

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

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление 15.04.01 подготовки машиностроение
Отделение школы (НОЦ) материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Структура и механические свойства покрытий на основе нитрида титана с содержанием бора

УДК 621.793.661.55:546.82

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Соатов Далер Махмадуллоевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гончаренко Игорь Михайлович	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Старикова Екатерина Васильевна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Раденков Тимофей Александрович			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.04.01	Коростелева Е.Н.	к.т.н., доцент		

Томск – 2018 г.

ЗАПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП
15.04.01 «Машиностроение»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P1	Применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания для создания и обработки новых материалов
P2	Применять глубокие знания в области современных технологий машиностроительного производства для решения междисциплинарных инженерных задач
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с созданием и обработкой материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
P4	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных технологий обработки материалов, нано технологий, создания новых материалов в сложных и неопределенных условиях
P5	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования, на защите окружающей среды
Универсальные компетенции	
P6	Использовать глубокие знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P7	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, разрабатывать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
P8	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации

P9	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития
P10	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

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

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление 15.04.01 подготовки машиностроение
Отделение школы (НОЦ) материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Коростелева Е.Н.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ61	Соатов Далер Махмадуллоевич

Тема работы:

Структура и механические свойства покрытий на основе нитрида титана с содержанием бора	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе.	Образцы твердого сплава ВК8, катоды Cr, Zr, Ti, TiB ₂
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Классификация, свойства и методы получения жаростойкого покрытия TiB ₂ ; 2. Методики эксперимента; 3. Нанесение и исследования физико-механических свойств композитных покрытий TiN+TiB ₂ , ZrN+TiB ₂ , CrN+TiB ₂ , Cr+TiB ₂ .
Перечень графического материала	Презентация в формате Microsoft Power Point
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Старикова Екатерина Васильевна
Социальная ответственность	Раденков Тимофей Александрович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
ГЛАВА 1. ПРИМЕНЕНИЕ, СВОЙСТВА И МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЖАРОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ TiB ₂	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Гончаренко И.М.	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Соатов Д.М.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа представлена на 115 страницах, включает 24 иллюстраций, 28 таблиц, 36 источников литературы, 1 приложений.

Ключевые слова: износостойкие покрытия, диборид титана, вакуумно-дуговой разряд, магнетрон, микро-твердость, адгезия.

Объектом исследования является, сформирования магнетронным методом функционального покрытия TiB_2 , на подложке из ВК8 с имеющими переходными слоями.

Цель работы заключается в изучении влияния физико-механических характеристик материалов переходных слоев на свойства, формирования функционального слоя TiB_2 , полученным с помощью магнетрона. Проведения сравнительного анализа изменения значения твердости, адгезии жаростойкого покрытия TiB_2 , и переходных слоев, нанесенных на подложку из твердого сплава ВК8.

На полученных комбинированных покрытиях $\text{Cr} + \text{TiB}_2$, $\text{CrN} + \text{TiB}_2$, $\text{ZrN} + \text{TiB}_2$, $\text{TiN} + \text{TiB}_2$, определялось толщина, твердость, адгезия и химический состав наилучшего комбинированного покрытия.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

износостойкость: способность материала оказывать сопротивление износу в определенных условиях эксплуатации или лабораторного испытания.

Вакуумно-дуговой метод нанесения покрытий: это физический метод нанесения покрытий в вакууме, с помощью конденсации на подложку материала из плазменных потоков, возникающих на катоде-мишени в катодном пятне вакуумной дуги.

Магнетронный метод нанесения покрытий: это физический метод нанесения покрытий в вакууме, с помощью конденсации на подложку материала из плазменных потоков, возникающих на катоде-мишени в результате распыления катода в тлеющем разряде.

адгезия: сцепление поверхностей разнородных твёрдых или жидких тел.

В данной работе применены следующие обозначения и сокращения:

ГЦК – гранецентрированная кубическая решетка;

PVD – метод физического осаждения;

CVD – химическое осаждение из газовой фазы;

РФА- рентгенофлуоресцентный анализ;

КМ – композиционный материал;

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	11
ГЛАВА 1. ПРИМЕНЕНИЕ, СВОЙСТВА И МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЖАРОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ TiB_2	12
1.1 Проблемы, возникающие в зоне контакта режущего инструмента с покрытием и заготовкой	12
1.2 Жаростойкие покрытия и их требования	14
1.3 Свойства материала TiB_2	16
1.4 Методы формирования функционального слоя	18
1.4.1 Методы PVD нанесения покрытий	19
1.4.2 Генераторы плазмы на основе магнетронного разряда	20
1.5 Постановка задачи и цели работы	23
ГЛАВА 2. ОБОРУДОВАНИЯ, ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ	24
2.1 Материалы переходных слоев и образцов	24
2.2 Оборудование для нанесения подслоев и функционального слоя	25
2.2.1 Установка ННВ-6,6	25
2.2.2 Конструкция и принцип действия установки ННВ-6,6	26
2.2.3 Электродуговой испаритель	31
2.2.4 Магнетронная распылительная система	32
2.3 Методы исследования физико-механических свойств покрытий	35
2.3.1 Твердость покрытий	35
2.3.3 Адгезия	37
2.4 Методика рентгенофлуоресцентного анализа	39
ГЛАВА 3. НАНЕСЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ	39
3.1 Формирования на поверхности режущих пластин переходных слоев из соединения различного состава	39
3.2 Формирования функционального слоя TiB_2	44
3.3 Физико- механические характеристики полученных покрытий	47
3.3.1 Твердость переходных и функциональных слоев	47
3.3.2 Толщина полученных покрытий	48
3.3.3 Измерение стойкости полученных композитных покрытий	49
3.4 Элементный состав композита $TiN+TiB_2$	51
ГЛАВА 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	54

4.1 Предпроектный анализ. Потенциальные потребители результатов исследования	55
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	56
4.1.2 SWOT-анализ	58
4.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации	60
4.1.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	61
4.2 Инициация проекта	62
4.3 Планирование управления научно-техническим проектом.....	64
4.3.1 Иерархическая структура работ проекта	64
4.3.2 Контрольные события проекта	65
4.3.3 План проекта	65
4.3.4 Бюджет научного исследования	68
4.3.5 Матрица ответственности	71
4.3.6 Реестр рисков проекта	71
4.3.7 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	72
ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	76
5.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	77
5.1.1 Шум на рабочем месте	77
5.1.2 Вибрации на рабочем месте	79
5.1.3 Вредные вещества.....	80
5.1.4 Микроклимат на рабочем месте.....	81
5.1.5 Электромагнитное излучение на рабочем месте.....	83
5.2 Освещение на рабочем месте	84
5.2.1 Расчет искусственного освещения.....	85
5.3 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды	88
5.3.1 Давление.....	88
5.3.2 Электрический ток.....	89
5.3.3 Статическое электричество	92
5.4 Пожаробезопасность на рабочем месте	94
5.5 Охрана окружающей среды	95
5.6 Защита в ЧС.....	96

5.7 Организационные защитные мероприятия	97
5.8 Меры по технике безопасности на рабочем месте	97
5.8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	98
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	99
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА	101
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	102
Приложение «А»	105

Введение

Сплавы из титана обладают некоторыми свойствами, которые привели их к активному использованию в авиационной технике, где необходимо получать конструкции имеющие наиболее легкий вес с сочетанием с необходимой прочностью. Титановые сплавы по сравнению с другими сплавами обладают меньшим весом, при этом сплавы могут работать в средах с повышенной температурой. Из титановых сплавов изготавливают обшивку, детали шасси, детали крепления, различные агрегаты. Также данные материалы применяют в конструкциях авиационных ракетных двигателях. Что позволяет снизить массу двигателей примерно на 15-25%.

