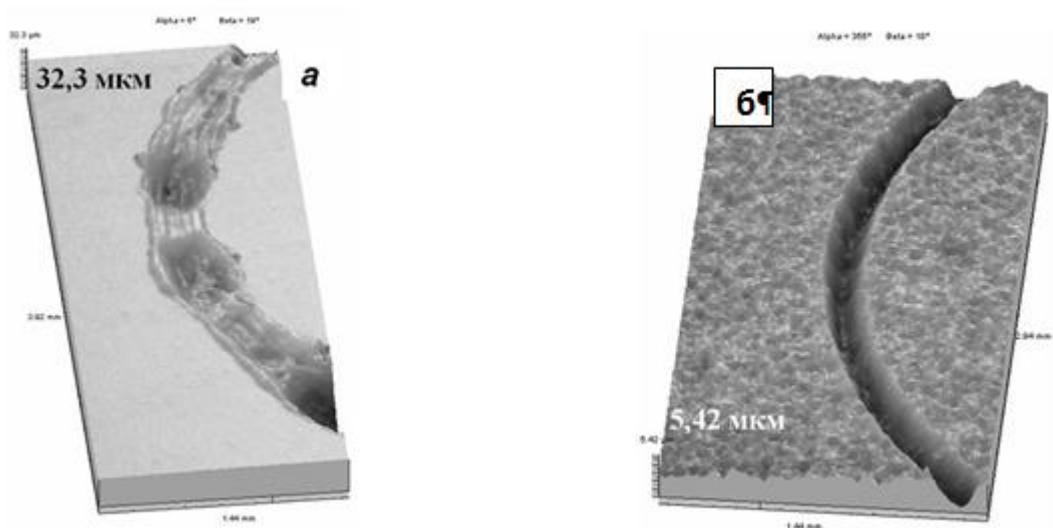


Рисунок 27 - 3-D изображения трека износа образцов технически чистого титана VT1-0 в исходном состоянии (а) и подвергнутого азотированию (б) при температуре 650°C (3 час.) в плазме газового разряда низкого давления с использованием плазмогенератора «ПИНК». Условия испытания: индентор – шарик ВК8 диаметром 3 мм, радиус трека 2 мм, величина приложенной нагрузки 3 Н, пройденная шариком дистанция 11,5 м

Выявленное увеличение твердости поверхностного слоя титана обусловлено, очевидно, насыщением материала азотом. Коэффициент трения образца исходного титана VT1-0 на первых же циклах достигает  $\approx 0,46$  и далее с учетом флуктуаций изменяется в пределах 0,38-0,56 (рис. 26, а). Изменение коэффициента трения от числа циклов образца титана, подвергнутого азотированию, характеризуется наличием сравнительно протяженной начальной стадии износа с низким (0,09-0,23) и стабильным коэффициентом трения (рис. 26, б, стадия 1), что указывает на преимущественно абразивный механизм износа на этой стадии. После окончания начальной стадии, как коэффициент трения, так и амплитуда флуктуаций изменяются по кривой с максимумом с переходом в установившийся режим (рисунок 26, б, стадия 2), где эти характеристики близки к характеристикам технически чистого титана VT1-0 в исходном состоянии.

Дорожка износа азотированного образца имеет сглаженный рельеф (рис. 27, б). Это указывает на абразивный механизм изнашивания, реализующийся в

результате режущего или царапающего действия твердого тела. Сравнительный анализ профилограмм дорожек износа показал, что увеличение твердости поверхностного слоя более чем в 3 раза, существенное, более чем в 4 раза, снижение коэффициента трения привели к многократному (более чем в 8 раз) повышению износостойкости лицевой поверхности образцов. Оптимальным режимом модифицирования поверхностного слоя технически чистого титана является азотирование при температуре 650°C (3 час.).

Исследование дефектной субструктуры и элементного состава поверхностного слоя технически чистого титана после азотирования проводили методами оптической и сканирующей электронной микроскопии.

В качестве объекта исследования были выбраны образцы, подвергнутые азотированию при температуре 650°C в течение 3 часов, показавшие наилучшее сочетание механических (микротвердость) и трибологических (износостойкость при сухом трении и коэффициент трения) свойств. Исследования дефектной структуры показали, что титан в исходном состоянии (состоянии перед азотированием) являлся поликристаллическим материалом, средний размер зерен которого 25,8 мкм. После азотирования (650°C, 3 час.) средний размер зерен образца 22,5 мкм, что близко к среднему размеру зерен исходного материала. В объеме зерен азотированного образца выявляется субзеренная структура. Средний размер субзерен – 2,1 мкм.

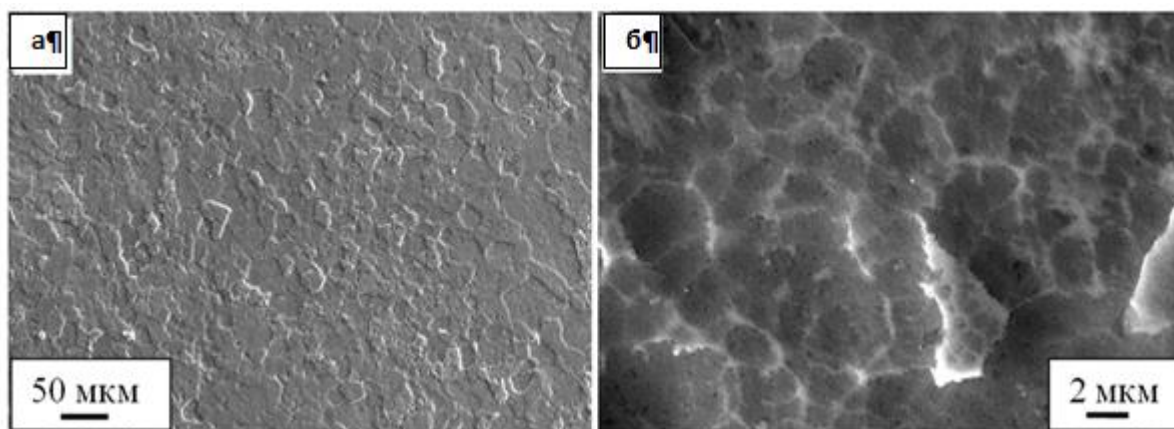


Рисунок 28 - Структура поверхности образцов технически чистого титана ВТ1-0, подвергнутого азотированию при температуре 650°C (3 час.) в плазме

газового разряда низкого давления с использованием плазмогенератора

«ПИНК»

Границы зерен и субзерен азотированного образца декорированы частицами второй фазы. Средние размеры частиц, расположенных на границах зерен и субзерен, 0,25 мкм. Микрорентгеноспектральный анализ, выполненный методами сканирующей электронной микроскопии, выявил присутствие атомов азота, концентрация которых достигает 36 ат. %. Можно ожидать, что выявленные по границам зерен и субзерен частицы второй фазы являются нитридами титана. Действительно, исследования, выполненные методами рентгеноструктурного анализа, обнаружили наличие  $\epsilon$ -фазы ( $Ti_2N$ ), содержание которой составляет 24,8 %.

