

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

Институт *физики высоких технологий*

Направление подготовки *Материаловедение и технологии материалов*

Кафедра *Материаловедение в машиностроении*

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Структура и трибологические свойства металлокерамических покрытий системы $Al_2O_3-Mo_2N$
УДК _____

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б21	Гордиевский Геннадий Викторович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший научный сотрудник	Гальченко Нина Константиновна	Кандидат технических наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры МЕН	Грахова Елена Александровна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Назаренко Ольга Брониславовна	Доктор технических наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2016 г.

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

Институт *физики высоких технологий*

Направление подготовки *Материаловедение и технологии материалов*

Кафедра *Материаловедение в машиностроении*

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Панин В. Е.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалавровской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Б21	Гордиевскому Геннадию Викторовичу

Тема работы:

Структура и трибологические свойства металлокерамических покрытий системы $Al_2O_3-Mo_2N$

Утверждена приказом директора ИФВТ

Приказ №3138/с от 22.04.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<i>Металлокерамические покрытия, нитриды молибдена, плазменное напыление, медная подложка, никелевый подслои.</i> <i>Работа в узлах трения машин и механизмов в широком диапазоне температур</i>
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none">1.) <i>Исследовать структуру, фазовый состав и свойства плазменных покрытий системы $Al_2O_3-Mo_2N$ в зависимости от содержания нитрида молибдена.</i>2.) <i>Определить зависимость адгезионной прочности от состава металлокерамических покрытий.</i>3.) <i>Изучить трибологические свойства покрытий.</i>

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
<i>Финансовый менеджмент...</i>	<i>Е.А. Грахова, ассистент кафедры МЕН, НИ ТПУ</i>
<i>Социальная ответственность</i>	<i>О.Б. Назаренко профессор, НИ ТПУ</i>
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Реферат	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	08.02.2016
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший научный сотрудник	Гальченко Нина Константиновна	Кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б21	Гордиевский Геннадий Викторович		

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

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

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 81 страниц, 14 рисунков, 25 таблиц, 44 источников.

Ключевые слова: шпинели, высокоэнтальпийные материалы, износостойкие покрытия, металлокерамические покрытия, плазменное напыление.

Объектом исследования являются металлокерамические покрытия, полученные плазменным методом.

Настоящая работа посвящена разработке плазменных покрытий, наносимых на медные изделия металлургического оборудования с целью повышения их износостойкости, исследованию влияния состава на структуру, фазовый состав и свойства покрытий, оптимизации составов, обладающих повышенным комплексом трибологических характеристик.

Исследованиями показано, что повышению адгезионной прочности плазменных покрытий способствует напыление высокоэнтальпийных материалов.

Экспериментально установлено, что использование нитрида молибдена в качестве одного из исходных компонентов напыляемой смеси позволяет обеспечить формирование покрытий из металлооксидной керамики без увеличения мощности плазматрона в процессе напыления.

Определен оптимальный состав металлокерамического покрытия, которое обладает высоким комплексом механических свойств.

Данные покрытия могут использоваться в узлах трения машин и механизмов при высоких температурах.

В будущем планируется проводить многочасовые отжиги для выращивания шпинелей и исследования их влияния на работу покрытий.

The Abstract

Final qualifying work consists of 81 pages , 14 figures, 25 tables , 44 sources.

Keywords: spinel, high-enthalpy materials, wear-resistant coatings, metal-coating, plasma spraying.

The object of the study are metal-ceramic coatings produced by plasma.

The present work is devoted to the development of plasma coatings deposited on copper products of the metallurgical equipment in order to improve their durability, the study of the effect of composition on the structure, phase composition and properties of the coatings, optimization of formulations having an increased complex tribological characteristics.

Studies have shown that improving the adhesive strength of the plasma spraying coating contributes to high-enthalpy materials.

It was established experimentally that the use of molybdenum nitride as one of the starting components of the mixture sprayed coating enables formation of ceramic low oxide plasmatron without increasing power during deposition.

The optimum composition of the cermet layer, which has high mechanical properties of the complex.

These coatings may be used in friction units and mechanisms at high temperatures.

In the future it is planned to spend many hours of annealing to grow spinels and study their impact on the work surfaces.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	9
1 АНАЛИЗ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛОВ	10
1.1 Защитные металлокерамические покрытия на основе тугоплавких окислов, полученные газотермическими методами.....	10
1.2 Керамика из окиси алюминия. Структура и свойства.....	13
1.2.1 Свойства композиционных металлокерамических плазменных покрытий в зависимости от состава металлической составляющей.....	15
1.2.2 Применение промежуточных слоев.....	16
1.3 Методы нанесения покрытий	17
1.4 Плазменные покрытия	19
1.5 Нитридо-плазменная технология	20
2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ. ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ	23
2.1 Постановка задачи исследования	23
2.2 Технологическое оборудование для напыления плазменным методом.....	24
2.3 Материалы эксперимента	25
2.4 Металлографический анализ	25
2.5 Испытание покрытий при трении в контактных парах.....	27
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	29
4.1. Оценка коммерческого потенциала проекта	29
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	29
4.1.2 SWOT-анализ	29
4.2. Планирование научно-технического исследования	30

4.2.1	Структура работ	31
4.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ	32
4.2.3	Разработка графика выполнения научно-технического исследования	34
4.3.	Смета затрат на разработку проекта	36
4.4.	Определение ресурсной и финансовой эффективности научно-технического исследования	41
4.4.1.	Анализ и оценка научно-технического уровня НТИ	41
4.4.2	Оценка рисков НТИ	43
	СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ	47

Введение

За счет многокомпонентности состава и интегрирования свойств различных компонентов возможно целенаправленно влиять на структуру и физико-механические свойства с целью повысить сопротивление покрытий к различным видам изнашивания при сохранении достаточно низкого коэффициента трения [1]. В последние годы интенсивно исследуются многокомпонентные покрытия на базе антифрикционного дисульфида, нитрида молибдена в сочетании с металлами, углеродом, кремнием или твердыми металлокерамическими соединениями типа TiN, CrC, TiB₂ и т.д. [2–9]. Известно, что MoN является хорошей альтернативой покрытиям из нитрида титана благодаря более высокой износостойкости и более низкому коэффициенту трения при повышенных температурах (400 – 500 °С) вследствие образования в зоне трибоконтакта оксида молибдена, играющего роль твердой смазки. Таким образом, получение многофазных композиционных покрытий, состоящих из твердой и самосмазывающей фаз, со способностью целенаправленного изменения фазового состава при нагреве является перспективным направлением в развитии упрочняющих технологий.

Анализ литературы позволяет сделать заключение о неоднозначной связи таких характеристик покрытий, как коэффициент трения, твердость и износостойкость [1–9]. Очевидно, что на трибологическое поведение и ресурс работы покрытия влияют также прочность сцепления покрытия с подложкой, характер изменения структуры и физико-механических свойств по глубине слоя, условия фрикционного взаимодействия в парах трения [1, 10, 11]. По указанным причинам стремятся, как правило, сформировать градиентно-слоистую структуру покрытий с целенаправленным выбором компонентного состава отдельных слоев. В данной работе продолжены ранее начатые исследования [12] и изложены результаты изучения физико-механических и трибологических свойств многокомпонентных покрытий на базе композиции **Al₂O₃-Mo₂N**.