Сегодня половина титана, произведенного в мире, потребляется авиакосмической промышленностью. Причем уже в ближайшее десятилетие ожидается удвоение показателя. Широкое внедрение титана в самолетостроение успешно решает требование снижения веса конструкции. Широкое применение в авиастроительной промышленности композиционных материалов (КМ) (например, углепластиков) требует применения титана, т.к. он намного лучше алюминия соединяется с КМ и на 60% увеличивает жизнь летательных аппаратов. К высокой прочности добавляется и свойство незначительных деформаций при температурных изменениях, что повышает размерную стабильность конструкций.

Многие свойства сплавов титана делают их привлекательными для изготовления деталей, но также эти свойства создают проблемы при обработки данных сплавов. Основные проблемы при обработке титана – это большая склонность его к налипанию и задиранию, низкая теплопроводность, а также то обстоятельство, что практически все металлы и огнеупорны растворяются в титане, в результате чего представляет собой сплав титана и твердого материала режущего инструмента. Такая обработка вызывает быстрый износ режущей пластины инструмента. А основную долю деталей из титановых сплавов в авиастроении получают механообработкой. Поэтому

совершенствования режущих поверхностей инструмента, а именно повышения свойств поверхности режущей части инструмента нанесением тонких, жаростойких, износостойких покрытий, для обработки титановых сплавов является актуальной темой.

Таким образом, целью данной выпускной квалификационной работы является получение и исследование эксплуатационных свойств износостойких мультислойных покрытий на основе нитрида титана с содержанием бора, осажденных методом магнетронного распыления в условиях высокого вакуума. Особенностью покрытия нитрид титана с содержанием бора является ее высокая твердость, высокая температура плавления, стойкость к абразивному износу.

ГЛАВА 1. ПРИМЕНЕНИЕ, СВОЙСТВА И МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЖАРОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ TiB₂

1.1 Проблемы, возникающие в зоне контакта режущего инструмента с покрытием и заготовкой

По сравнению с другими материалами, механическая обработка титановых сплавов требует более высоких требований и имеет множество ограничений. Сплавы из титана обладают некоторыми свойствами, которые способны значительно влиять как на процесс резания, так и на материал, который подвергается резанию.

Свойства титановых сплавов, сказанными ранее, в процессе обработки отрицательно сказываются на режущую часть инструмента. Они приводят к вибрациям при обработке и ведут к быстрому износу режущих частей инструмента. Кроме этого, титан сплавы плохо проводит тепло. Это значит, что при высокоскоростной обработке титановых сплавов, высокие температуры, возникающие в зоне контакта инструмента и обрабатываемого изделия, приходится на стружку, и тепло с зоны практически не уходит.

Поэтому обработка титана требует от инструмента высокой красностойкости [2,3,4,5,6].

Одно из отрицательных явлений при обработке титановых сплавов является явление когда при высокотемпературных условиях созданных в результате высокоскоростного резания, частицы, атомы титана диффундируются в состав режущего инструмента (рис. 1.1), например, если использовать в качестве режущего инструмента режущие пластины из твердого сплава ВК, то титан будет диффундироваться в кобальтовую связку это приведет к интерметаллическому соединению титана и кобальта, что твердость такого соединения будет выше твердости связующего материала, и приведет к потере свойств связующего материала, в результате чего инструмент выкрашивается. Так же упрочняется поверхность титановых сплавов, что способствует существенному затоплению режущего инструмента. Это объясняется тем, что содержание углерода более чем две десятых процента способствует образованию карбидов титана, которые действуют на режущую кромку инструмента как абразив и затупляют её [4,5,6].

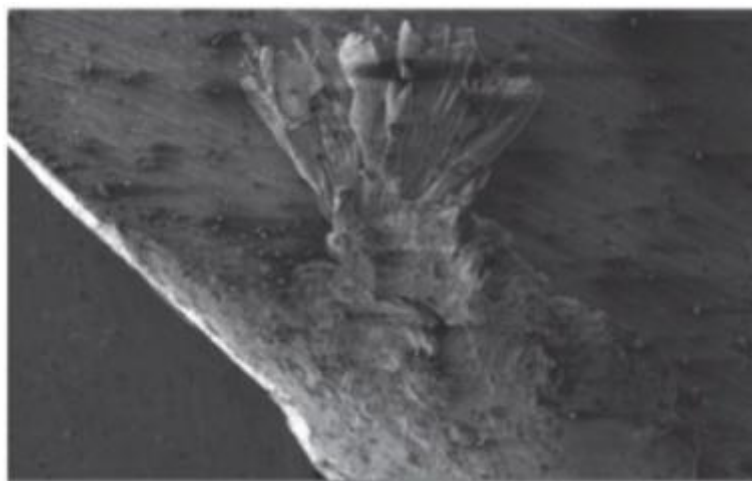


Рис. 1.1 Нарост-образование на режущем инструменте

Поэтому большое значение при обработке титана приобретает правильный выбор материала режущего инструмента с жаростойким покрытием. Решением этой проблемы является использование пластины с защитным покрытием полученными методами PVD или CVD, которые

способны существенно повысить эффективность режущей кромки пластины [7].

1.2 Жаростойкие покрытия и их требования

В качестве материала режущего инструмента для обработки деталей, тугоплавких материалов, обрабатываемых при 800 — 1100°C, наибольшее применение находят твердые сплавы с содержанием вольфрама с последующим нанесением жаростойкого покрытия.

Жаростойкость — общий термин, характеризующий способность материала сопротивляться химическому разрушению при высоких температурах. Жаростойкие покрытия обычно предназначаются для защиты от газовой коррозии никелевых жаропрочных сплавов, которые используют для изготовления деталей энергетических машин, работающих при высоких температурах и больших нагрузках. Жаростойкими покрытиями защищают весьма дорогостоящие детали ответственных энергетических машин. Успешное применение покрытий дает большой экономический эффект.

Можно сформулировать следующие требования, предъявляемые к жаростойким покрытиям [16,17]:

1. Жаростойкие покрытия должны обеспечивать защиту напряженных деталей от газовой коррозии при температурах 1000—1150°C в условиях циклического изменения температуры и наличия вредных примесей в продуктах сгорания топлива. Важнейшее требование, предъявляемое к жаростойким покрытиям - их долговечность. Для этого, с точки зрения длительной сопротивляемости окислению, они должны быть сравнительно толстыми и стабильными.

2. Покрытия должны характеризоваться минимальной скоростью диффузионного обмена с подложкой для того, чтобы защитные свойства покрытия в процессе эксплуатации не изменялись быстро. Стабильность покрытия важна и из соображений высокой сопротивляемости ползучести и разрушению защищаемого материала.

3. Покрытие должно обладать достаточной пластичностью и прочностью для того, чтобы оно не растрескивалось под влиянием термических и механических ударов и не оказывало отрицательного влияния на прочность защищаемой детали. Последнее достигается в том случае, если прочностные свойства покрытия и подложки близки. Обычно жаростойкие покрытия обладают меньшей прочностью, чем защищаемый материал, поэтому, когда толщины покрытия и детали оказываются сравнимыми, то покрытие, как правило, оказывает отрицательное влияние на жаропрочность материала детали. Из этих соображений покрытие должно быть достаточно тонким.

4. Для деталей газотурбинных установок большое значение имеет эрозионная стойкость покрытий, так как поверхность таких деталей подвергается действию мелких твердых частиц, засасываемых в газоздушный тракт двигателя. Поэтому покрытия должны обладать высокой твердостью.