Азотирование, наряду с формированием частиц нитридных фаз, предполагает насыщение кристаллической решетки титана азотом, что будет сопровождаться искажением кристаллической решетки и изменением ее параметров. Методами рентгеноструктурного анализа выявлены следующие значения параметров кристаллической решетки азотированного образца  $\alpha$ -Ti:  $a = 0,29454$  нм;  $c = 0,47091$  нм;  $c/a = 1,599$ ;  $\Delta d/d = 2,7 \cdot 10^{-3}$ . Сопоставляя данные результаты с табличными значениями параметров кристаллической решетки  $\alpha$ -Ti ( $a = 0,29510$  нм;  $c = 0,46970$  нм;  $c/a = 1,587$ ), можно заключить, что изменение величины параметров « $a$ » и « $c$ » свидетельствует о насыщении кристаллической решетки титана азотом. Анализ литературных источников показывает, что азот закономерным образом влияет на параметры « $c$ » и « $a$ » гексагональной плотноупакованной кристаллической решетки  $\alpha$ -титана [6, 25]. При растворении азота в титане параметр « $c$ » возрастает довольно сильно, а параметр « $a$ » мало, отношение осей  $c/a$  увеличивается и приближается к теоретическому значению 1,633, при котором титан теряет свое преимущество по пластичности.

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

Студенту:

<b>Группа</b> 4Б22	<b>ФИО</b> Кузичкин Евгений Евгеньевич
-----------------------	---

<b>Институт</b>	<b>ИФВТ</b>	<b>Кафедра</b>	<b>НМНТ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	НИ проводится в лабораториях ИСЭ СО РАН. В исследовании задействованы 2 человека: студент-исполнитель и научный руководитель. Приблизительная стоимость на реализацию НИ составит около 30000 рублей.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность».
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления по страховым взносам – 30% от ФОТ.

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Определение потенциальных потребителей результатов исследования, SWOT-анализ
2. <i>Планирование и формирование бюджета НИ</i>	Определение трудоемкости выполнения работ, как дипломника, так и руководителя. Построение графика выполнения работ НИ. Формирование бюджета научного исследования.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Оценка научно-технического уровня исследования.

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. SWOT-анализ
2. График Ганта
4. Бюджет проекта

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент кафедры МЕН, НИИ ТПУ	Грахова Е.А.			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b> 4Б22	<b>ФИО</b> Кузичкин Евгений Евгеньевич	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
-----------------------	---	----------------	-------------

#### **4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В данной научно-исследовательской работе проводится исследование влияния модификации поверхности сплава на основе титана электронно-ионно-плазменным методом на его прочностные и трибологические характеристики.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности исследования, планирование процесса управления НИР, определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки проекта;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- рассчитать бюджет проекта;
- определить научно-техническую эффективность проекта

##### **4.1 Оценка коммерческого потенциала исследования**

В качестве потенциальных потребителей результатов исследования могут выступать авиационная, ракетная и судостроительная отрасли промышленности. Также результаты исследования будут полезны при изготовлении из титана емкостей, химических реакторов, трубопроводов, арматуры, насосов, клапанов и других изделий, работающих в агрессивных средах.

Осуществим SWOT – анализ позволяет оценить факторы и явления способствующие или препятствующие достижению успеха научного исследования.

Сильные и слабые стороны исследования представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Матрица SWOT

Сильные стороны	Возможности
-----------------	-------------

С1. Уникальность метода С2. Получение высококачественных изделий С2. Данная методика является экономически выгодной, ресурсоэффективной; С3. Возможность применения методики для большинства металлов С4. Методика является перспективной; С5. Меньшее время изготовления детали по сравнению с аналогами.	В1. Возможность получения патента; В2. Использование во многих отраслях; В3. Появление большого спроса на продукцию.
Слабые стороны	Угрозы
Сл1. Сложное оборудование; Сл2. Сложность подбора режима; Сл3. Нет возможности поставить обеспечить крупносерийное производство.	У1. Неправильный выбор режима У2. Рост стоимости сырья; У3. Не обеспечение нужного количества выпускаемых деталей.

По полученным данным можно сделать следующие выводы, что возможности, и сильные сторонами метода, способствуют развитию спроса.

Проведен комплексный анализ научного исследования. Самое большое негативное влияние оказывает возможность не подбора оптимального режима обработки деталей, вследствие чего, деталь будет не соответствовать техническим требованиям заказчика. Неотъемлемым плюсом считается, экологичность данной технологии, которая не несет каких-либо вредных воздействий на окружающую среду.

Что касается слабых сторон, то электронно-ионно-плазменное модифицирование имеет небольшое количество потенциальных потребителей из за дороговизны и сложности метода но, с развитием технологий, данная слабая сторона регулируется сама собой. Так же данный метод модификации не исключает фактор человеческой ошибки, т.к. всю работу нужно проводить опираясь на опыт и знания оператора установки.

#### **4.2 Планирование работ по НИР**

Планирование исследования – это составление календарных планов выполнения комплексов работ, определение денежных средств, необходимых для их реализации, а так же трудовых и материальных ресурсов.

Трудоемкость выполнения ВКР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит предположительный характер, т.к. зависит от множества факторов.

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости инновационной разработки. Поэтому необходимо определить трудоемкость работ каждого участника научного исследования.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (3)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{ч_i}, \quad (4)$$

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

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

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

Для определения трудоемкости выполнения исследования составим перечень основных этапов работы написания ВКР (Табл.7).

Работу выполняло 2 человека: руководитель, студент-дипломник.

Таблица 7– Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

<b>Основные этапы</b>	<b>№ работы</b>	<b>Содержание работы</b>	<b>Должность исполнителя</b>
Разработка задания на НИР	1	Составление и утверждение задания НИР	Руководитель, студент-дипломник
<b>Проведение НИР</b>			
Выбор направления исследования	2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов по теме	Студент-дипломник
	3	Выбор моделей и способов анализа	Студент-дипломник, руководитель
	4	Календарное планирование работ	Руководитель, студент-дипломник
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Разработка моделей для исследования	Руководитель, студент-дипломник
	6	Поиск методов решения	Студент-дипломник
	7	Реализация моделей	Студент-дипломник,
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ полученных результатов, выводы	Студент-дипломник
	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, студент-дипломник
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Студент-дипломник

Для удобства построения графика работ, необходимо построить диаграмму Ганта, представляющая из себя столбчатую диаграмму (гистограмму), которая используется для иллюстрации плана, графика работ по какому-либо проекту. Первый формат диаграммы был разработан Генри Л. Гантом в 1910 году.



Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого используется следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (5)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,478, \quad (6)$$

где  $k_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

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

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году. В России в 2015-2016 годах было 118 праздничных и выходных дней.

Результаты расчетов представлены в таблице 8.

По результатам расчетов строится диаграмма Ганта, приведенная в табл. 9.