1 АНАЛИЗ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

1.1 Защитные металлокерамические покрытия на основе тугоплавких окислов, полученные газотермическими методами

Проблема защиты металлов и сплавов от вредного воздействия окружающей среды является весьма актуальной. Многие задачи успешно решаются благодаря применению различных способов защиты конструкционных материалов. Одним из важнейших условий развития современной техники является разработка новых высокотемпературных материалов со специальными физическими и технологическими свойствами - огнеупорными, жаропрочными, жаростойкими, коррозионностойкими и др. для обеспечения различных областей техники высоких температур. Традиционные сплавы, например, на основе железа и никеля, уже не обеспечивают работоспособность многих узлов и деталей аппаратов в условиях возросших температур и давлений, действия особо агрессивных сред.

Принято считать, что наиболее перспективными являются оксидные покрытия, т.к. при высоких температурах они имеют значительно более высокую стойкость по сравнению с карбидами, боридами и нитридами [1]. Известно, что оксидные покрытия обладают рядом свойств, не присущих металлическим и другим видам керамических покрытий, - низкой теплопроводностью и электропроводностью. Большинство оксидов имеют высокую температуру плавления, твердость и износостойкость, наиболее универсальны в условиях эксплуатации и могут быть использованы как коррозионностойкие, жаростойкие, теплозащитные, электроизоляционные и износостойкие [2]. Благодаря невысокой стоимости ряда промышленных оксидов и их универсальным эксплуатационным свойствам, оксидная группа материалов получила особенно широкое применение в газотермических покрытиях. [1]

Для газотермических методов напыления оксидов важным является поведение напыляемых частиц при их нагреве и переносе. Поскольку высокая температура плавления оксидов и низкая теплопроводность затрудняют прогрев напыляемых частиц - лучше применять для нагрева плазменные струи с высокой энтальпией. Другой важной особенностью, связанной с нагревом напыляемых частиц, является диссоциация оксидов до низших субоксидов металла и кислорода. Например, при плазменном напылении с энтальпией струи на срезе сопла 28-30 кДж/г термодинамическая устойчивость оксидов по мере ее возрастания следующая: Cu_2O , Fe_2O_3 , Cr_2O_4 , Cr_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 , Al_2O_3 [1, 3] Здесь существует корреляция степени диссоциации с теплотой образования оксидов. Даже у оксидов с высокой термодинамикой имеется склонность к значительной диссоциации при температуре нагрева частиц, близкой к температуре плавления. Для этих целей применяют чистые оксиды, сплавы на их основе и механические смеси оксидов. В зависимости от метода газотермического напыления грануляцию порошков выбирают в пределах 10-80 мкм. Мелкодисперсные порошки применяют для газопламенного, детонационно-газового и некоторых других способов плазменного напыления.

При газотермическом напылении керамических покрытий образуются прочные химические связи в зоне контакта, что обуславливает выбор компонентов по химическому средству с учётом выбранной схемы взаимодействия, обеспечивая необходимую среду и контактную температуру. При нанесении оксидных материалов можно выделить следующие схемы воздействия:

- 1.) прямое взаимодействие металла с окислом;
- 2.) прямое взаимодействие окислов и других соединений керамических покрытий (шпинелей и т.д.) с окислами металлов с образованием химических соединений или твёрдых растворов с преобладанием какого-либо окисла;
- 3.) взаимодействие с образованием твёрдых растворов некоторых конструкционных металлов с осаждаемым окислом или компонентов окисного покрытия с металлом подложки.

Термическая устойчивость композитов, упрочнённых тугоплавкими оксидами определяется следующими факторами:

1- термодинамической устойчивостью самого оксида, которая тем выше, чем больше свободная энергия образования Гиббса ΔF . (Для оксидов эта величина во всем интервале температур получения и рабочих температур композитов в 1,5 - 2 раза выше, чем для нитридов, боридов и карбидов). Сами оксиды, вернее группы оксидов, по возрастанию их термической устойчивости могут быть расположены в следующий ряд: SiO_2 , $\text{TiO}_2 \rightarrow \text{Cr}_2\text{O}_3$, ZrO_2 , $\text{HfO}_2 \rightarrow \text{ThO}_2 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3$, R_2O_3 , RO_2 (R- редкоземельный (РЗМ)). Прямая корреляция между температурой плавления ($T_{\text{пл}}$) и энергией Гиббса оксидов отсутствует, хотя можно отметить, что $T_{\text{пл}}$ оксидов возрастает от 1930 - 2130К (первая группа) до 2570 - 3570К (третья группа). Исключение составляет Al_2O_3 из последней группы с довольно низкой $T_{\text{пл}}=2320$ К;

2 - низкой растворимостью стабильных оксидов в расплавах сплавов и интерметаллидной матрицы: оксиды в виде твердой или жидкой фазы (с большим поверхностным натяжением) оттесняются на периферию расплава материала матрицы (например, сплава никеля или алюминиды NiAl, Ni-Al), с которыми расплавы оксидов не смешиваются, образуя шлаки. Оксиды не склонны к диссоциации, поэтому поэлементное растворение маловероятно, так как растворимость кислорода в расплавах Ni, Ni-Al невелика. Это означает, что большую роль играет не только стабильность самого оксида, но и природа матрицы, свойства ее расплава, степень перегрева расплава выше $T_{\text{пл}}$ матрицы, диссоциация интерметаллида (ИМ) при перегреве расплава, результатом чего является повышенная активность не связанных в ИМ металлов;

Взаимодействие оксидов с W, Mo, Re и др. благородными металлами VIII группы минимально; несколько сильнее оно должно быть с Fe, Co, Ni и Cr;

В отношении развития диффузионных процессов в оксидах показано, что для Al_2O_3 характерна низкая скорость диффузии в них кислорода.[4].

Из представленного обзора видно, что наиболее широкое применение имеют плазменные покрытия из окиси алюминия, так как этот керамический

материал отличается химической стойкостью, высокой прочностью, хорошими тепло- и электроизоляционными свойствами и наряду с этим дешёв.

Ниже представлены данные о свойствах Al_2O_3 , который является одним из основных компонентов разрабатываемых в работе металлокерамических покрытий.

1.2 Керамика из окиси алюминия. Структура и свойства

Тугоплавкие окислы принадлежат к наиболее интересной группе высокотемпературных материалов. Они характеризуются стабильностью в окислительных средах, высокой температурой плавления, большой прочностью при сжатии; при низких температурах они хрупки. В производстве окислы являются основой керамических и огнеупорных материалов.

Оксид алюминия является одним из наиболее известных тугоплавких соединений. В условиях весьма высоких температур оксид алюминия используется как огнеупорный материал. Температура плавления окиси алюминия $T_{\text{пл}}=2050^\circ\text{C}$, а упругость паров в точке плавления не превышает 1 мм рт.ст. (133 н/м^2). Окись алюминия устойчива в сильно восстановительной среде вплоть до 1700°C , а в окислительной атмосфере ее можно использовать до 1890°C . Оксид алюминия существует в нескольких модификациях: α , γ и β - Al_2O_3 . Наиболее устойчивыми модификациями оксида алюминия являются α - Al_2O_3 (высокотемпературная) и γ - Al_2O_3 (низкотемпературная) [5, 6, 7]. В таблице 1 приведена минералогическая характеристика полиморфных модификаций глинозёма.