5. Технология нанесения покрытия должна быть устойчивой, т.е. небольшие отклонения от средних характеристик режима нанесения не должны оказывать существенного влияния на состав и толщину покрытия. Технология должна включать надежные методы контроля состава, толщины, сплошности, адгезии покрытия к подложке, характеристик покрытия, которые определяют его долговечность и влияние на прочность защищаемой детали.

6. Затраты на нанесение покрытия должны окупаться при эксплуатации деталей с покрытиями прежде всего за счет увеличения срока службы деталей.

7. Покрытие должно быть таким, чтобы было возможно полное удаление поврежденного покрытия и нанесение нового [18,19].

Основываясь на все эти требования предъявляемых к жаростойким покрытиям. Наиболее выгодным материалом защитного покрытия для режущих пластин из твердых сплавов является соединение TiB_2 .

1.3 Свойства материала TiB_2

TiB_2 является композиционным материалом кристаллическая решетка которого состоит из смеси шестиугольной структуры, где атомы бора формируют ковалентную связующую сеть в матрице Ti (рис. 1.2) [20].

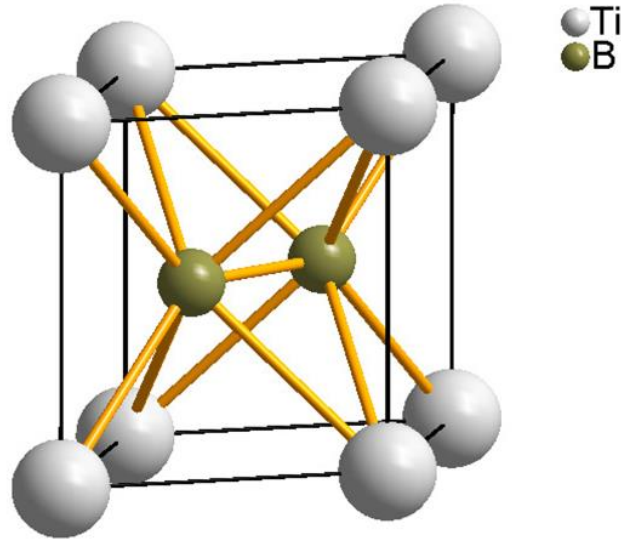


Рис. 1.2 Кристаллическая решётка соединения TiB_2

По сравнению с другими композиционными материалами соединение TiB_2 имеет высокую электропроводность и теплопроводность, за счет множества подвижных электронов. В таблице 1.1 представлены некоторые основные свойства TiB_2 , такие как высокая объемная твердость и модуль упругости. TiB_2 так же является материалом обладающими высокотемпературными свойствами, как например, сохранения твердости при максимальных температурах применения материала (согласно [21] твердость TiB_2 при 600°C составляет около 32% от своей первоначальной твердости по сравнению с 24 % для олова) и хорошей химической стойкостью. Особенно против жидкого алюминия, TiB_2 , как известно, превосходит большинство других керамических материалов с учетом химической стойкости [22,23].

Таблица 1.1 Свойства материала TiB_2 (при комнатной температуре)

[24.25]

Свойства	Значения
Параметр решетки	a/c 3.028/3.228
Плотность, г/см ³	4,5
Температура плавления °C	3225
Твердость по Виккерсу ГПа	30
Коэффициент термического расширения 10 ⁶ К ⁻¹	7,8
Модуль Юнга кН/мм ³	560

Керамическое соединение с высокой горячей твердостью и химической стойкостью, конечно, представляет большой интерес в качестве защитного покрытия, так как в некоторых применениях формовочных инструментов обе эти характеристики могут уменьшить износ и трение. Кроме того, исключительнейшая инерционность против алюминия делает TiB₂ очень интересным для применений обработки алюминиевых сплавов.

Много из этих сплавов также имеют высокое количество трудных врезанных частиц, т. е. окисей и карбидов, которые могут строго поцарапать, режущую поверхность инструмента. Считается, что этот износ также уменьшается при использовании жестких пленок TiB₂, которые не легко поцарапать.

Покрyтия TiB₂, как одиночные слои или как компонент в multilayers, были произведены ДС магнетронное распыление с начала 90-х годов, см., например, ссылках [26-28]. Однако, насколько известно автору, Kennametal Inc. единственная коммерческая компания инструмента, которая предлагает продукты покрытые с TiB₂. В их случае, они рекомендуют применять это покрытие для высокоскоростной механической обработки начиная с цветных материалов закачивая мягких/липких алюминиевых сплавов. Эта ограниченная делает покрытий TiB₂ востребовательным и является решением проблем, связанных с осаждением этого материала в качестве защитного покрытия.

1.4 Методы формирования функционального слоя

Наиболее распространенными методами нанесения покрытия, являются методом физического осаждения паров (PVD), либо методом химического осаждения паров (CVD). Покрытия, изготовленные этими методами, получаются относительно тонкими. PVD покрытий, как правило, в диапазоне 1-5 м, в то время как покрытия CVD, как правило, несколько толще (4-20 м). Для повышения износостойкости режущих частей инструмента, применяют износостойкие покрытия такие как нитрид титана, олова, титана, карбонитрид, $Ti(c,N)$, а также нитрид алюминия и титана, $(Ti,Al)N$, являются наиболее распространенным покрытием PVD материалов. Иногда добавляются такие элементы, как Zr, Nb и Cr. Покрытия CVD состоят из олова, $Ti(C,N)$, TiC , и глинозема, Al_2O_3 , но элементы как Zr и Hf могут быть добавлены также к покрытиям CVD.

Еще одно различие между методами PVD и CVD является технология температуры осаждения; PVD, как правило, осаждается при 300-600°C, а температура осаждения в CVD покрытием обычно намного выше, как правило 1000°C. В последнее время, среди CVD методов стала очень популярной, MTCVD, где температура осаждения находится в пределах 700-900°C. Возможность использования более низких температур осаждения с PVD открывает возможность осаждения покрытий на подложке в широкий спектр материалов.

Главное преимущество нанесения покрытий методом CVD заключается в способности равномерно осаждения защитного слоя на изделия имеющей сложную геометрию. PVD больше из метода "линии визирования" в виду того, что быть в зависимости от тарифа низложения ориентация поверхности по отношению к потоку низложения. В случае нанесения на инструмент имеющее поверхностное упрочнение цементированным карбидом (CC), преимущество имеет метод PVD, так как данным метод сохраняет хрупкий р-участок в интерфейсе между покрытием и подложкой. Однако, в настоящее время

сохранение η -фазы удастся избежать за счет правильного расчёта субстратов или использовать процесс MTCVD [29].

Другое преимущество метода PVD дает возможность стабилизировать участки имеющие поверхностные напряжения, т. е. материальные составы или участки, которые термодинамически не стабилизированы. Третье важное преимущество метода PVD - возможность контролировать остаточное напряженное состояние покрытия. На практике, это используется для того, чтобы придать выгодное остаточное напряжение подложки и покрытие. Например, в системе СС-подложек с покрытием $\text{TiN/TiC/Al}_2\text{O}_3$ полученными CVD, напряженное состояние покрытия всегда растяжная. Если такие же материалы получить с PVD, то напряженное состояние покрытия может быть выборочным.

1.4.1 Методы PVD нанесения покрытий

Коммерчески предприятия используемые методы PVD которые основаны такими методами как испарение электронного луча, катодный испарение дуги или магнетронное распыление.