На основе анализа составленной диаграммы Ганта можно сделать вывод, что продолжительность работ составляет 11 декад, начиная с первой декады марта и заканчивая второй декадой июня. Можно предположить, что объем работ, в ходе исследования, может быть увеличен или наоборот сокращен, в зависимости от полученных результатов.

Таблица 8 – Временные показатели проведения научного исследования

Номер этапа	Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях, $T_{ki}$
		$t_{\text{min}}$ , чел.-дни	$t_{\text{max}}$ , чел.-дни	$t_{\text{ож}}$ , чел.-дни			
1	Составление ТЗ	3	5	3,8	1	2	3
2	Изучение литературы	12	20	15,2	1	20	30
3	Составление этапов проекта	1	2	1,4	1	2	3
4	Проверка оборудования	1	1	1	1	1	1

5	Выполнение работы	1	2	1,4	1	1	2
6	Проведение исследований	3	7	4,6	1	20	30
7	Составление пояснительной записки	16	20	17,6	1	20	30
8	Проверка проекта	3	6	4,2	2	6	9
9	Сдача проекта	2	4	2,8	2	1	2
Итого							110

Далее по диаграмме Ганта можно рассчитать время работы для каждого исполнителя. Занятость исполнителей представлена в табл. 9.

Таблица 9 – Диаграмма Ганта

Номер этапа	Этап работы	Исполнители	Т <sub>к,к</sub> , ал. дн.	Продолжительность выполнения работ											
				Март			Апр.			Май			Июнь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление ТЗ	Руководитель	3												
2	Изучение литературы	Дипломник	30												
3	Составление этапов проекта	Руководитель	3												
4	Проверка оборудования	Руководитель	1												
5	Выполнение работ	Руководитель	1												
6	Проведение исследований	Дипломник	30												
7	Составление пояснительной записки	Дипломник	30												
8	Проверка проекта	Дипломник	9												
		Руководитель	9												
9	Сдача проекта	Дипломник	2												
		Руководитель	2												

Далее по диаграмме Ганта можно рассчитать время работы для каждого исполнителя. Занятость исполнителей представлена в табл. 9.

Таблица 10 – Показатели рабочего времени исполнителей исследования

Показатели рабочего времени	Руководитель	Дипломник
Календарное число дней работы	19	101
Количество нерабочих дней за период выполнения проекта	6	30
Продолжительность выполнения проекта, в рабочих днях	13	71

Календарная продолжительность выполнения научного исследования составит 150 дней. Из них:

101 дней – занятость дипломника; 19 дней – занятость руководителя;

Продолжительность выполнения исследования в рабочих днях составит 103 дня. Из них:

13 дней – продолжительность выполнения работ дипломником; 71 день – продолжительность выполнения работ руководителем.

### 4.3 Составление сметы научного исследования

Составление сметы научного исследования является необходимым условием. Она должна отражать все расходы связанные с выполнением данного исследования. В процессе формирования бюджета НИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- 1) амортизация;
- 2) электроэнергия;
- 3) полная заработная плата;
- 4) отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- 5) накладные расходы.

#### 4.3.1 Амортизация

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$Z_{об} = (Ц \cdot F_{ф}) / (F_{н} \cdot F_{сс}) \quad (7)$$

где Ц – цена оборудования, руб.;

$F_{н}$  – номинальный фонд времени (рабочее время в году), ч;

$F_{cc}$  – срок службы оборудования, год;

$F_{\phi}$  – фактическое время занятости оборудования, ч.  $F_n = 250$  дней = 6000 ч.

Вычисленная амортизация оборудования представлена в таблице 6. Данные взяты на основе отчета лаборатории.

Основная статья амортизационных отчислений приходится на микровизор, в связи с его постоянным использованием.

Таблица 11–Амортизационные расчеты

Номер	Наименование оборудования	Ц, руб.	$F_{cc}$ , год	$F_{\phi}$ , ч.	$Z_{об}$ , руб.
1	Установка «Соло»	9 млн.	20	200	15000
2	Установка ННВ-6.6-И1	400000	15	400	1778
3	Микротвердомер ПМТ-3	50000	10	1000	833
4	Шлифовально-полировальный станок	230000	15	1000	2556
5	Компьютер	15000	5	500	250
6	Микровизор металлографический $\mu$ Vizo - MET-221P	270000	5	900	8100
Итого:					28517

#### 4.3.2 Электроэнергия

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$\mathcal{E} = C \cdot N \cdot n \cdot t_{зан.ч}, \quad (8)$$

где  $C$  — стоимость 1 кВт/ ч электроэнергии, руб;

$N$  — мощность оборудования, кВт;  $n$  — количество единиц оборудования одного вида, ед.;

$t_{зан.ч}$  — время занятости оборудования, ч.

Вычисленные затраты на электроэнергию представлены в табл. 12.

Таблица 12- Затраты на электроэнергию

	Наименование оборудования	Цена, Ц, р.	$N$ , кВт	$n$	$t_{зан.ч}$ , ч.	Затраты, р.
1	Установка «Соло»	4,36	15	1	200	13080
3	Установка ННВ-6.6-И1	4,36	40	1	400	69760
2	Микротвердомер ПМТ-3	4,36	1	1	1000	4360
3	Шлифовально-полировальный станок	4,36	3	1	1000	13080

4	Компьютер	4,36	0,3	1	500	654
5	Микровизор металлографический μVizo - MET-221P	4,36	3	1	900	11772
Итого:						112706

### 4.3.3 Полная заработная плата исполнителей

Заработная плата (оплата труда работника) — вознаграждение за труд в зависимости от квалификации работника, сложности, количества, качества и условий выполняемой работы, а также компенсационные выплаты и стимулирующие выплаты [26]. Или другими словами денежное поощрение труда работника.

Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (9)$$

где  $Z_{осн}$  — основная заработная плата;

$Z_{доп}$  — дополнительная заработная плата (12-15 % от  $Z_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) исполнителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (10)$$

где  $Z_{осн}$  — основная заработная плата одного работника;

$T_p$  — продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \times M}{F_d}, \quad (11)$$

где  $Z_m$  — месячный должностной оклад работника в рублях.

$M$  — количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб.дн.  $M=11,2$  месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб.дн.  $M=10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  — количество рабочих дней в месяце (26 при шести дневной рабочей неделе, 22 при пяти дневной рабочей неделе), раб. д.;

$$Z_m = Z_{тс} \times (1 + k_{пр} + k_d) \times k_p, \quad (12)$$

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

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{тс}$ );

$k_{д}$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5.

$k_{р}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 13.

Таблица 13 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$ , руб.	$k_{пр}$ , руб	$k_{д}$ , руб	$k_{р}$ , руб	$Z_{м}$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_{р}$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	20000	6000	4000	26000	39000	1773	13	23049
Дипломник	8000	2400	1600	10400	15600	709	71	50339
Итого $Z_{осн}$ , руб.								73388

Расчет дополнительной заработной платы, размер которой составляет 12 – 15% от основной, представлен в табл. 14.