При газотермическом напылении, в зависимости от метода и режима процесс, в покрытии могут формироваться как γ - Al_2O_3 , так и α - Al_2O_3 [1,8,5,9].

Таблица 1 - Свойства кристаллических форм Al_2O_3

Модификация глинозёма	Кристаллическая решётка	N_g	N_p	Плотность, $г/см^3$	Поведение при нагревании
α	Гексагональная	1,768	1,760	4,0	Плавится при $2050^{\circ}C$
β		1,660-1,680	1,630-1,650	3,3-3,4	При $1600^{\circ}C$
γ	Кубическая	1,73	-	3,65*	Выше $1100-1200^{\circ}C$ переходит в $\alpha-Al_2O_3$

Формирование фаз при плазменном напылении покрытия из Al_2O_3 в зависимости от температуры поверхности приведено на рисунке 1. Одновременно увеличивается плотность напыленного оксида. Увеличение α -фазы в покрытии из Al_2O_3 существенно повышает их износостойкость. Из рисунка 1 видно, что с повышением T_H в покрытии растет количество фазы $\alpha-Al_2O_3$.

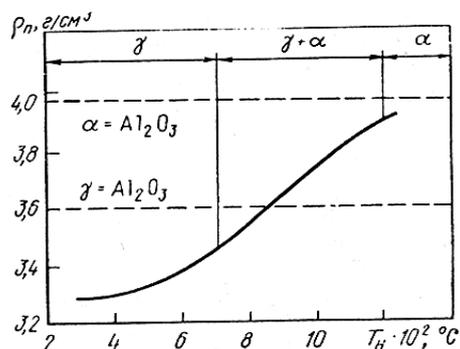


Рисунок 1 - Зависимость плотности ρ_n и фазового состава покрытий из Al_2O_3 от температуры напыляемой поверхности.

Оксид алюминия в виде α -формы устойчива при нагревании вплоть до температуры плавления и модификационных превращений не имеет. Температура плавления $\alpha-Al_2O_3$ составляет $2051^{\circ}C$, температура кипения равна $2707^{\circ}C$. Теплота образования окиси алюминия, по данным, приведенным в работах [5, 6], составляет 1590-1690 кДж/ (кг*С) соответственно.

Второй модификацией Al_2O_3 является γ -форма, которая в природе не существует. При нагревании до температуры выше $1100-1200^{\circ}C$ γ -фаза необратимо переходит в $\alpha-Al_2O_3$. Этот переход происходит медленно в температурном интервале и заканчивается примерно при температурах $1400-1450^{\circ}C$ [5]. Переход $\gamma-Al_2O_3$ в $\alpha-Al_2O_3$ сопровождается выделением $33,5$ кДж/кмоль [6]. Плотность хорошо выкристаллизованного $\gamma-Al_2O_3$ составляет $3,65$ г/м³ [6, 7], поэтому переход его в α -форму с плотностью 4 г/м³ происходит с уменьшением объема.

По данным работ авторов [7, 10, 11, 12] в температурном интервале $20-1000^{\circ}C$ средний коэффициент расширения Al_2O_3 составляет $8,5 \cdot 10^{-6}$ 1/С [12].

Термическая устойчивость оксида алюминия невысока. Образцы из Al_2O_3 в виде цилиндров диаметром 35 и высотой 50 мм выдерживают всего лишь $2-4$ теплосмены после нагрева при $800^{\circ}C$ и охлаждения в воде [11]. Потеря прочности после теплосмены $1350^{\circ}C$ -воздух составила 17% , а после теплосмены $850^{\circ}C$ -вода составила 50% [12]. Максимальный температурный перепад, приводящий к разрушению полого цилиндра, равен $235^{\circ}C$.

Покрyтия, полученные из чистых оксидов, не всегда удовлетворяют многочисленным эксплуатационным требованиям: электропроводности и теплопроводности, химической стойкости в активных средах, газопроницаемости. Наиболее распространенные для напыления покрытий - чистые оксиды (Al_2O_3 , ZrO_2 и др.) имеют фазовые превращения при высоких температурах.

1.2.1 Свойства композиционных металлокерамических плазменных покрытий в зависимости от состава металлической составляющей

Для уплотнения плазменных покрытий используют различные технологические приёмы, но чаще всего в основе лежит введение в их состав сравнительно легкоплавкой составляющей. Природа этой составляющей и способ её введения определяются главным образом назначением покрытия. Обычно, кроме уплотнения покрытия, эта составляющая способствует также

повышению прочности его сцепления с основой и улучшению защитных свойств.

Введение пластичного компонента в оксидные покрытия позволяет улучшить многие показатели: пластичность, адгезионную и когезионную прочность, пористость и др., при этом снижаются свойственные оксидным покрытиям тепло- и электроизоляционные характеристики. Часто в качестве пластичного компонента в оксидные покрытия вводят чистые металлы, сплавы или металлидные соединения, особенно терморреагирующие. Выбор пластичного компонента и его количество в оксидном покрытии зависит от многих факторов. В первую очередь необходимо учитывать эксплуатационные требования, предъявляемые к покрытиям. Особенно часто в оксидные покрытия вводят терморреагирующие порошки алюминидов, нихром, никель, хром, молибден и др. [13]

Металлическая связка из хрома. Свойствами, которые делают хром перспективным для использования при высоких температурах, являются его температура плавления ($T_{пл}=1875^{\circ}\text{C}$), превышающая примерно на 400°C температуру плавления никеля и кобальта, его относительно хорошее сопротивление окислению, а также низкая плотность ($7,2 \text{ гр/см}^3$) и сравнительно высокий модуль упругости ($29,4 \cdot 10^3 \text{ кг/мм}^2$). Кроме того, перспективность хрома определяется большими запасами его в природе.

Металлическая связка из молибдена. Молибден является жаропрочным материалом вследствие высокой его температуры плавления $T_{пл}=2610^{\circ}\text{C}$, относительно небольшой плотности ($10,22 \text{ гр/см}^3$), меньшей, чем у тантала, вольфрама и рения; высокого модуля упругости ($32,2 \cdot 10^3 \text{ кг/мм}^2$) и превосходной удельной прочности при высоких температурах. [14]

1.2.2 Применение промежуточных слоев

При восстановлении или упрочнении деталей нанесением износостойких покрытий из композиционных материалов на основе тугоплавких карбидов, боридов или оксидов металлов возникает необходимость в предварительном

нанесении на упрочняемую поверхность промежуточного подслоя (ПП). Роль ПП – в сглаживании коэффициента термического расширения (КТР) между материалами упрочняемого металла и наносимого покрытия.

1.3 Методы нанесения покрытий

Нанесение покрытий позволяет решить две технологические задачи. Первая состоит в направленном изменении физико-химических свойств исходных поверхностей изделий, обеспечивающих заданные условия эксплуатации, вторая – в восстановлении свойств поверхностей изделий, нарушенных условиями эксплуатации, включая потерю размеров и массы. Использование покрытий позволяет значительно повысить эксплуатационные характеристики изделий: износостойкость, коррозионостойкость, жаропрочность, жаростойкость и др. В настоящее время продолжается совершенствование и поиск новых методов нанесения покрытий. Изучение методов нанесения покрытий, их разновидностей; термодинамики процессов при создании покрытий различного типа на металлических и неметаллических поверхностях; строения, структуры и эксплуатационных свойств покрытий; основного оборудования для газотермического и электротермического нанесения покрытий на металлопродукцию.