В связи с постоянно растущими потребностями в сокращении производственных затрат были разработаны новые виды покрытий: как покрытия из новых материалов, так и покрытия из ранее использовавшихся лакокрасочных материалов, но с измененной микроструктурой. Примерами первых являются $(\text{Ti,Al})\text{N}$ и CrN , а последних-функционально-градуированные покрытия (например, разнообразный химический состав по всему покрытию) и многослойные покрытия (т. е. покрытия, полученные путем попеременного выращивания двух или более химически и/или механически различных материалов, образующих слоистую структуру). В литературах найдено, что многослойные покрытия, имеют улучшенные механические и трибологические свойства, высокую твердость, повышенная

трещиноватость, износостойкость при работе на истирание, по сравнению с однородными покрытиями [30-31]

Сегодня многие научные группы занимаются производством нанокompозитных покрытий. Они показали высокие результаты физико-механических свойств таких как твердости, ударной вязкости некоторых типов материала. Предполагается, что сочетание малых твердых нанокристаллитов, например олова, в высокопрочной аморфной матрице, например, $A-SiN_x$, является необходимым условием для получения хороших свойств покрытий. Кроме того, предполагается, что когезионная прочность поверхности раздела между матрицей покрытия и ее нано-кристаллитами должна быть достаточно высокой, чтобы избежать распространения неустойчивой трещины. Низкая взаимная растворимость также является предпосылкой для успешной нанокompозитной системы. Однако трибологические свойства этих композиционных материалов до сих пор изучены не полностью.

1.4.2 Генераторы плазмы на основе магнетронного разряда

Для нанесения функционального слоя TiB_2 , наиболее подходящим методом нанесения является магнетронное распыление.

Магнетронные системы относятся к низковольтным системам распыления материалов. Их рабочее напряжение составляет $300 \div 700$ В [32,33]. На рис. 1.3 приведена схема магнетронно-распылительной системы с плоской мишенью. При подаче постоянного напряжения между мишенью (катодом) и анодом возникает неоднородное электрическое поле, и возбуждается аномальный тлеющий разряд.

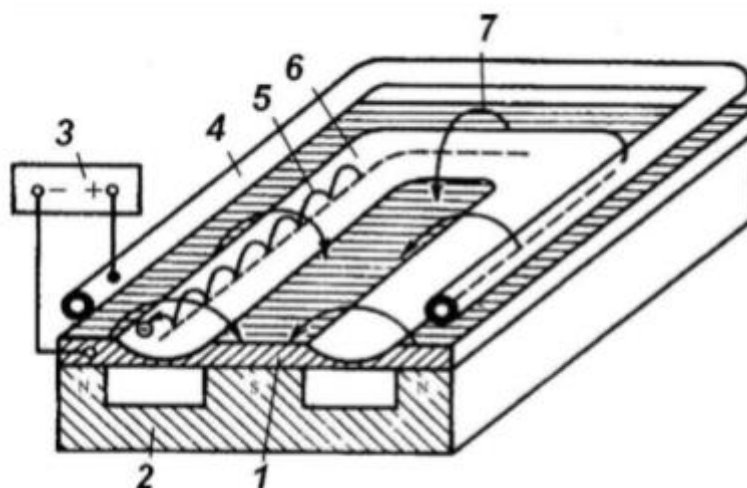


Рис. 1.3 Схема магнетронно-распылительной системы с плоской мишенью: 1 – катод-мишень; 2 – магнитная система; 3 – источник электропитания разряда; 4 – анод; 5 – траектория движения электрона; 6 – зона распыления; 7 – линии магнитного поля.

Важнейшими параметрами, определяющими характер разряда, являются геометрия и величина магнитного поля, индукция которого у поверхности мишени составляет $0,03 \div 0,1$ Тл. Наличие замкнутого магнитного поля у распыляемой мишени позволяет локализовать плазму разряда непосредственно у распыляемой мишени. Эмитированные с катода под действием ионной бомбардировки электроны совершают движение по замкнутым траекториям у поверхности мишени. Форма плазмы определяется геометрией и величиной магнитного поля [32,33]. В зависимости от величины этого поля магнетронная система может работать в диапазоне давлений от 10^{-1} до 1 Па. Магнетронный разряд позволяет использовать протяженные мишени и получать покрытия на подложках большой площади.

Плазма магнетронной системы сильно неоднородна, ее плотность очень быстро падает с увеличением расстояния от мишени, поэтому для того, чтобы активировать подложки ионной бомбардировкой и увеличить скорость осаждения покрытий методом обычного магнетронного осаждения, подложки располагают на небольших ($5 \div 6$ см) расстояниях от мишени [33]. Ионы в плазме магнетрона сразу после образования ускоряются на мишень.

Поэтому концентрация ионов в прианодной области и в области подложек мала и обычный магнетронный распылитель нельзя рассматривать как ионный или плазменный источник. На подложку воздействует только поток атомарного вещества с энергиями от 1 до 20 эВ в зависимости от материала катода и параметров магнетрона [32,33].

Частично увеличить ионную бомбардировку подложки и повысить энергетическое воздействие на нее можно с использованием несбалансированного магнетронного распыления [34,35]. В этом случае концентрация плазмы вблизи подложки увеличивается за счет применения несбалансированной системы магнитного поля, силовые линии которого направлены от мишени к подложке. Несбалансированная магнетронно-распылительная система [36] позволяла реализовывать различные конфигурации магнитного поля над поверхностью катода за счёт применения помимо основной магнитной системы дополнительной разбалансирующей катушки. Магнетронная система работала при давлениях от 0,08 до 0,3 Па, поток ионов данной системы измерялся на расстоянии 23 см от её катода в зависимости от тока электромагнитной катушки, который изменялся в пределах от 0 до 1 А, изменяя коэффициент несбалансированности в пределах от 0,3 до 3,3. Увеличение тока в электромагнитной катушке сопровождалось значительным увеличением плотности ионного тока, наиболее выраженным на оси системы. Это объяснялось увеличением степени несбалансированности магнитного поля, силовые линии которого, направляясь в сторону подложки, ограничивают поперечную подвижность электронов и заставляют их двигаться по оси системы. При этом электроны перемещаются совместно с ионами из-за необходимости поддержания электронейтральности плазмы. При максимальном токе в электромагнитной катушке равном 1 А, что увеличивало степень несбалансированности силовых линий магнитного поля до максимальной величины и соответствовало максимальной величине индукции магнитного поля на оси магнетрона равной 0,018 Тл, плотность ионного тока

на коллекторе-подложке достигала значений $\geq 2,5$ мА/см². При такой плотности тока ионов из плазмы магнетрона становилось возможным осуществлять очистку и травление поверхности и влиять на свойства осаждаемых покрытий. Но концентрирование ионизированного потока в узком пучке является недостатком таких систем [36]

1.5 Постановка задачи и цели работы

В настоящей работе были поставлены следующие цели и задачи:

Цель настоящей работы является, получения композиционного покрытия системы TiN+TiB₂, на образцы из инструментального сплава ВК8. Исследования физико-механических характеристик такого покрытия и проведение сравнительного анализа свойств такого покрытия с системами ZrN+TiB₂, CrN+TiB₂, Cr+TiB₂.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Подбор технологических режимов нанесения прикладных слоев TiN, ZrN, CrN, Cr электродуговым методом распыления мишеней;
2. Подбор технологических режимов нанесения функционального слоя TiB₂, магнетронным методом распыления мишени;
3. Исследовать физико-механические свойства получаемых пленочных систем TiN+TiB₂, ZrN+TiB₂, CrN+TiB₂, Cr+TiB₂, на поверхности образцов;
 - 3.1. Измерить твердость полуденных слоев;
 - 3.2. Измерить толщину полученных слоев;
 - 3.3. Испытать стойкость полученных слоев методом Роквелла;
4. По результатам экспериментальных данных (по физико-механическим характеристикам покрытий) проанализировать эффективность применения композиционного покрытия TiN+TiB₂ как жаростойкое покрытие.