Таблица 14 – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	$k_{доп}$	$Z_{осн}$ , руб.	$Z_{доп}$ , руб.	$Z_{зп}$ , руб.
Руководитель	0,15	23049	3457	26506
Дипломник	0,12	50339	6041	56380
Итого $Z_{осн}$ , руб.		73388	9,498	82886

#### 4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В соответствии с законодательством Российской Федерации обязательными являются отчисления в фонды: пенсионные, социального и медицинского страхования.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (13)$$

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

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2016 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$Z_{внеб} = 0,271 \cdot (23049 + 3457) = 7183$  рублей для научного руководителя;

$Z_{внеб} = 0,271 \cdot (50339 + 6041) = 15279$  рублей для дипломника.

#### 4.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергия, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{нр} = 289398 \cdot 0,16 = 46304, \quad (14)$$

где  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Таким образом, величина равняется 46304 рублей.

#### 4.3.6 Формирование бюджета затрат научного исследования

Еще на этапе планирования исследования должна быть составлена смета затрат. Это станет основой для формирования договора с заказчиком и является минимальным в рамках данного исследования.

Определение бюджета затрат на научное-исследование приведено в табл. 15.

Таблица 15 – Смета научного исследования

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Амортизационные расчеты	28517
2. Электроэнергия	112706
3. Затраты по полной заработной плате исполнителей	82886
4. Отчисления во внебюджетные фонды	22462
5. Накладные расходы	46304
<b>Бюджет затрат НИ</b>	<b>292875</b>

Исходя из данных таблицы, можно сделать вывод, что общие затраты на реализацию научного исследования составят 292875 рублей, из которых 141223 руб. приходится на амортизацию оборудования и затраты на электроэнергию, 82886 руб. на заработную плату исполнителей научного исследования, 46304 руб. на накладные расходы и 22462 руб. на отчисления в пенсионный и страховой фонды.

#### 4.4. Эффективность работы

##### 4.4.1. Оценка научно-технического уровня НТИ

Важнейшим результатом проведения НТИ является его научно-технический уровень, который характеризует, в какой мере выполнены работы и обеспечивается ли научно-технический прогресс в данной области. В последнее время для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НТИ, получил распространение метод бальных оценок. Бальная оценка заключается в том, что каждому фактору по принятой шкале присваивается определенное количество баллов. Обобщенную оценку проводят по сумме баллов по всем показателям или рассчитывают по формуле. На этой основе делается вывод о целесообразности НИР. Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент ее научно-технического уровня по формуле:

$$N_T = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i, \quad (15)$$

где  $N_T$  — показатель научно-технического уровня, определенный по трем признакам;

$R_i$  — весовой коэффициент  $i$ -го признака научно-технического эффекта;

$n_i$  — количественная оценка  $i$ -го признака научно-технического эффекта, в баллах (табл. 16, 17).

Таблица 16 – Весовые коэффициенты признаков НТУ

Признак НТУ	Примерное значение весового коэффициента
-------------	--



1. Уровень новизны	0,5
2. Теоретический уровень	0,3
3. Возможность реализации	0,2

Таблица 17 – Баллы для оценки уровня новизны

Уровень новизны	Характеристика уровня новизны	Баллы
Принципиально новая	Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, способ	8-10
Новая	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия, дополняют ранее полученные результаты	5-7
Относительно новая	Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами	2-4
Не обладает новизной	Результат, который ранее был известен	0

Таблица 18 – Баллы значимости теоретических уровней

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
1. Установка закона, разработка новой теории	10
2. Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ, взаимодействия между факторами с наличием объяснений	8
3. Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.)	6
4. Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций)	2
5. Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	0,5

Результаты оценок признаков отображены в табл. 19.

Таблица 19 – Количественная оценка признаков НИОКР

Признак научно-технического эффекта НИР	Характеристика признака НИОКР	$K_i$	$\Pi_i$
1. Уровень новизны	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия	0,5	6
2. Теоретический уровень	Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п.)	0,3	7
3. Возможность реализации	Время реализации в течение первых лет	0,2	8
4. Масштабы реализации	Одно или несколько предприятий	0,2	2

Используя исходные данные по основным признакам научно-технической эффективности, определяем показатель научно - технического уровня:

$$H_m = 0,5 \times 6 + 0,3 \times 7 + 0,2 \times 8 + 0,2 \times 2 = 7,1$$

Таблица 20 – Оценка уровня научно-технического эффекта

Уровень НТУ	Показатель НТУ
Низкий	1 - 4
Средний	4 - 7
Сравнительно высокий	7 - 10
Высокий	10 - 13

Таким образом, данная НИР имеет сравнительно высокий уровень НТУ, равный 7,1.

В ходе разработки данной главы были решены следующие задачи:

1. Проведена оценка коммерческого потенциала научного исследования при помощи SWOT-анализа. Выявлены потенциальные потребители результатов НИ. Было показано, что наше НИ обладает рядом

преимуществ: уникальность метода, получение высококачественных заготовок и образцов, малое время получения одной детали.

2. Составлен план научного исследования, разработан календарный план-график. Согласно разработанному плану объем запланированных работ реализуем за указанные сроки.

3. Рассчитан бюджет научного исследования. Стоимость исследования составляет 292875 рублей, из которых 141223 руб. приходится на амортизацию оборудования и затраты на электроэнергию, 82886 руб. на заработную плату исполнителей научного исследования, 46304 руб. на накладные расходы и 22462 руб. на отчисления в пенсионный и страховой фонды.

4. Определен показатель научно-технического уровня НИР, который является сравнительно высоким, что говорит о том, что выполненная работа обеспечивает научно-технический прогресс.

Таким образом, задачи, поставленные для осуществления цели раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», выполнены. Показано, что проведенное исследование является перспективным и целесообразным с точки зрения ресурсоэффективности.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4Б22	Кузичкин Евгений Евгеньевич

<b>Институт</b>	ИФВТ	<b>Кафедра</b>	Наноматериалов и нанотехнологий
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объектом исследования является технически чистый титан VT1-0 Рабочее место: лаборатории ИСЭ СО РАН.</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. Производственная безопасность</b>                      1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты).</li> </ul>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> </ul>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> </ul>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации</li> </ul>	<p>- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>

<p><i>объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</i></p>	
---	--

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭБЖ, НИ ТПУ	Назаренко О.Б.	Д.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б22	Кузичкин Евгений Евгеньевич		

## **5 Социальная ответственность**

В выпускной квалификационной работе рассматривается процесс модификации поверхности сплава на основе титана электронно-ионно-плазменным методом. Для выполнения данной разработки требовалось следующее: помещение размерами 6х3х3 м, модернизированная технологическая установка типа ННВ-6.6-И1, оснащенной плазмодгенератором «ПИНК», установка «СОЛО» для импульсной модификации поверхности материалов электронным пучком. В разработке принимали участие двое человек, студент и руководитель проекта. В качестве предварительной обработки образцы титана марки ВТ1-0 подвергались облучению электронным пучком на установке «СОЛО», затем подвергались ионной очистке и нагреву до заданной температуры ионами аргона в течение 15 мин при давлении 0,5 Па. После этого образцы подвергались азотированию в рабочей камере модернизированной технологической установке ННВ-6.6-И1, оснащенной плазмодгенератором «ПИНК».