Газотермическое напыление – это процесс нагрева, диспергирования и переноса конденсированных частиц распыляемого материала газовым или плазменным потоком для формирования на подложке слоя нужного материала.

Под общим названием газотермическое напыление (ГТН) объединяют следующие методы:

- газопламенное напыление,
- высокоскоростное газопламенное напыление,
- детонационное напыление,
- плазменное напыление,
- напыление с оплавлением,
- электродуговая

- металлизация,
- активированная электродуговая металлизация

При газотермическом напылении материал, который должен быть нанесен на поверхность детали, пластифицируется в источнике тепла и распыляется высокоскоростным потоком сжатого воздуха или струей газа. При ударе о шероховатую поверхность детали мельчайшие частицы, имеющие температуру, равную температуре плавления, деформируются и, внедряясь в поры и неровности детали, образуют покрытие.

Газопламенное напыление - наиболее доступный из методов газотермического напыления. Металлический либо полимерный порошковый, проволочный либо шнуровой материал подается в пламя ацетилен - кислородной либо пропан - кислородной горелки, расплавляется и переносится сжатым воздухом на поверхность изделия, где, остывая, формирует покрытие. Метод прост в освоении и применении, может применяться как в ручном, так и в автоматизированном режиме. Покрытия, полученные газопламенным напылением, отличаются пористостью в 2-10 %, могут обрабатываться резанием либо шлифованием.

Газопламенное напыление покрытий выполняют установками газопорошкового напыления из самофлюсующихся металлических порошков. Самофлюсованием называют самопроизвольное удаление оксидов с поверхности частиц покрытия при их оплавлении. Для этого оксиды должны иметь невысокую температуру плавления, небольшую плотность и высокую жидкотекучесть.

Напыление с оплавлением проводится как вручную, так и в автоматизированном режиме. Оплавление может производиться специализированными горелками (предпочтительно), стандартными ацетилен - кислородными горелками, в печи, либо индукционным методом

Плазменное напыление- процесс нанесения покрытия на поверхность изделия с помощью плазменной струи. Плазменный процесс состоит из трех основных стадий:

- генерация плазменной струи;
- ввод распыляемого материала в плазменную струю, его нагрев и ускорение;
- взаимодействие плазменной струи и расплавленных частиц с поверхностью изделия.

1.4 Плазменные покрытия

Плазменное напыление широко применяется в промышленности и позволяет наносить в чистом виде покрытия из тех веществ, которые не разлагаются при нагреве [15]. Это, прежде всего металлы и сплавы, тугоплавкие соединения (карбиды, бориды, нитриды, силициды, оксиды и их сочетания). Плазменным методом можно наносить также некоторые пластмассы.

В практике напыления используют как однородные порошки различных материалов, так и гетерогенные порошки сложной структуры - композиционные, а также их механические смеси. В последнее время всё большее распространение для плазменного нанесения покрытий получают композиционные порошки.

Наиболее важными физическими свойствами материалов, определяющими возможность их применения для нанесения защитных покрытий, являются температура плавления, плотность, коэффициент термического расширения, полиморфизм, кристаллическая структура, а также специфические свойства, которые задаются условиями эксплуатации покрытий: твердость, термостойкость, сопротивление воздействию газовых и жидких агрессивных сред, коэффициент излучения, эмиссионная способность.

Взаимодействие материала подложки и покрытия при напылении в каждом элементарном участке поверхности можно условно разделить на три последовательные стадии:

1. образование контакта, т.е. физического сближения атомов на расстояния, достаточные для химического взаимодействия;

2. активация и химическое взаимодействие атомов, приводящее к установлению между ними прочной химической связи;

3. релаксационные процессы (рекристаллизация, гетеродиффузия, образование новых фаз и т.д.) которые могут как повышать, так и снижать (в случае образования хрупких прослоек) прочность полученного соединения.

Недостатки способа плазменного напыления заключаются в том, что при введении используемой шихты в плазменную струю не обеспечивается возможность увеличения теплосодержания двухфазного плазменного потока в процессе нанесения покрытия при постоянной мощности плазмотрона, т.е. отсутствует эффект воздействия плазменной струи на напыляемый материал, приводящий к увеличению теплосодержания двухфазного плазменного потока. В связи с этим в настоящей работе рассматривается метод нитридо-плазменной технологии, позволяющий при формировании металлооксидных покрытий повышать прочностные свойства, устранять макродефектность структуры как всего покрытия, так и контактной зоны между покрытием и основой за счет введения в состав напыляемого порошка нитридов металлов, VI-VIII групп, [16].

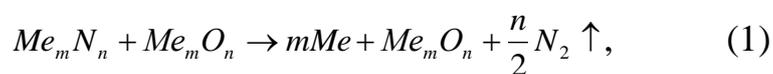
1.5 Нитридо-плазменная технология

Нитридо-плазменная технология относится к способам плазменного нанесения покрытий, и может использоваться в чёрной и цветной металлургии, машиностроении с целью восстановления и защиты поверхности изделий, подвергающихся в процессе их эксплуатации различным физико-механическим и физико-химическим воздействиям рабочей среды.

Известные способы получения покрытий плазменным методом имеют множество недостатков. Этот способ не обеспечивает формирование покрытий на основе металлооксидных композиций. [авт. св. СССР №1016910, МПК⁶ B22 F 9/16]. К тому же при введении используемой шихты в плазменную струю не обеспечивается возможность увеличения теплосодержания двухфазного плазменного потока в процессе напыления при постоянной мощности

плазмотрона, т.е. отсутствует эффект воздействия плазменной струи на напыляемый материал, приводящий к увеличению теплосодержания двухфазного плазменного потока [патент РФ №2112075, МПК⁶С 23 С 14/06, 4/10]. Таким образом, указанные недостатки ограничивают выбор исходных компонентов смеси, области применения и технологических возможностей способа нанесения плазменного покрытия.

Данный метод включает в себя, ввод в плазменную струю шихты и последующего напыления. В качестве шихты используют смесь порошков по крайней мере один из компонентов которой выбран из нитридов металлов, VI-VIII групп, в данной работе применяют нитрид молибдена - MoN. Нитридо-плазменная технология основана на использовании эффекта выделения тепловой энергии при рекомбинации атомов азота в молекулу на внешней и внутренней поверхностях твёрдых частиц в процессе разложения компонента смеси нитрида молибдена. При этом происходит выделение тепла химической реакции между компонентами смеси в плазменной струе, что приводит к увеличению теплосодержания двухфазного плазменного потока по реакции:



где $Me_m N_n$, - нитрид металлов VI-VIII групп;

$Me_m O_n$, - оксид металла; Me- металл.

Данные обстоятельства дают возможность выделить тепло в двухфазно-плазменном потоке, что обеспечивает нанесение плазменного покрытия из металлов оксидной керамики без увеличения мощности плазмотрона, а это приводит к достижению технического решения.