ГЛАВА 2. ОБОРУДОВАНИЯ, ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данном разделе приведены характеристики используемых материалов, описание экспериментальных оборудований, методик и методов исследования.

2.1 Материалы переходных слоев и образцов

В качестве образцов использовались режущие пластины из твердого сплава ВК8. В настоящее время твердый сплав ВК8 является основным инструментальным материалом. В механообрабатывающем производстве, данным сплавом с применением покрытия снимают около 65% стружки по сравнению с другими материалами, так как твердосплавным инструментом можно вести обработку при скоростях резания до 800 м/мин [8]. Сплав ВК8 содержит 92% карбид вольфрама и 8% кобальта. Содержания кобальта в составе сплава играет роль связки, придавая сплаву прочность.

Характеристика твердого сплава ВК8:

- Твердость сплава HRA 87.5,
- прочность 1666 МПа, при изгибе,
- красностойкость до 1000°C,
- отсутствие упругой деформации.

Для исследования применялось 5 образцов режущих пластин. На четырех, из которых наносились переходные слои: Cr, CrN, ZrN, TiN. Данные подслои в инструментальном производстве применяются не только в качестве переходных слоев, но и в качестве функционального слоя. Например, TiN получила широкое применение в промышленности за счет простого технологического получения покрытия и невысокой стоимости, обладающее высокую твердость 22..24 ГПа по Виккерсу и 0,55 коэффициентом трения по стали. Данное покрытие применяется для всех видов режущих инструментов. Покрытие TiN имеет золотистый цвет, коэффициент термического

расширения, 10^{-6} K^{-1} , температура плавления 2950°C . Свойства покрытий представлены в таблице 2.1.

Табл. 2.1 Свойства переходных слоев

Покрyтия	Цвет	Нано- твeрдoсть, ГПа	Толщина, мкм	Кoэффициент трения	Максимальная температура применения, $^{\circ}\text{C}$
TiN	Золотой	22	1-7	0,55	600
CrN	Серебристей	14	1-4	0,3	700
Cr	Серей	11	1-4	0,3	650
ZrN	Бело-золотой	16	1-4	0,5	550

Выбранные материалы для переходного слоя, обуславливаются тем, что они имеют твердость выше, чем сплав ВК8 и ниже, чем функциональный слой TiB_2 .

Переходные слои наносились электродуговым методом.

2.2 Оборудование для нанесения подслоев и функционального слоя

2.2.1 Установка ННВ-6,6

Установка ННВ-6,6 предназначена для нанесения износостойких покрытий на режущие инструменты и различных деталей. Данная установка позволяет наносить покрытия на детали имеющие габариты диаметром до 400 мм, длиной до 250 мм. Установка универсальная, позволяет наносить покрытия в широком диапазоне различными PVD методами, на инструмент изготовленный из различных материалов: быстрорежущих сталей, инструментальные стали, твердые сплавы, металлокерамики.

ННВ-6,6 обозначает:

ННВ – ионная камерная вакуумная;

6,6 – габариты рабочей камеры высота, диаметр, дм.

Технические характеристики установки представлены в таблице 2.2.1

Табл. 2.2.1 Технические характеристики ННВ-6,6

Номинальная мощность	55, кВт
Напряжение питающей сети	380/220, В
Количество фаз	3
Максимальный ток источника питания подложки	25, А
Диапазоны плавного регулирования величины напряжения источников питания подложки	Высоковольтного от 100 до 1500, В Низковольтного от 20 до 500, В
Размеры рабочего пространства камеры	Диаметр 600, мм Высота 600, мм
Максимальная загрузка	125, кг
Скорость осаждения покрытия	От $6,65 \cdot 10^{-3}$ до $6,65 \cdot 10^{-1}$
Количество испарителей	3
Габаритный размер установки (с площадкой обслуживания)	4600x3340x2070, мм
Масса комплекса, кг	3480, кг

На данной установке получали как переходные слои, методом дугового испарения так и функциональные слои, магнетронным методом. Перед нанесением тем или другим методом менялась испарительная часть установки. Описания испарителей представлено ниже.

2.2.2 Конструкция и принцип действия установки ННВ-6,6

Принцип действия нанесения переходных слоев и функционального покрытия в данной установке заключается в нанесении слоя в вакуумной камере установки способом конденсации вещества материала слоя с ионной бомбардировкой на поверхности режущих пластин. Испарение, распыление металла в электродуговом методе на торцевой поверхности катода (катод представляет с собой усеченный конус и состоит из напыляемого материала, его так же называют мощенью) осуществляется за счет электрической дуги (катодное пятно). Катодные пятна нагревают поверхность катода и испаряют

ее. В магнетронном методе металлический пар получают при помощи ионного пучка, ионный пучок выбивает с поверхности катода атомы металла, частицы – этот способ подобен процессу фотоэффекта. В итоге образуется металлический пар, который с помощью фокусированного магнитного поля направляется потоком к подложке. Атомы, молекулы, частицы металла набирают скорость при придании на изделия напряжение смещения, осаждаются на поверхность подложки. Ионы рабочего газа бомбардируя поверхность подложки образуют адгезию между подложкой и формирующегося тонкого слоя, в результате формируются слой пленки [8].

Установка ННВ-6,6 (рис 2.1) состоит из следующих основных частей:

- 1- Выпрямитель;
- 2- Основание установки;
- 3- Редуктор;
- 4- Дверца камеры;
- 5,6,7- Шкафы управления
- 8- корпус вакуумной камеры;
- 9- токопроводящий электрод;
- 10- Блок откачки вакуумной камеры.

Так же в состав установки входит вакуумная система клапанов, охлаждающая система, система подачи азота.

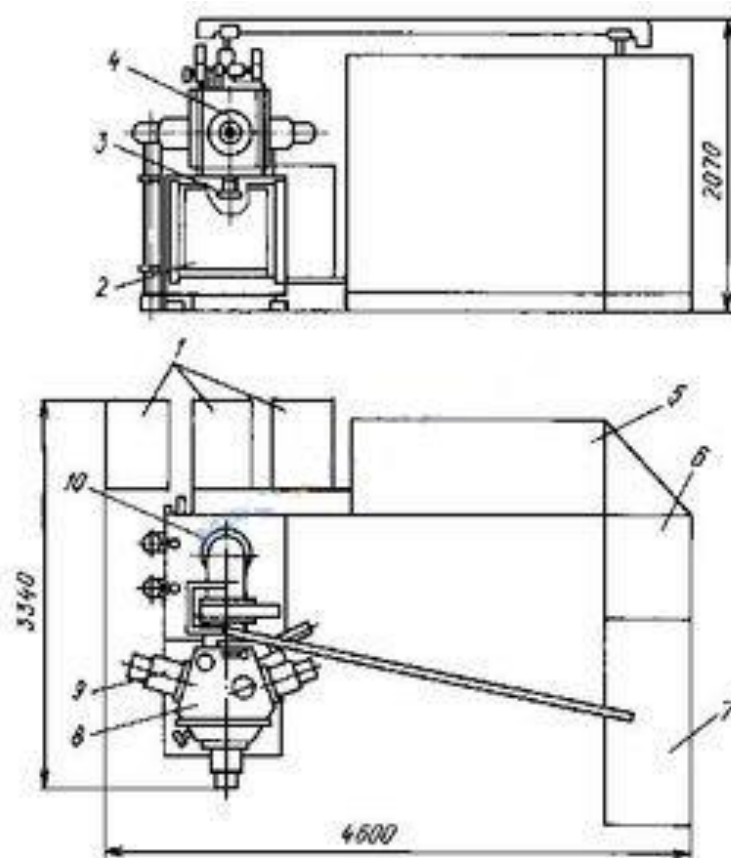


Рис 2.1 Общий вид установки ННВ-6,6

Рабочая камера, в которой протекает процесс напыления, имеет водо-охлаждающую систему, системы подогрева, патрубки и фланцы для присоединения вакуумной системы, термопар, каналы для подачи рабочего газа. Корпус имеет две стенки — это внешняя стенка, которая контактирует с внешней средой и внутренняя, в пространстве которой проходит процесс осаждения покрытий. Между стенками есть пространство для охлаждения камеры. Внутренняя стенка изготовлена из нержавеющей стали и служит анодом. Дверца камеры так же имеет водо-охлаждающую систему и служит для запираания вакуумной камеры и для удобства загрузки и выгрузки деталей. Объём внутри вакуумной камеры составляет $\sim 0,25\text{м}^3$.