В качестве потенциальных потребителей результатов исследования могут выступать авиационная, ракетная и судостроительная отрасли промышленности. Также результаты исследования будут полезны при изготовлении из титана емкостей, химических реакторов, трубопроводов, арматуры, насосов, клапанов и других изделий, работающих в агрессивных средах.

В настоящем разделе рассматриваются вопросы охраны труда и техники безопасности, связанные с работой в помещении, содержащем энергетические установки. А также разрабатываются мероприятия по предотвращению воздействия на здоровье работников опасных и вредных факторов, создание безопасных условий труда для работников.

## 5.1 Производственная безопасность

Таблица 21 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ по модификации поверхности сплава на основе титана электронно-ионно-плазменным методом

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1)Предварительная механическая подготовка образцов; 2)Обработка образцов на энергетических установках;	1. Повышенная пульсация светового потока; 2. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; 3.Повышенный уровень электромагнитных излучений;	1. Электрический ток. 2.повышенный уровень статического электричества; 3.повышенный уровень электромагнитных излучений;	1.Уровень электромагнитных излучений устанавливается СанПиН 2.2.4/2.1..8.055-96 2Запыленность и загазованность рабочей зоны регулируется ГОСТ Р 54578-2011

Основным опасным фактором является опасность поражения электрическим током. Исходя из анализа состояния помещения, данную лабораторию по степени опасности поражения электрическим током можно отнести к классу помещений без повышенной опасности.

В помещении подавляющая часть электрической проводки является скрытой. Поражение электрическим током возможно только при возникновении оголенных участков на кабеле, а также нарушении изоляции распределительных устройств, однако в лаборатории кабель имеет двойную

изоляцию, поэтому опасность поражения значительно снижается. Не исключается также опасность поражения и от токоведущих частей компьютера в случае их пробоя и нарушении изоляции.

В помещении токонепроводящие полы, отсутствует токопроводящая пыль, отсутствует электрически активная среда, отсутствует возможность одновременного прикосновения к металлическим частям прибора и заземляющему устройству, отсутствует высокая температура и сырость.

Для защиты от поражения электрическим током все токоведущие части защищены от случайных прикосновений кожухами, корпус устройства заземлен. Заземление выполняется изолированным медным проводом сечением  $1,5 \text{ мм}^2$ , который присоединяется к общей шине заземления с общим сечением  $48 \text{ мм}^2$  при помощи сварки. Общая шина присоединяется к заземлению, сопротивление которого не превышает 4 Ом. Питание устройства осуществляется от силового щита через автоматический предохранитель, срабатывающий при коротком замыкании нагрузки.

Для устранения опасности поражения электрическим током регулярно проводится осмотр кабелей, проводов, электрических розеток и токоведущих частей установок и приборов. А также, перед началом работы каждый работник проходит инструктаж по технике безопасности.

Компьютерный монитор управления установкой также является и источником статического электричества. Местами скопления статических зарядов, как правило, служит поверхность экрана монитора. Для уменьшения статического электричества на поверхности монитора следует раз в 6 часов протирать экран влажной материей.

На этапе заготовки образцов рабочий подвергается воздействию раскаленной титановой стружки в процессе резания титановых брусков. На этапе заготовки и предварительно обработки титановых образцов рабочий подвергается воздействию титановой пыли.



Во избежание попадания раскаленной стружки на кожу рабочий производит резание в специальном защитном халате и перчатках. Также для защиты от попадания стружки в глаза, он использует специальные очки

В дальнейшем воздействие этой пыли может привести к развитию профессиональных бронхитов, пневмоний, аллергических ринитов, бронхиальной астмы, пылевых заболеваний глаз и кожи.

Пыль может оказывать влияние на органы зрения, вызывать воспалительные процессы (конъюнктивиты), профессиональные катаракты, вызвать сильную сенсibiliзирующего действие на слизистую оболочку и роговицу глаза

Загрязняя кожные покровы, пыль оказывает раздражающее, сенсibiliзирующее и фотодинамическое действие (дерматиты, аллергические дерматиты и экземы, фотодерматиты открытых участков кожи). Проникновение пыли в сальные потовые железы вызывает нарушение потовыделительной функции кожи. Пыль может проявлять чисто механическое воздействие - острыми краями нарушать целостность слизистой оболочки верхних дыхательных путей, глаз.

На этапе заготовки образцов защитой от воздействия пыли служит устройство местной вытяжной вентиляции для удаления пыли непосредственно от места распиливания образцов.

В качестве абразивного материала используются алмазные суспензии различной концентрации, которые, в силу своей влажности, являются фактором, препятствующим распространению титановой пыли и стружки.

Установки "СОЛО" и модернизированная технологическая установка типа ННВ-6.6-И1, оснащенная плазмоденератором «ПИНК» являются источником широкополосных электромагнитных излучений: мягкого рентгеновского, ультрафиолетового, ближнего инфракрасного, радиочастотного диапазона, электростатических полей. Но в настоящее время внедрение последних достижений науки при производстве, позволяет значительно снизить уровень излучений. В частности использование экранных

фильтров и мониторов класса Low radiation позволяет снизить уровень радиации на 90-99 % по сравнению с обычными ЭЛТ.

То же касается и электромагнитного поля. Используемые дисплеи соответствуют стандарту MPR II, что гарантирует интенсивность излучения < 2,5 В/м, это в 10 раз ниже установленных норм.

Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы [СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03] приведены в табл. 6.

Таблица 22 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

<b>Наименование параметров</b>	<b>Допустимые значения</b>
<p>Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см. вокруг ВДТ по электрической составляющей должна быть не более:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц</li> <li>• в диапазоне частот 2 - 400 кГц</li> </ul>	<p>25 В/м 2,5 В/м</p>
<p>Плотность магнитного потока должна быть не более:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц</li> <li>• в диапазоне частот 2 - 400 кГц</li> </ul>	<p>250 нТл 25 нТл</p>
<p>Напряженность электростатического поля</p>	<p>15 кВ/м</p>

Допустимое значение напряженности электростатического поля = 20 кВ/м, но для большинства мониторов, стоящих в лаборатории, напряженность составляет около 30 кВ/м. Сегодня производители уделяют большое внимание решению этой проблемы.

Метеорологические условия (микроклимат), определяющие следующие параметры: температура воздуха в помещении; относительная влажность воздуха согласно СН, СанПиН. Так как эти параметры напрямую зависят от

габаритных размеров помещения, то сначала проведем анализ рабочего места, где проводилась разработка.

Рабочее место находится в помещении. Размеры которого характеризуется следующими габаритами: длина помещения – 6 м; ширина помещения – 4 м; высота – 3 м.

Следовательно, площадь лаборатории составляет  $18 \text{ м}^2$ , а объем –  $72 \text{ м}^3$ . В лаборатории находится 2 установки, следовательно, работающих в помещении в основном 2 человека. Исходя из этого, на каждого работающего приходится площадь в  $9 \text{ м}^2$  и объем  $36 \text{ м}^3$ .