Известно, что для повышения качеств покрытий необходимо увеличить температуру или энтальпию напыляемых частиц. [18]

Нитриды металлов VI-VIII групп периодической системе при нагреве разлагаются с образованием атомарного азота, который рекомбинирует на внутренних и внешних поверхностях металла [19]. Энергия связи атомов в молекуле при этом составляет 112,9 ккал/моль [20]. При введении нитрида

молибдена в плазменную струю, последний разлагается с высокой скоростью, при этом выделяется тепло рекомбинации атомов азота в молекулу и увеличивается теплосодержание двухфазного плазменного потока с учётом затрат энергии на разложение MoN. Полное разложение происходит при 1500⁰C [21]. Следовательно, использование нитридов металлов VI-VIII групп, в частности - MoN в качестве исходного компонента смеси при плазменном нанесении покрытия обеспечивает повышение теплосодержания двухфазного плазменного потока.

2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ. ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Постановка задачи исследования

Разработка и получение высокотемпературных защитных покрытий для повышения жаростойкости деталей и узлов металлургического оборудования, работающих в широком диапазоне температур и в агрессивных средах, является актуальной задачей современного производства.

Известно, что металлокерамические покрытия, в том числе оксидные, при высоких температурах обладают рядом специфических свойств, позволяющих их использовать для надёжной защиты материалов. Наряду с положительными свойствами плазменные покрытия имеют отрицательные свойства: низкую адгезию, пористость, хрупкость и т.д.

Одним из наиболее эффективных путей повышения адгезионной прочности плазменных покрытий является использование в качестве одного из исходного компонента смеси высокоэнтальпийных материалов, например нитрида молибдена, что позволяет получить износостойкие, жаропрочные покрытия без увеличения мощности плазмотрона.[22]

При напылении оксидных покрытий одним из наиболее распространенных дефектов является отслаивание покрытий, что вызвано большой разницей в коэффициентах термического расширения оксидного покрытия и напыляемого изделия. Известно, что для частичного сглаживания температурного коэффициента линейного расширения и повышения адгезионной связи покрытия с подложкой применяют подслои [23-30]. В данной работе в качестве подслоя был выбран сплав Н85Ю15.

Плазмообразующий газ выбирают исходя из требуемой температуры потока, его теплосодержания, скорости и степени инертности к распыляемому материалу и защищаемой поверхности. При нагреве одноатомных газов теплосодержание определяется тепловым движением атомов и ионизацией, тогда как у двухатомных газов, помимо этого, дополнительным источником

запаса энергии является энергия диссоциации [31, 32]. Поэтому плазма двух- и многоатомных газов, по сравнению с одноатомными, содержит больше тепла при более низких температурах. Вследствие выделения энергии диссоциации при использовании двухатомного газа возрастает и количество тепла, передаваемого поверхности обрабатываемого изделия. В связи с этим в настоящей работе в качестве плазмообразующего газа был выбран: $Ar+N_2$.

Учитывая возможности плазменного метода и высокие физико-механические свойства оксидов, на основе которых в работе создавались покрытия, представлялось актуальным проведение исследований фазообразования, морфологических особенностей формируемой структуры и трибологических характеристик покрытий системы $Al_2O_3-Mo_2N$ в зависимости от концентрационного соотношения исходных компонентов.

Исходя из выше изложенного, в настоящей работе были поставлены следующие задачи

- 4.) Исследовать структуру, фазовый состав и свойства плазменных покрытий системы $Al_2O_3-Mo_2N$ в зависимости от содержания нитрида молибдена.
- 5.) Определить зависимость адгезионной прочности от состава металлокерамических покрытий.
- 6.) Изучить трибологические свойства покрытий.

2.2 Технологическое оборудование для напыления плазменным методом

Режимы напыления: $U=40V$, $I=400A$; плазмообразующий газ – смесь аргона с 10% азота; транспортирующий газ аргон; расход плазмообразующего газа – $2m^3/ч$; расход порошка – 60 г/мин; дистанция напыления – 100-120 мм; оборудование – плазменная установка УПУ – 8М и плазматрон ПП-25. Ввод порошка осуществлялся под срез сопла плазмотрона.

2.3 Материалы эксперимента

Для нанесения покрытия использовали смесь порошков исходных компонентов дисперсностью, менее 40 мкм, которую гранулировали гидростатическим прессованием с последующим дроблением и выделением фракции размером 65-100 мкм, следующих составов $Al_2O_3+(30,70\%) Mo_2N$. Рабочую поверхность напыляемой детали подвергали пескоструйной обработке, обезжировали и наносили плазменное покрытие. Покрытия наносили на подложки из меди, с промежуточным подслоем из сплава Н85Ю15.

2.4 Металлографический анализ

Структуру наплавов анализировали с помощью оптического микроскопа "AXIOVERT-200MAT" (Zeiss, Германия), микротвердомера ПМТ-3 (ГОСТ 9450-76) при нагрузках $P=50; 100$ гр. Для исследования микроструктуры покрытий приготавливались поперечные шлифы путем механического полирования на алмазных пастах.

Для выявления микроструктуры применяли химическое травление. В качестве травителя использовали реактив:

соляная кислота - 250 мл;

серная кислота - 35 мл;

вода - 100 мл.

Оценку структуры и послойный анализ образцов проводили методом рентгенографического исследования фазового состава на дифрактометре ДРОН-4 с применением характеристического излучения CuK_{α} . Химический состав - микрорентгеноспектральным анализом (МРСА) на установке «КАМЕВАХ-МИКРОБЕАМ» с локальностью анализа 1 мкм^2 . Содержание элементов в исследуемых фазах определяли путем пересчета относительных интенсивностей характеристических линий в образце и эталоне посредством стандартной программы "ON QANT", использующий метод коррекции ZAF. Точность количественного определения составляла $\pm 1,0\%$ [125 Рид С. Электронно-зондовый микроанализ. – Москва: Мир, 1079. – 423с.].

Испытания образцов с покрытиями на абразивную износостойкость

осуществляли в условиях не жесткозакрепленных абразивных частиц (ГОСТ 23.208-79) (кварцевый песок) с прижимным к ролику усилием $44,1 \pm 0,25$ Н. Следует отметить, что, кроме твердости, существенным является влияние на износостойкость формы абразивных частиц. Так, при переходе от корундового абразива, который имеет осколочную форму, к кварцевому, имеющему форму сферы, при изнашивании Ст.45 износостойкость изменяется в 10 раз. С увеличением твердости материала влияние формы абразива на значение относительной износостойкости возрастает.

Условия испытания материалов при изнашивании о нежесткозакрепленные абразивы (эталон - Сталь 45, отожженная, твердость MV 1,9-2 ГПа) приводятся ниже:

Размер образца, мм	30*30(50)*h
Размеры резинового ролика, мм	
диаметр	48÷59
ширина	15 ± 0,1
Свойства резинового ролика:	
твердость по ГОСТ 263-75	78÷85
относительное остаточное удлинение материала по ГОСТ 270-75	15÷20

Относительную износостойкость рассчитывали по следующей формуле (1):

$$K_n = (\Delta m_{\text{эталон}} \times \rho_{\text{образец}}) / (\Delta m_{\text{образца}} \times \rho_{\text{эталон}}), \quad (2)$$

где K_n – коэффициент относительной износостойкости; $\Delta m_{\text{э}}$, $\Delta m_{\text{и}}$ – потеря массы эталонного и испытуемого образцов, соответственно; $\rho_{\text{образец}}$, $\rho_{\text{эталон}}$ – плотность эталона и испытуемого материала. Отклонение потери массы образцов одного состава не выходило за пределы 5%.