Этот объём откачивается двумя форвакуумными насосами 2НВР-5ДМ и диффузионным паромасляном насосом Н250/2500. Пред откачки вакуумной камеры данными насосами, они предварительно работают в холостом ходе и нагреваются до рабочей температуры. Процесс откачки проходит в два этапа.

Первый этап, это предварительная откачка. На данном этапе вакуумная камера откачивается двумя форвакуумными насосами до давления 10^{-1} Па.

Второй этап, это высоковакуумная откачка. Откачка осуществляется диффузионным паромасляным насосом и двумя форвакуумными насосами. Насосы работают совместно и откачивают до рабочего давления $2,6..6,5 \cdot 10^{-3}$ Па.

Во время загрузки инструментов или деталей в вакуумную камеру, на внутренних стенках камеры осаждается влага. Для устранения влаги с камеры и ускорения процесса откачки камеры предусмотрена нагрев внутренней поверхности стенок камеры с помощью горячей воды.

Нагрев воды осуществляется двумя секциями тэнов, расположенными в баке подогрева. Контроль нагрева воды выполняется двумя температурными реле.

Режущие пластины или различные детали с помощью оправок позиционируются на планетарный стол установки (рис 2.2). Планетарный стол осуществляет вращения режущих пластин по окружной траектории в пространстве вакуумной камеры.



Рис 2.2 Общий вид планетарного стола установки

Вращение позволяет равномерно наносить покрытия на поверхности изделий имеющие сложные формы. Это увеличивает качество наносимого

слоя. Если толщина покрытий на всей поверхности будут одинаковы, то внешние нагрузки будут влиять на все части поверхности покрытия одинаково, в худшем случаи покрытие может разрушиться или отслоиться. Данный стол имеет 12 позиций, каждая из которых способна вращаться вокруг своей оси. Он имеет также защитный барьер. Барьер защищает от попадания каких-либо деталей в дно основание камеры при работе установки, в противном случае может заклинить поворотный механизм стола. Так же барьер не дает покрытию осаждаться на поверхности стола. Двенадцать позиций вращаются вокруг своих осей, благодаря планетарной передаче, где зубчатое колесо, которая по центру, неподвижна, а стол, на котором установлены 12 шестерён вращается вокруг своей оси.

Электрическая часть установки служит для ее снабжения и управление технологическим процессом. Электрическая часть представляет с собой телекоммуникационный шкаф на которой установлены: блок высоковольтный источник питания, блок источника опорного напряжения, блок источника постоянного тока, блок управления технологическим процессом. Электроснабжения установки производится от трехфазной сети напряжения 380 В, цепи управления 220 В. Высоковольтный источник питания включает в себя тиристорный преобразователь напряжения, обеспечивающее регулировку напряжения от 100...1500 В. Такой же тиристорный преобразователь имеется у источника опорного напряжения от 20 до 280 В. Источник постоянного тока предназначен для питания испарителей.

Высоковольтный источник и источник опорного напряжения снабжены системой автоматического гашения дуг и устройством защиты от перенапряжений, возникающих при обрыве тока нагрузки.

Для получения нитридных переходных слоев, установка имеет систему напуска рабочего газа (Азот). Система напуска рабочего газа состоит из электромагнитного клапана, обеспечивающий автоматическую подачу газа в вакуумную камеру. Помимо того, клапан может работать в ручном режиме. Схема системы автоматического подачи газа представлена на (рис. 2.3).

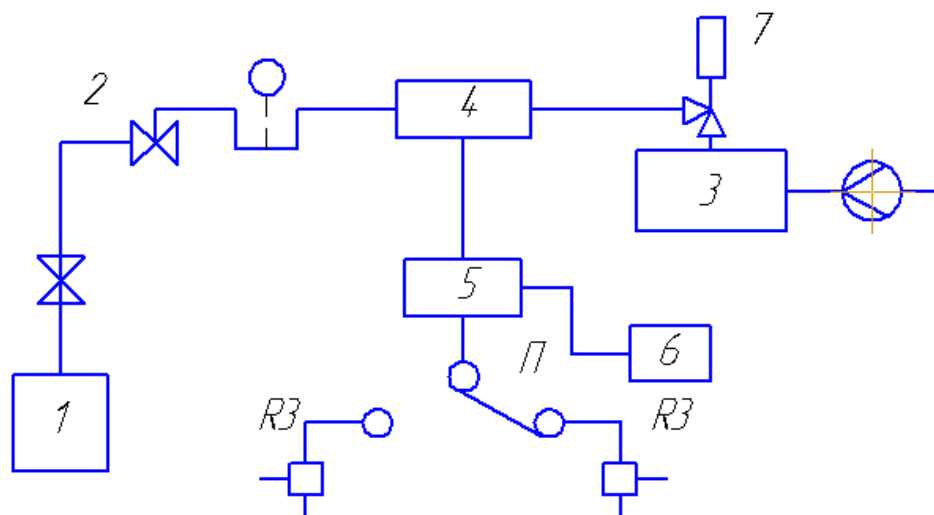


Рис. 2.3 Схема подачи газа:

- 1- Газовый баллон; 2- Редуктор; 3- Вакуумная камера; 4- Натекатель;
 5- Блок БУЭН; 6- Вакуумметр ионизационно-термопарный ВИТ-3;
 7- Клапан запорный; П- переключатель рода работы Авто – Ручной.

2.2.3 Электродуговой испаритель

Для испарения металлов материала переходных слоев был использован стандартный электродуговой испаритель. Данный испаритель в промышленном производстве широко используется. Схема испарителя представлено на (рис. 2.4).

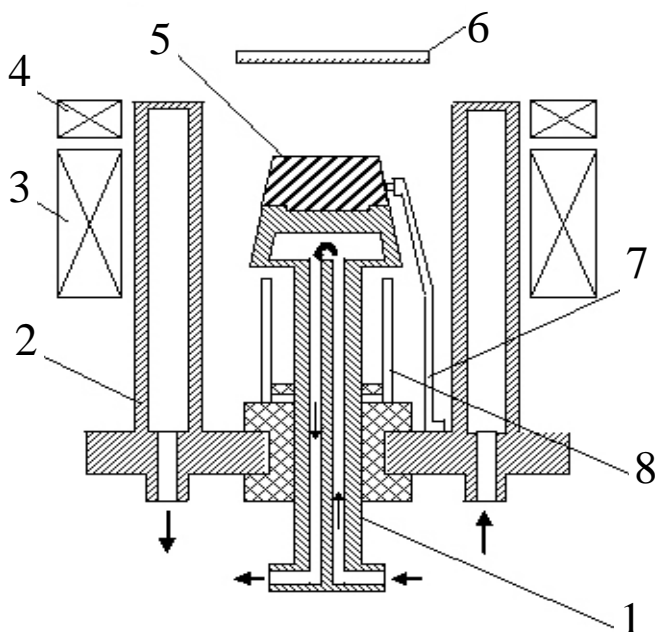


Рис. 2.4 Общий вид схемы электродугового испарителя: 1- держатель;

- 2- Корпус водо-охлаждаемый; 3- стабилизирующая катушка;
4- Фокусирующая катушка; 5- катод(мишень); 6- подложка;
7- Поджигатель; 8- диэлектрический токоограничивающий элемент.