Освещенность. Освещение лаборатории происходит как естественным, так и искусственным светом. Естественный свет попадает в помещение через оконные проемы, которых в лаборатории 2. Площадь проемов  $2,5 \text{ м}^2$ . Оконные проемы в лаборатории оборудованы регулируемыми устройствами - жалюзи.

Искусственное освещение происходит с помощью светильников типа ОДР, каждый светильник имеет по 4 лампы типа ЛБ-20. Светильники расположены равномерно по всей лаборатории в три ряда по четыре светильника в каждом ряду, создавая равномерное освещение рабочих мест.

Благодаря правильной организации рабочего места можно значительно уменьшить напряженность в работе, неблагоприятные нагрузки на организм и, следовательно, повысить производительность труда.

Согласно требованиям к производственным помещениям [СанПиН 2.2.4.548-96] объем производственного помещения на одного работающего должен составлять не менее  $20 \text{ м}^3$ , а площадь не менее  $6 \text{ м}^2$ . Отсюда можно сделать вывод, что размеры помещения соответствуют требованиям.

Проведя анализ габаритных размеров лаборатории, рассмотрим микроклимат в этом помещении.

В помещении осуществляется только естественная вентиляция посредством наличия легко открываемых оконных проемов (форточек), а также дверного проема. По зоне действия такая вентиляция является общеобменной. Основной ее недостаток заключается в том, что приточный воздух поступает в

помещение без предварительной очистки и нагревания. Согласно [СанПиН 2.2.2.542-96] объем воздуха необходимый на одного человека в помещении без дополнительной вентиляции должен быть более 40 м<sup>3</sup>. В нашем случае объем воздуха на одного человека составляет 40 м<sup>3</sup>, из этого следует, что дополнительной вентиляции не требуется.

Установки, стоящие в лаборатории требуют поддержания температуры и влажности воздуха в определенных пределах: от 22 до 25°С при влажности 60%, такой микроклимат благоприятен и для человека.

## **5.2 Экологическая безопасность**

Защита окружающей среды - это комплексная проблема, требующая усилий всего человечества. Наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий является полный переход к безотходным и малоотходным технологиям и производствам. Это потребует решения целого комплекса сложных технологических, конструкторских и организационных задач, основанных на использовании новейших научно-технических достижений.

Предприятия цветной металлургии являются источниками выбросов различных загрязняющих веществ в окружающую среду. Неблагоприятная экологическая ситуация усугубляется применением устаревших технологий и неэффективного очистного оборудования на многих заводах отрасли. Существующая технология производства цветных металлов связана с образованием значительных объемов отходящих газов, содержащих, главным образом, диоксид серы (более 80% суммарных выбросов). На выбросы оксида углерода и твердых веществ приходится 8-10%. С целью снижения воздействия выбросов диоксида серы на атмосферный воздух на предприятиях созданы мощности по выпуску серы и серной кислоты.

Кроме того, сам титан способен оказывать токсическое воздействие на растения и человека:

Растения. Высокие уровни содержания Титана вредны для растений. Так, подавление интенсивности фотосинтеза подсолнечника на 50 %

происходило при накоплении Титана в листьях растений до 63 мг/кг сухой массы.

Человек. Вдыхание паров метатитанатной кислоты и оксихлорида Титана вызывает полнокровие слизистой оболочки гортани, голосовых связок и трахеи с последующим рубцеванием и позднее наступающим ларингостенозом.

Рабочие, подвергающиеся влиянию пыли титана и его соединений, должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты органов дыхания. Рекомендуется использовать респиратор «Лепесток», при работе с хлоридом титана (IV) — противогаз. При работе с горячим раствором хлорида титана (IV) рабочие должны быть обеспечены перчатками и защитными очками.

Галогениды титана, попавшие на кожу, необходимо, не размазывая, удалить тампоном из ваты или промокательной бумагой, после этого тщательно промыть кожу проточной водой. При попадании в глаза необходимо тщательное промывание проточной водой при хорошо раскрытой глазной щели около 10 минут, либо изотоническим раствором хлорида натрия. При попадании внутрь — обильное питье жидкости, молока (по возможности с несколькими взбитыми сырыми яйцами). После рвоты — активированный уголь (Лудевиг, Лос).

С увеличением количества установок, внедряемых в производственную сферу, увеличится и объем потребляемой ими электроэнергии, что влечет за собой увеличение мощностей электростанций и их количества. И то и другое не обходится без нарушения экологической обстановки.

Рост энергопотребления приводит к таким экологическим нарушениям, как: изменение климата — накопление углекислого газа в атмосфере Земли (парниковый эффект); загрязнение воздушного бассейна другими вредными и ядовитыми веществами; загрязнение водного бассейна Земли; опасность аварий в ядерных реакторах, проблема обезвреживания и утилизации ядерных отходов; изменение ландшафта Земли.

Из этого можно сделать простой вывод, что необходимо стремиться к снижению энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять системы с малым энергопотреблением. В современных установках используются рабочие камеры все больших размеров, что позволит обрабатывать за один раз большее количество образцов, а следовательно и рабочее время установки. Стоит также отметить, что для снижения вреда, наносимого окружающей среде при производстве электроэнергии, необходимо искать принципиально новые виды производства электроэнергии.

### **5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

При эксплуатации модернизированной технологической установка типа ННВ-6.6-И1, оснащенной плазмогенератором «ПИНК» и установка «СОЛО» ввиду их работы от источника электрического тока и больших температур внутри рабочих зон может возникнуть такая чрезвычайная ситуация как пожар, вследствие короткого замыкания или нарушения целостности рабочих камер установок. Пожарная профилактика основывается на исключении условий, необходимых для горения, и использовании принципов обеспечения безопасности. При обеспечении пожарной безопасности решаются три задачи: предотвращение пожаров и загорания, защита людей и материальных ценностей, тушение пожаров. Пожарная безопасность обеспечивается предотвращением пожаров и пожарной защитой. Предотвращение пожара достигается исключением образования горючей среды и источников зажигания, а также поддержанием параметров среды в пределах, исключающих горение.

Предотвращение образования источников зажигания достигается следующими мероприятиями: соответствующим исполнением, применением и режимом эксплуатации машин и механизмов, устройством молниезащиты зданий и сооружений, ликвидацией условий для самовозгорания; регламентацией допустимой температуры и др.

Для устранения возможности пожара в помещении необходимо соблюдать противопожарные меры:

- 1) Ограничение количества горючих веществ.

- 2) Максимально возможное применение негорючих веществ.
- 3) Устранение возможных источников возгорания (электрических искр, нагрева оболочек оборудования).
- 4) Применение средств пожаротушения.
- 5) Использование пожарной сигнализации.
- 6) Содержание электрооборудования в исправном состоянии.
- 7) Использование плавких предохранителей и автоматических выключателей в аппаратуре. По окончании работ все установки обесточиваются.
- 8) Для электропаяльников использовать подставки из негорючего материала.
- 9) В помещении предусматриваются средства пожаротушения (огнетушители типа ОУ-2, пожарный инструмент, песок).
- 10) Курение в только отведенных для этого местах.
- 11) Содержать пути и проходы эвакуации людей в свободном состоянии.
- 12) Содержать средства пожаротушения в исправном состоянии.
- 13) Проводить раз в год инструктаж по пожарной безопасности.
- 14) Назначать ответственного за пожарную безопасность помещения.