Измерение плотности образцов. Важной характеристикой плазменных покрытий, подлежащей постоянному контролю, является плотность. Плотность, которая является косвенным показателем условий напыления и может служить,

с одной стороны, параметром оптимизации процесса, а с другой – непосредственно влияет на эффективность защитных свойств покрытия (стойкость изделия с покрытием к изнашиванию и коррозии), его тепло – и электропроводность, механические и другие характеристики. осуществляли гидростатическим взвешиванием: взвешивание образца на воздухе, взвешивание образца с проволокой на воздухе, взвешивание образца в воде в подвешенном состоянии на медной проволоке. Плотность определяли по формуле (2): [20]

$$\rho = P \times \frac{(P_{\text{ВОД}} - P_{\text{ВОЗД}})}{(P - Q) + P_{\text{ВОЗД}}} \quad (3)$$

2.5 Испытание покрытий при трении в контактных парах

Трибологические свойства образцов с покрытиями исследовали в паре трения (шар - ШХ15, SiC (d=1,5мм)) в различных температурных условиях по схеме «шар на плоскости». Испытания проводили на машине трения PC-ContolledHighTemperatureTribometerТНТ-S-AX0000 на образцах размером 10×10×6 мм с толщиной покрытий ~ 0,5 мм. Триботехнические свойства плазменных покрытий исследовали при нагрузке 6Н при температурах t=25⁰С. И 600⁰С Сущность метода состоит в том, что при одинаковых условиях прижимается шар к поверхности, который описывает трек диаметром d=2 мм, со скоростью V=8 см/сек; число оборотов составляет n=20000 об. Машина производила запись коэффициента трения в течении всего времени эксперимента.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Б21	Гордиевский Геннадий Викторович

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

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>- Потенциальные потребители результатов исследования; - SWOT-анализ проекта</i>
<i>2. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>- Планирование научно-технического исследования (цели и результат проекта, перечень работ, определение трудоемкости работ, построение графика работ) - Смета затрат на разработку проекта</i>
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта</i>	<i>- Анализ и оценка научно-технического уровня проекта; - Оценка рисков</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. График проведения и смета затрат
2. Диаграмма Ганта
3. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективностей работ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б21	Гордиевский Геннадий Викторович		

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Покрытия триботехнического назначения должны обеспечивать, с одной стороны, низкий коэффициент трения, определяемый малым значением сдвигового сопротивления, а с другой – достаточно высокую твердость и прочность поверхностного слоя, которые определяют сопротивление механическим видам разрушения и изнашивания. Лаборатория физической мезомеханики и неразрушающих методов контроля ИФПМ СО РАН занимается разработкой оптимального состава для напыления покрытий из $Al_2O_3 - Mo_2N$

Целью данного раздела является определение перспективности и успешности научно-технического исследования.

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

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

4.1. Оценка коммерческого потенциала проекта

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями данного исследования являются предприятия машиностроительной отрасли, расположенные на территории Российской Федерации и зарубежных стран, на предприятиях которых работают при больших трениях и высоких температурах.

Данный проект разрабатывался для того, чтобы детали работающие при больших трениях и высоких температур, сохраняли свою работоспособность большее количество времени.

4.1.2 SWOT-анализ

SWOT – (Strengths – сильные стороны, Weaknesses – слабые стороны, Opportunities – возможности и Threats – угрозы) - представляет собой

комплексный анализ исследования внешней и внутренней среды научно-технического исследования. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

SWOT – анализ проекта позволяет оценить факторы и явления, способствующие или препятствующие продвижению проекта на рынок. [21] Для анализа проекта составлена таблица 5.

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

Таблица 5 – SWOT–анализ проекта

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
С1.Металлокерамические упрочняющие покрытия очень востребованы; С2.Метод нанесения покрытия уникальный; С3.Возможность применения покрытий для различных отраслей машиностроения С4.Нет аналога методу нанесения покрытий С5.Наличие квалифицированного руководителя.	В1.Возможность использования на мировом уровне; В2.Использование во многих отраслях; В3.Адаптация метода под иностранные языки.
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
Сл1.Улучшение деталей для машиностроения; Сл2.Возможность появления нового метода для нанесения покрытий; Сл3.Отсутствие квалифицированных работников для применения концепции в различных отраслях.	У1.Возможность создания более качественных покрытий У2.Отсутствие спроса на метод нанесения покрытия; У3.Закрытие машиностроительных предприятий на территории РФ.

По полученным данным можно сделать следующие выводы, что возможности, совместно с сильными сторонами, благоприятствуют развитию спроса на исследованный метод. Возможные угрозы: возможность создания более лучшего состава покрытий и способа их нанесения.

4.2. Планирование научно-технического исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научно-технического исследования;

- определение участников каждого этапа работы;

- установление продолжительности работ;

- построение графика проведения научных исследований.

4.2.1 Структура работ

Трудоемкость выполнения НТИ оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Разделим исследование проекта на этапы, представленные в таблице 6.

Таблица 6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка задания на НТИ	1	Составление и утверждение задания НТИ	Гальченко Н.К. – руководитель; Гордиевский Г.В. – студент-дипломник.
Проведение НТИ			
Выбор направления исследования	2	Изучение метода нитридо-плазменного напыления и металлокерамических покрытий	Гордиевский Г.В.
	3	Выбор материала для проведения эксперимента	Гальченко Н.К., Гордиевский Г.В.
	4	Календарное планирование работ	Гальченко Н.К., Гордиевский Г.В.
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование проведения эксперимента по износу в паре трения, на адгезионную прочность	Гальченко Н.В., Гордиевский Г.В.
	6	Поиск необходимого оборудования	Гальченко Н.К., Гордиевский Г.В.
	7	Испытание образцов	Гальченко Н.К., Гордиевский Г.В.
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ полученных результатов	Гальченко Н.К., Гордиевский Г.В.
	9	Оценка эффективности полученных результатов	Гальченко Н.К., Гордиевский Г.В.
Оформление отчета по НТИ	10	Составление пояснительной записки	Гордиевский Г.В.