Источником плазмы является катодные пятна, образующие на торцевой поверхности катода т.е. на рабочей поверхности. Катододержатель 1 представляет с собой токопроводящий цилиндр, имеющий каналы для охлаждения системы. Водо-охлаждаемый корпус выполнен в виде цилиндра и является анодом. Катушки 3,4 создают вдоль оси катода в направлении подложки продольное магнитное поле. Сменный катод 5 представляет с собой усеченный корпус из электропроводящего материала, входящий в состав напыляемого переходного слоя. Поджигающий электрод в которой установлен токоограничивающий элемент 8, предназначен для возбуждения дугового разряда. После включения системы поджиг импульсом высокого напряжения до ~ 10 кВ и длительностью 10^{-6} с дуговой разряд инициируется пробоем (испарением тонкой токопроводящей пленки) на поверхности диэлектрического вкладыша 8, установленного между поджигающим электродом и катодом. Таким образом, на внешней поверхности катода появляется катодное пятно. Под действием сил магнитного поля, формируемого катушкой 3, это катодное пятно сбегает на торцевую поверхность катода 5 и там совершает хаотические перемещения, испаряя металл. Продукты эрозии металлического катода разлетаются по всему пространству вакуумной камеры и осаждаются в виде конденсата на обрабатываемые детали в виде пленок толщиной 1-10 мкм [9, 10].

2.2.4 Магнетронная распылительная система

Среди методов ионно-плазменного напыления наиболее популярной методом стала магнетронная распылительная система. По данной теме опубликовано многочисленное количество публикации [11-13]. По данным публикациям можно сказать, что метод магнетронного распыления имеет большие перспективы в промышленном производстве благодаря высоким

показателям адгезионных свойств полученных покрытий, возможности управления процессом формирования нано покрытий [11-15].

Иллюстрация сущности процесса нанесения покрытий методом магнетронного распыления представлено на (рис. 2.5).

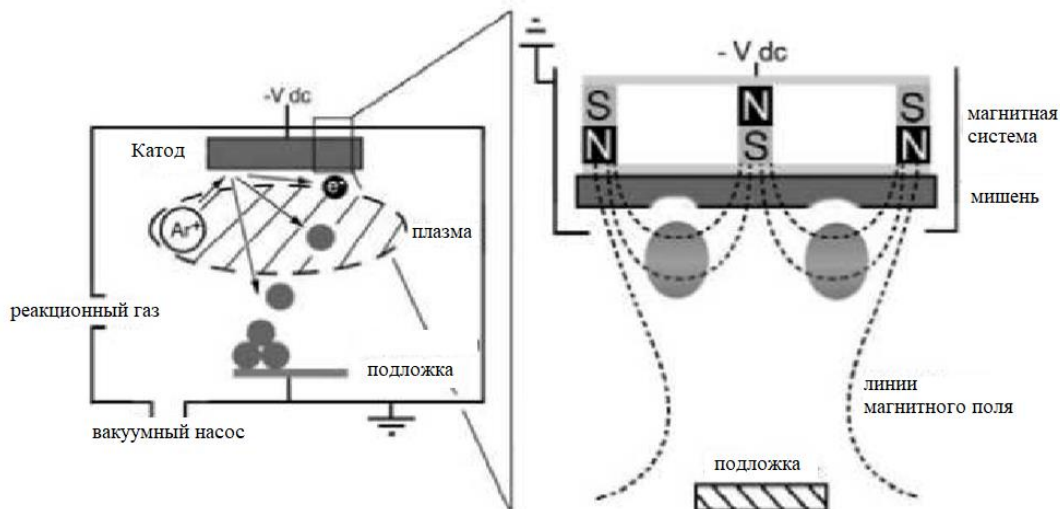


Рис. 2.5 общий вид схемы нанесения покрытия методом магнетронного распыления и схема несбалансированного магнетрона

При подаче отрицательного потенциала $-V_{dc}$ на поверхности катода-мишени магнетрона зажигается аномальный тлеющий разряд. Электроны, двигаясь по циклоиде вдоль силовых линий магнитного поля, ионизируют рабочий газ – аргон (Ar). Ионы Ar^+ , ускоряясь в прикатодном электрическом поле мишени, бомбардируют ее поверхность. Происходит процесс распыления мишени, в результате которого с ее поверхности вылетают металлические атомы со средней энергией 10-20 эВ, соответствующие материалу мишени (например, Ti, Al, Cr и др.) и вторичные электроны. Металлические атомы перемещаются к поверхности подложки, на которой происходит их послойное осаждение с формированием определенной структуры покрытия. Вторичные электроны захватываются силовыми линиями магнитного поля («арочным» полем на поверхности мишени и «аксиальным» полем, оттекающим от мишени к подложке). Чем выше степень «несбалансированности» магнетрона, тем больше вторичных электронов захватываются «аксиальным» полем. Электроны ионизируют рабочий газ, при

этом одна часть ионов (образованная в «арочном» поле) осуществляет распыление мишени, другая часть – каналируется «аксиальным» полем к поверхности подложки. При подаче на подложку отрицательного потенциала смещения $U_{см}$ ионы ускоряются в электрическом поле подложки и осуществляют бомбардировку поверхности растущего покрытия.

Низкоэнергетическая бомбардировка (с энергиями ионов $E_{ion} = 10-100$ эВ) обеспечивает высокую мобильность адсорбированным атомам и контролирует механизм роста покрытия. Ионная бомбардировка может ограничивать рост зерна, управлять размером и кристаллографическая ориентацией зерен, увеличивать плотность покрытия, приводить к уплотнению границ зерен, вызывать образование точечных дефектов и увеличивать внутренние напряжения в покрытии.

Магнетрон, которым напыляли функциональный слой на режущие пластины с переходными слоями представлен на (рис. 2.6), магнетрон в сборе с катодом TiB_2 .



Рис. 2.6 Внешний вид магнетрона с вакуумным вводом

2.3 Методы исследования физико-механических свойств покрытий

2.3.1 Твердость покрытий

Измерения микротвердости переходных и функциональных слоев проводилась по методу Виккерса, на приборе ПМТ-3.

Процесс измерения проходит следующим образом, с помощью пластилина и специального прибора позиционируется поверхность образца параллельно гладкому столу прибора 11. Столик перемещается в двух направлениях: по координатам x и y . Так же перемещается в круговом направлении на 180° . С помощью алмазного наконечника и нагружающего механизма ставится укол на поверхности образца. Полученный отпечаток с помощью стола подводит ее под объектив измерительного микроскопа и измеряются диагонали отпечатка d_1 и d_2 (рис. 2.7).