Пожарная безопасность лабораторного помещения Института Сильноточной Электроники НИИ ТПУ, и лаборатории в частности, обеспечивается с помощью мер предотвращения пожара и системы пожарной защиты, таких как:

- 1) регулярно проводится инструктаж сотрудников и студентов,
- 2) разработан план безопасной эвакуации людей, приведенный,
- 3) существует автоматическая пожарная сигнализация и телефонная связь с пожарной охраной,
- 4) на каждом этаже предусмотрены огнетушители типа ОУ-2 и ящики с песком.

Пожар может возникнуть по причинам:

- 1) возникновение короткого замыкания в электропроводке;
- 2) возгорание устройств вычислительной аппаратуры из-за нарушения изоляции или неисправности самой аппаратуры;

3) возгорание мебели или пола по причине нарушения правил пожарной безопасности.

## **5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### **5.4.1. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

К рабочему месту оператора энергетической установки предъявляются следующие требования:

- 1) обеспечивать возможность удобного выполнения работ,
- 2) учитывать физическую тяжесть работ,
- 3) учитывать размеры рабочей зоны и необходимость передвижения в ней работающего,
- 4) учитывать технологические особенности процесса выполнения работ.

В качестве эргономических показателей рассмотрим рабочее место в лаборатории.

Рабочее место в лаборатории было оборудовано следующим образом: рабочая поверхность представляет собой компьютерный стол, позволяющий управлять модернизированной технологической установкой типа ННВ-6.6-И1, оснащенной плазмогенератором «ПИНК, с выдвижной поверхностью для клавиатуры. Высота рабочей поверхности над уровнем пола составляет 70 см. Глубина составляет 80 см, а ширина 60 см. Эти параметры соответствуют санитарным правилам и нормам, согласно. Компоненты компьютера (за исключением клавиатуры и манипулятора типа “мышь”) расположены на дальней половине рабочей поверхности. Таким образом, ближняя половина (размером в письменный стол), остается полностью свободной. На этой половине можно расположить бумаги, литературу и т.п. Нормальным положением клавиатуры является ее размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15 градусов. Для удобства клавиатура не связана жестко с монитором. Размещение клавиатуры соответствует стандартам - 10 см от края стола.



В качестве сиденья используется стул, рассчитанный на среднестатистического человека, который удовлетворяет минимальным требованиям среднего человека, ширина - 40 см, регулируемая высота, спинка.

Что касается монитора, то он должен располагаться на расстоянии 50-70 см от глаз, иметь подставку для регулирования наклона монитора [СанПиН 2.2.2.542-96]. Современные мониторы отвечают этим требованиям.

В пространстве с системой отображения информации различают три зоны. Зона А ( $\pm 15^\circ$ ), Б( $30^\circ$ ), В( $60^\circ$ ). В зоне А располагается наиболее часто встречающиеся объекты. Если говорить об операторе ЭВМ, то в эту зону у него попадает монитор. В зоне Б целесообразно было бы разместить документы - источники информации для ввода в ЭВМ. В зону В также попадает системный блок с индикацией о включенном питании и обращении к диску - нечасто используемая информация.

Производственная эстетика ставит своей целью создание благоприятной внешней трудовой обстановки, способствующей безопасности труда и более высокой его производительности, а также хорошему настроению работающих. В задачи производственной эстетики входит архитектурно-художественное оформление производственных помещений и территории предприятия .

Большое место в производственной эстетике занимает вопрос цветовой отделки производственных помещений. Проектирование цветового интерьера производственных помещений следует выполнять в соответствии с указаниями по проектированию цветовой отделки интерьеров производственных зданий промышленных предприятий [СН 181-70], в которых приведены таблицы для выбора цветовой гаммы для окраски интерьеров. При работе, требующей сосредоточенности, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветовые оттенки.

В лаборатории, где проводилась разработка, стены имеют белый цвет, пол светло-коричневый, потолок белый. В целом цвета подобраны удачно и позволяют создать требуемую рабочую обстановку.

Поверхности в лаборатории в своем большинстве имеют матовую основу, хотя трудно оценить числовые значения коэффициентов отражения. Исключение составляют экраны мониторов, но они установлены таким образом, чтобы свет из окон или свет искусственного освещения не создавал бликов.

## Заключение

Таким образом, сопоставляя результаты, выявленные при испытании технически чистого титана марки ВТ1-0 на твердость и износостойкость, можно отметить, что облучение материала интенсивным электронным пучком приводит к упрочнению тонкого поверхностного слоя титана, что сопровождается снижением коэффициента трения и, очевидно, повышением износостойкости. Экспериментально установить факт повышения износостойкости не удалось вследствие относительно малой толщины упрочненного слоя и малого времени его существования при трибологических испытаниях.

Таким образом, обработка поверхности высокоинтенсивными импульсными электронными пучками, позволяет реализовать комплексное воздействие на поверхность материала. А именно, (1) сверхбыстрое нагревание мишени, сопровождающееся плавлением и испарением поверхностного слоя материала и десорбцией газа с поверхности материала; (2) перемешивание поверхностного слоя материала вследствие гидродинамических процессов и образование рельефа на поверхности в расплавленном слое; (3) ионизация десорбированных газов и паров материала мишени с формированием плазмы и ионных потоков; (4) сверхбыстрое охлаждение поверхности, способствующее изменению элементного и фазового состава, дефектной субструктуры, прочностных, усталостных, коррозионных и других свойств поверхностного слоя материала.

На примере технически чистого титана марки ВТ1-0 выполнен сравнительный анализ результатов тепловых расчетов и структурно-фазовых исследований поверхностного слоя, облученного интенсивным импульсным электронным пучком при вариации плотности энергии пучка электронов и длительности импульса воздействия. Показано, что многократное уменьшение размеров зеренно-субзеренной структуры материала можно реализовать при высокоскоростном циклировании (5 циклов) через точку полиморфного  $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$  превращения, имеющем место при облучении титана электронным

пучком с параметрами 10 Дж/см<sup>2</sup>; 150 мкс, 5 имп., 0,3 с<sup>-1</sup>. В объеме сформированных таким образом зерен выявляется структура пластинчатого типа, характеризующаяся высоким уровнем кривизны-кручения кристаллической решетки.

Выявлено снижение степени шероховатости поверхности образцов технически чистого титана марки ВТ1-0, обработанных интенсивным электронным пучком. Показано, что после облучения при плотности энергии 25 Дж/см<sup>2</sup> уровень шероховатости по отношению к исходному образцу, подвергнутому механическому полированию, снижается в ≈20 раз.