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

$$t_{ож\ i} = \frac{3 \times t_{min\ i} + 2 \times t_{max\ i}}{5},$$

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

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

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

Рассчитаем значение ожидаемой трудоёмкости работы:

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу:

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i},$$

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

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

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

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

$$T_{ki} = T_{pi} \times k,$$

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

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

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

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{T_{\text{кг}}}{T_{\text{кг}} - T_{\text{вд}} - T_{\text{пд}}},$$

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

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

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

Определим длительность этапов в рабочих днях и коэффициент календарности:

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

Тогда длительность этапов в рабочих днях, следует учесть, что расчетную величину продолжительности работ $T_{\text{к}}$ нужно округлить до целых чисел. Результаты расчетов приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Временные показатели проведения НТИ

№ работы	Исполнители	Продолжительность работ				
		t_{min} , чел.-дн.	t_{max} , чел.-дн.	$t_{\text{ож}}$, чел.дн.	$T_{\text{р}}$, раб.дн.	$T_{\text{к}}$, кал.дн.
1	Гальченко Н.К., Гордиевский Г.В.	1	3	2	1	2
2	Гордиевский Г.В.	14	32	22	22	28
3	Гальченко Н.К., Гордиевский Г.В.	5	13	9	3	6
4	Гальченко Н.К., Гордиевский Г.В.	3	13	7	3	5
5	Гальченко Н.К., Гордиевский Г.В.	9	24	15	8	13
6	Гальченко Н.К., Гордиевский Г.В.	3	15	8	3	6
7	Гальченко Н.К., Гордиевский Г.В.	6	16	10	6	8
8	Гальченко Н.К., Гордиевский Г.В.	2	12	7	4	6
9	Гальченко Н.К., Гордиевский Г.В.	3	15	8	4	6
10	Гордиевский Г.В.	3	6	5	4	6
ИТОГО						86

По данным таблицы 7 видно, что в исследовании для данной работы задействовано два человека (руководитель и студент-дипломник), а на выполнение НИИ требуется 86 календарных дней.

4.2.3 Разработка графика выполнения научно-технического исследования

В качестве графика можно использовать диаграмму Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в рамках таблицы 3 с разбивкой по месяцам и неделям (7 дней) за период времени всех работ. При этом работы на графике выделяются различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за тот или иной этап работы.

Таблица 8– Диаграмма Ганта

Этапы	Вид работы	Исполнители	T_k	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь		
1	Составление и утверждение задания НТИ	Гальченко Н.К., Гордиевский Г.В.	2							
2	Изучение метода нитридо-плазменного напыления и металлокерамических покрытий	Гордиевский Г.В.	28							
3	Выбор материала для проведения эксперимента	Гальченко Н.К., Гордиевский Г.В.	6							
4	Календарное планирование работ	Гальченко Н.К., Гордиевский Г.В.	5							
5	Планирование проведения эксперимента по износу в паре трения, на адгезионную прочность	Гальченко Н.К., Гордиевский Г.В.	13							
6	Поиск необходимого оборудования.	Гальченко Н.К., Гордиевский Г.В.	6							
7	Испытание образцов	Гальченко Н.К., Гордиевский Г.В.	8							
8	Анализ полученных результатов, выводы	Гальченко Н.К., Гордиевский Г.В.	6							
9	Оценка эффективности полученных результатов	Гальченко Н.К., Гордиевский Г.В.	6							
10	Составление пояснительной записки	Гордиевский Г.В.	6							

□ - руководитель, ■ - студент-дипломник.

4.3. Смета затрат на разработку проекта

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

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

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

Материальные затраты отражают стоимость приобретенных материалов и сырья, которые входят в состав вырабатываемой продукции, образуя ее основу, или являются необходимыми компонентами при изготовлении продукции. [18]

В данной работе использовались 2 образца состава $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}30\%\text{мас.Мо}_2\text{N}$ и 2 образца $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}70\%\text{мас.Мо}_2\text{N}$.

Стоимость 1 м² наждачной бумаги составляет 150 руб. Затраты на наждачную бумагу, при условии, что на исследование требуется 1 м², составили 150 руб.

Таблица 9 – Затраты на получение образцов

Стоимость 1кг материала, руб.	700
Вес образца, кг	0,1
Стоимость материала образцов, руб.	2000
Стоимость наждачной бумаги, руб.	120
Стоимость изготовления образца, руб.	1000
Общие затраты на получение образца, руб.	3820

Для проведения научно-исследовательской работы требуются следующие виды оборудования: плазменная установка УПУ-8М, весы ЛВР, установка для шлифования, микротвердомер ПМТ-3, микроскоп МИМ-9, компьютер.

Срок полезного использования каждого вида оборудования:

- 1) Плазменная установка УПУ-8М: 10 лет.
- 2) Компьютер – по третьей группе (техника электронно-вычислительная): 5 лет. [19]

Рассчитываем материальные затраты ($I_{\text{мат}}$). Результаты расчета сведем в таблицу 5.

$$I_{\text{мат}} = I_{\text{ам.исп.маш}} + I_{\text{ам.исп.вес}} + I_{\text{ам.исп.уст.шлиф}} + I_{\text{ам.микротив.}} + I_{\text{ам.микроск.}} + I_{\text{комп}}$$

$$I_{\text{мат}} = 3100000 + 2500 + 35000 + 46000 + 315000 + 50000 = 3548500 \text{ руб.}$$

Таблица 10 – Материальные затраты

Материалы и оборудование	Ед. изм	Срок службы, год	Кол-во материала, ед	Цена за ед, руб	Затраты, руб
Плазменная установка УПУ-8М	шт	10	1	3100000	3100000
Весы ЛВР	шт	7	1	2500	2500
Установка для шлифования	шт	10	1	35000	35000
Твердометр ПМТ-3	шт	10	1	46000	46000
Микроскоп МИМ-9	шт	10	1	315000	315000
Компьютер	шт	5	1	50000	50000
Итого:					3548500

Амортизация основных фондов – сумма амортизационных отчислений на полное восстановление основных производственных фондов, вычисленная исходя из их балансовой стоимости и утвержденных норм амортизации. Корректно при расчете затрат учитывать в году приобретения и в последующие годы только ту часть затрат, которая происходит от старения основных фондов в каждом году. [18]

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

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

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

365 дней – количество дней в году;

$K_{\text{обор}}$ – стоимость оборудования;

H_a – норма амортизации.

$$H_a = \frac{1}{T_{\text{с.с.обор}}}$$

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

$$\begin{aligned} I_{\text{ам.исп.маш}} &= \left(\frac{T_{\text{ам.исп.маш}}}{365}\right) \times K_{\text{исп.маш}} \times H_a = \left(\frac{1}{365}\right) \times 3100000 \times \left(\frac{1}{10}\right) \\ &= 849,3 \text{ руб.} \end{aligned}$$

$$I_{\text{ам.исп.вес}} = \left(\frac{T_{\text{м.исп.вес}}}{365}\right) \times K_{\text{исп.вес}} \times H_a = \left(\frac{1}{365}\right) \times 2500 \times \left(\frac{1}{7}\right) = 0,98 \text{ руб.}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{ам.исп.уст.шлиф}} &= \left(\frac{T_{\text{ам.исп.уст.шлиф.}}}{365}\right) \times K_{\text{уст.шлиф}} \times H_a = \left(\frac{1}{365}\right) \times 35000 \times \left(\frac{1}{10}\right) \\ &= 9,5 \text{ руб.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{ам.микротв.}} &= \left(\frac{T_{\text{ам.микротв.}}}{365}\right) \times K_{\text{микротв.}} \times H_a = \left(\frac{1}{365}\right) \times 46000 \times \left(\frac{1}{10}\right) \\ &= 12,6 \text{ руб.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{ам.микроск.}} &= \left(\frac{T_{\text{опт.микроск.}}}{365}\right) \times K_{\text{микроск.}} \times H_a = \left(\frac{1}{365}\right) \times 315000 \times \left(\frac{1}{10}\right) \\ &= 86,3 \text{ руб.} \end{aligned}$$

$$I_{\text{ам.комп.}} = \left(\frac{T_{\text{ам.комп.}}}{365}\right) \times K_{\text{комп.}} \times H_a = \left(\frac{110}{365}\right) \times 50000 \times \left(\frac{1}{10}\right) = 1506,5 \text{ руб.}$$

$$\begin{aligned} \sum I_{\text{ам.обор.}} &= I_{\text{ам.исп.маш}} + I_{\text{ам.исп.вес}} + I_{\text{ам.исп.уст.шлиф}} + I_{\text{ам.микротв.}} \\ &\quad + I_{\text{ам.микроск.}} + I_{\text{ам.комп.}} \end{aligned}$$

$$= 849,3 + 0,98 + 9,5 + 12,6 + 86,3 + 1506,5 = 2465,18 \text{ руб.}$$

Результаты расчета сведем в таблицу 11.

Таблица 11 – Затраты на амортизацию оборудования

Наименование оборудования	К _{обор} , руб.	Т _{исп. обор} , дней	И _{м.обор} , руб.
Плазменная установка УПУ-8М	3100000	1	849,3
Весы ЛВР	2500	1	0,95
Установка для шлифования	35000	1	9,5
Твердометр ПМТ-3	46000	1	12,6
Микроскоп МИМ-9	315000	1	86,3
Компьютер	50000	110	1506,5
Итого:			2465,18

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

В состав затрат на оплату труда включаются:

- выплаты заработной платы за фактически выполненную работу;
- выплаты стимулирующего характера по системным положениям;
- выплаты по районным коэффициентам;
- компенсации за неиспользованный отпуск;
- другие виды выплат. [20]

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

$$\Phi_{зп} = 40000 \text{ руб}$$

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

Единый социальный налог – 30%.

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

$$I_{\text{соц.отч.}} = \text{ЕСН} = 0,3 \times \Phi_{\text{зп}} = 0,3 \times 40000 = 10400 \text{ руб.}$$

Накладные расходы используют на следующее:

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

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

$$I_{\text{накл.расх.}} = 2 \times \Phi_{\text{зп}} = 2 \times 40000 = 80000 \text{ руб}$$

Прочие затраты – затраты, к которым относятся налоги, сборы, отчисления в специальные внебюджетные фонды, платежи по обязательному страхованию имущества, вознаграждения за изобретение и рационализаторские предложения, за подготовку кадров, оплата услуг связи и т.д. Эти затраты составляют 2% от всех издержек и вычисляются по формуле:

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

$$I_{\text{прочие}} = 0,02 \times (3548500 + 40000 + 2465,18 + 10400) = 72027 \text{ руб}$$

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

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

$$\begin{aligned} K_{\text{проекта}} &= 3548500 + 40000 + 2465,18 + 10400 + 80000 + 72027 \\ &= 3753392,18 \text{ руб.} \end{aligned}$$

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

$$\text{ПР} = 0,3 \times K_{\text{проекта}} = 0,3 \times 3753392,18 = 1126017,65 \text{ руб.}$$

Рассчитываем стоимость проекта (Ц):

$$\text{Ц} = K_{\text{проекта}} + \text{ПР} = 3753392,18 + 1126017,65 = 4879409,84 \text{ руб.}$$

В таблице 12 представлена смета затрат на НТИ.

Таблица 12 - Смета затрат на научно-исследовательский проект

Виды затрат	Обозначение	Сумма затрат, руб.
Материальные затраты	И _{мат}	3548500
Амортизация оборудования	И _{ам,обор}	2465,18
Затраты на оплату труда	ЗП	40000
Отчисления на социальные нужды	И _{соц.отч}	10400
Накладные расходы	И _{накл.расх}	80000
Прочие затраты	И _{прочие}	72027
Себестоимость проекта	К _{проекта}	3753392,18
Плановые накопления (прибыль)	ПР	1126017,65
Стоимость проекта (цена)	Ц	4879409,84

4.4. Определение ресурсной и финансовой эффективности научно-технического исследования

4.4.1. Анализ и оценка научно-технического уровня НТИ

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

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

Формула для определения общей оценки:

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

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

Таблица 13 - Весовые коэффициенты НТУ

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

Таблица 14 - Шкала оценки новизны

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

Таблица 15 - Значимость теоретических уровней

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

Таблица 16 - Возможность реализации по времени и масштабам

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

Расчет НТУ:

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

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

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

$$\text{НТУ} = 0,4*9+0,3*8+0,3*7+0,3*7 = 10,2.$$

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

4.4.2 Оценка рисков НТИ

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

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

Таблица 17 – Социальные риски

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

Таблица 18 – Экономические риски

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

Таблица 19 – Политические риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i \cdot w_i$
1	Смена власти	0	1	0,14	0
2	Угроза национализации	0	1	0,14	0
3	Отсутствие поддержки со стороны чиновников	50	5	0,72	36
	Итого		7	1	36

Таблица 20 – Технологические риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i \cdot w_i$
1	Возможность поломки оборудования	20	7	0,27	5,4
2	Низкое качество поставленного оборудования	20	8	0,31	6,2
3	Неправильная сборка оборудования	30	7	0,27	8,1
4	Опасность для работающего персонала и аппаратуры	30	4	0,15	4,5
	Итого		26	1	24,2

Таблица 21 – Научно-технические риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i \cdot w_i$
1	Развитие конкурентных технологий	70	7	0,20	14
2	Риск невозможности усовершенствования технологии	50	8	0,23	11,5
3	Получение отрицательного результата при внедрении производство	20	10	0,30	6
4	Несвоевременное патентование	20	9	0,27	5,4
	Итого		34	1	36,9

Таблица 22 – Общие риски

№ п/п	Риски	Ранг (P_i)	Вес (W_i)	Вероятность (v_i)	Общая оценка проекта ($w_i \cdot v_i$)
1	Социальные	5	0,2	32,3	6,46
2	Экономические	9	0,2	33,0	6,60
3	Политические	4	0,1	36,0	3,60
4	Технологические	10	0,2	24,2	4,84
5	Научно-технические	10	0,3	36,9	11,07
Итого		38			32,57

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

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

1. Согласно оценке коммерческого и инновационного потенциала НТИ, возможности, совместно с сильными сторонами, благоприятствуют развитию спроса. Одна из основных угроз – возможность создания наиболее экономически выгодной методики. На данный момент исследуемые образцы являются востребованными при нанесении покрытий.

2. При составлении календарного плана НТИ было рассчитано количество требуемых календарных дней работ – 86 дней, а для выполнения работ над НТИ задействовано 2 человека, а так же была использована диаграмма Ганта, позволяющая скоординировать план работ. Такое количество людей позволяет уменьшить время проведения НТИ.

3. Затраты на проведение НТИ, включая материальные затраты на закуп оборудования и образцов, затраты на оплату труда, отчисления на социальные нужды, накладные расходы и прочие затраты, составляет 3753392,18 рублей.

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

Таким образом при правильном и ответственном подходе к работе возможно избежать практически всех рисков.

Список публикаций

- 1) Гордиевский Г.В. Исследование структуры и триботехнических характеристик плазменных покрытий системы $Al_2O_3-Mo_2N$ при трении скольжения без смазки в интервале температур $25^{\circ}C - 600^{\circ}C$. Г.В. Гордиевский, В.П. Самарцев, Н.К. Гальченко // Материалы и технологии новых поколений в современном материаловедении. Сборник трудов международной конференции. – 2016. С. 169-173.