В результате механических и трибологических испытаний технически чистого титана марки ВТ1-0 (проведены испытания на твердость и износостойкость) установлено, что облучение материала интенсивным электронным пучком приводит к упрочнению тонкого поверхностного слоя титана, что сопровождается снижением коэффициента трения и, очевидно, повышением износостойкости. Экспериментально выявить факт повышения износостойкости не удалось вследствие относительно малой толщины упрочненного слоя и малого времени его существования при трибологических испытаниях.

Таким образом, выполненные исследования механических и трибологических свойств поверхностного слоя технически чистого титана ВТ1-0, подвергнутого азотированию в плазме газового разряда низкого давления с использованием плазмогенератора «ПИНК», позволили выявить многократное снижение коэффициента трения (более чем в 4 раза), повышение износостойкости (более чем в 8 раза) и микротвердости (более чем в 3 раза). Показано, что увеличение прочностных и трибологических характеристик материала обусловлено насыщением кристаллической решетки титана атомами азота, формированием субзеренной структуры, выделением частиц нитрида титана Ti<sub>2</sub>N.

## Список публикаций

1. Шамиева А. Р., Кузичкин Е. Е.; Иванов Ю. Ф. Структура и свойства титана, подвергнутого азотированию в плазме газового разряда низкого давления //Функциональные материалы: разработка, исследование, применение: сборник тезисов докладов III Всероссийского конкурса научных докладов студентов, г.Томск, г.Тамбов, 26-27 мая 2015 г. — Томск; : Изд-во ТПУ , 2015 . — [С. 82] .

2. Кузичкин Е. Е., Шамиева А. Р., Иванов Ю. Ф. Модификация структуры и свойств технически чистого титана марки ВТ1-0 импульсным электронным пучком// Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник научных трудов VIII Международной научно-практической конференции. – Томск, 2016. – [с. 163] .

## Список цитируемой литературы

1. Лахтин Ю.М., Арзамасов В.Н. Химико-термическая обработка металлов. – М.: Металлургия, 1984. – 256 с.
2. Грибков В.А., Григорьев Ф.И., Калинин Б.А., Якушин В.Л. Перспективные радиационно- Лахтин Ю.М., Арзамасов В.Н. Химико-термическая обработка металлов. – М.: Металлургия, 1984. – 256 с.
3. пучковые технологии обработки материалов. – М.: Круглый год, 2001. – 528 с.
4. Ионно-лучевая и ионно-плазменная модификация материалов: Монография / К.К. Кадыржанов, Ф.Ф. Комаров, А.Д. Погребняк, В.С. Русаков, Т.Э. Туркебаев. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 640 с.
5. Будилов В.В., Коваль Н.Н., Киреев Р.М., Рамазанов К.Н. Интегрированные методы обработки конструкционных и инструментальных материалов с использованием тлеющих и вакуумно-дуговых разрядов. – М.: Машиностроение, 2013. – 320 с.
6. Модифицирование и легирование поверхности лазерными, ионными и электронными пучками / Под ред. Дж. Поута, Г. Фоти и Д. Джекобсона. - М.: Машиностроение, 1987. - 424 с.
7. . Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. - М.: МИСИС, 1999. – 416 с.
8. . Борисов Д.П., Коваль Н.Н., Щанин П.М. Устройство для создания низкотемпературной газоразрядной плазмы. Патент № 2116707. РФ. 27.07.1998.
9. . Борисов Д.П., Коваль Н.Н., Щанин П.М. Генерация объемной плазмы дуговым разрядом с накаливаемым катодом // Изв. Вузов. Физика. 1994. № 3. - С.115-120.
10. . Borisov D.P., Goncharenko I.M., Koval N.N., Schanin P.M. Plasma-Assisted Deposition of a Three-Layer Structure by Vacuum and Gas Arcs // IEEE Transactions on Plasma Science. - 1998. - Vol. 26, № 6. - P. 1680-1684.
11. Grigoriev S.V., Koval N.N., Devjatkov V.N., Teresov A.D. The automated installation for surface modification of metal and ceramic-metal materials and

products by intensive pulse submillisecond electron beam // Proc. 9th Intern. Conf. on Modification of Materials with Particle Beams and Plasma Flows. – Tomsk. – 2008. – P.19-22.

12. Интернет ресурс. Режим доступа: <http://www.drevniymir.ru/titan.html> / – свободный

13. Корягин С.И., Пименов И.В., Худяков В.К. Способы обработки материалов. - Калининград – 2000. – 46-52 с.

13. Интернет ресурс. Режим доступа: [http://www.fenestra.com.ua/stati/article\\_66.html](http://www.fenestra.com.ua/stati/article_66.html) / - свободный

15. Сиражев И.П., Применение титановых сплавов в авиационной промышленности. - М.: Машиностроение, 1974. - 4 с.

15. Интернет ресурс. Режим доступа: <http://www.npctitan.ru/VT1-00-VT1-0/> - свободный

17. Интернет ресурс. Режим доступа: <http://www.npctitan.ru/vt6.html> / - свободный

18. Хорев А.И. Сварочное производство. - Виам, 2009. -14-20 с.

19. Крапошин В.С. Термическая обработка стали и сплавов с применением лазерного луча и прочих прогрессивных видов нагрева // Итоги науки и техники. Металловедение и термическая обработка. – М.: ВИНТИ, 1987. – Т. 21. – С. 144–206. 15

20. Мартыненко Ю.В. Эффекты дальнего действия при ионной имплантации // Итоги науки и техники. Серия: Пучки заряженных частиц и твердое тело. - М.: ВИНТИ. - 1993. - Т. 7. - С. 82 - 112

21. Интернет ресурс. Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/247/2470091.html> / - свободный

22. Интернет ресурс. Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/241/2415964.html> / - свободный

23. Томас Г., Гориндж М.Дж. Просвечивающая электронная микроскопия материалов. – М.: Наука, 1983. - 320 с.

24. Хирш П., Хови А., Николсон Р. и др. Электронная микроскопия тонких кристаллов. М.: Мир, 1968. 574 с
25. ГОСТ 27674-88 Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения.
26. Сайдахмедов Р.Х. Ионно-плазменные покрытия на основе нитридов и карбидов переходных металлов с регулируемой стехиометрией. – Ташкент: Издательство «Фан» АН РУз. – 2006. – 190 с.
27. Интернет ресурс. Режим доступа: <http://www.zakonrf.info/tk/129/>. – свободный.
28. Видяев И.Г., Серикова Г.Н. Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие. - Томск:Изд-во ТПУ.-2014.-36с.
29. Котлер Ф., Бергер Р., Бикхофф Н. Стратегический менеджмент по Котлеру. Лучшие примеры и методы. - Альпина Паблишер.-2012.-143 с.
30. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;
31. ГОСТ Р 54578-2011 Воздух рабочей зоны. Аэрозоли преимущественно фиброгенного действия. Общие принципы гигиенического контроля и оценки воздействия
32. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)
33. Шум на рабочих местах, в помещениях, жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки;
34. СанПиН 2.2.2.542-96 Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации;
35. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение
36. Типовая инструкция по охране труда для пользователей персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ) в
37. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности



38. СанПин 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы ЭВМ