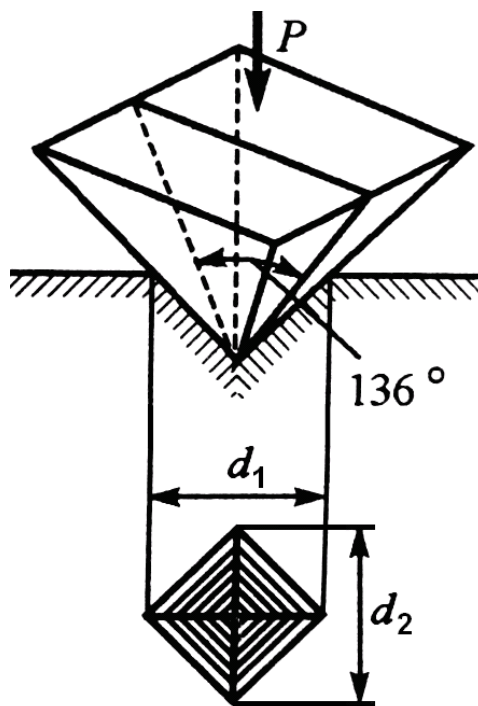


Рис. 2.7 Характерная схема определения твердости металла по методу Виккерса

Где P -нагрузка; d_1 и d_2 – диагонали отпечатка

Полученные данные подставляют в формулу (1) и рассчитывается микротвердость поверхностного слоя покрытия.

$$H = 1,8544 \cdot \frac{P}{d^2} \quad (1).$$

Где P - нагрузка, приложенная к алмазному наконечнику;
 d - значение диагонали отпечатка.

Для измерения тонких покрытий важно подобрать массу груза таким образом, чтобы при нагрузки индентора на поверхность полученного слоя, не продавила всю толщину слоя, в этом случае результат получится не корректным. Для устранения такого вида рода погрешности нужно уменьшать вес груза нагрузки, но слишком лёгкий груз так же может привести к не правильным результатам измерения, так как, не достаточная нагрузка может и не продавить покрытие.

2.3.2 Толщина

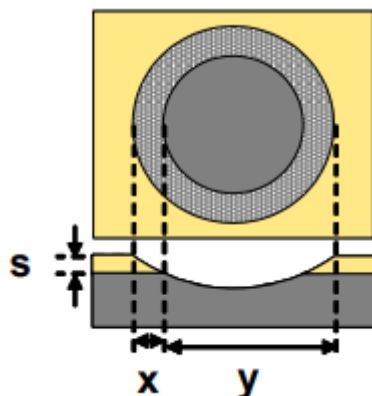
Для измерения толщины слоя использовали прибор CALOTEST (рис. 2.8).



Рис. 2.8 Общий вид прибора Calotest

Измерение осуществлялась следующим образом. Вращающийся шар известного диаметра располагается на поверхности покрытия с заранее выбранной нагрузкой. Положение шара по отношению к образцу и нагрузка в зоне контакта постоянно. После добавления абразивной суспензии в зону контакта, шар вырабатывает сферическую лунку в поверхности образца. После чего с помощью оптического прибора производится осмотр лунки. В результате отображается проекции поверхности разделов покрытий и

субстрата. Путем измерения параметров x и y (рис. 2.9.), толщина покрытия S рассчитывается по уравнению (2).



$$S = \frac{x \cdot y}{\phi_{\text{шара}}} \quad (2)$$

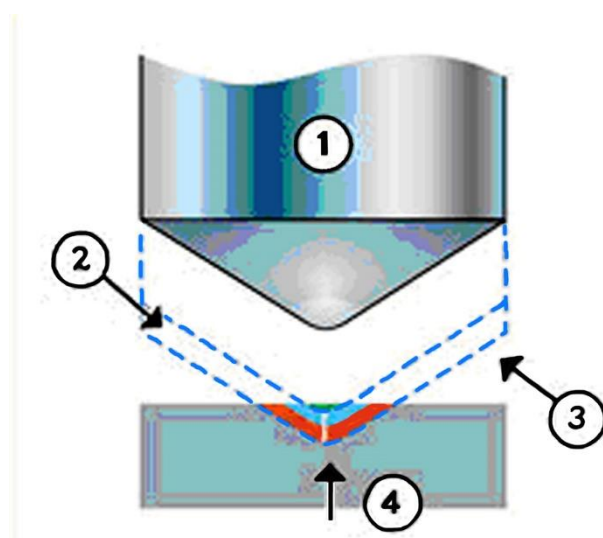
Рис. 2.9 схема лунки

2.3.3 Адгезия

Наиболее распространенным методом определения адгезии, наряду с методом нанесения царапин, является испытание по Роквеллу (Rockwell C test). Испытание на адгезию покрытий по Роквеллу проводится так же, как стандартное испытание на твердость по Роквеллу (Rockwell C test VDI 3824) (рис.1.). Размер и тип дефекта покрытия в самом отпечатке и вокруг него исследуется под оптическим микроскопом и сравнивается с серией фотографических изображений (рис.2.10 и рис.2.11.).

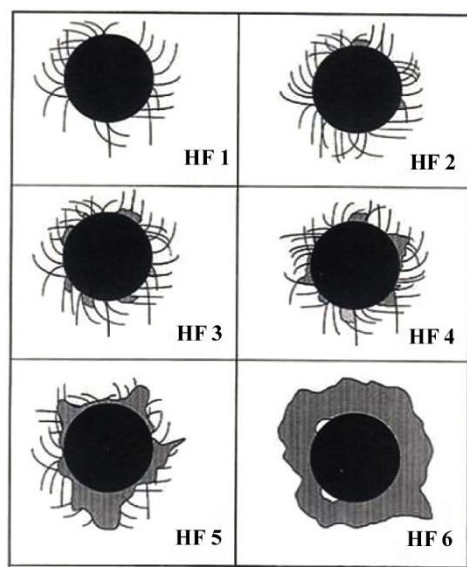
Оценка адгезионных свойств производится путем исследования отпечатка полученного с помощью прибора типа 2140 ТР для измерения твердости по методу Роквелла (ГОСТ 9013) при вдавливании в композицию покрытие-основа алмазного конуса с углом при вершине 120° (радиус закругления 0,2 мм) и общей нагрузке 150 кг (1471 Н). При этом в основе вокруг отпечатка индентора происходит локальная упругопластическая деформация, которая может вызвать разрушение покрытия. Предполагается, что между размерами и внешним видом зоны упругопластической деформации и силами сцепления покрытия существует корреляционная связь, на основании которой можно судить об адгезионной прочности покрытия.

Сравнительная характеристика адгезии покрытия нанесенного при разных режимах напыления определялась по трем признакам: отслаивание не наблюдается; имеются отдельные участки отслаивания; полное отслаивание. При наличии отдельных участков отслаивания определяется отношение величины площади скола (вспучивания) к площади зоны локальной упругопластической деформации. Этот способ использовался для качественной оценки адгезии с целью выбора оптимального режима процесса напыления при исследованиях.



1. Алмазный наконечник.
2. Глубина дефектного слоя покрытия при малой нагрузке.
3. Глубина дефектного слоя покрытия при большой нагрузке.
4. Величины изменения глубины дефектного слоя покрытия в процессе испытания на твердость по Роквеллу является основой для расчета адгезии.

Рис.2.10 Характерная схема нагружении индентора в материал покрытия по методу Роквелла.



HF=1- Отличная (превосходная) адгезия. Отсутствие видимых разрушений вокруг кратера, оставленного после индентации.
HF=2

Только отпечатки, классифицируемые как HF 1 и HF 2, соответствуют достаточной адгезии.

HF=3 ... удовлетворительная адгезия

HF=4..6 – плохая адгезия.

Рис.2.11 Шкала градации качества адгезионной прочности

2.4 Методика рентгенофлуоресцентного анализа

Для исследования элементного состава полученных композитных покрытий был использован метод рентгенофлуоресцентный анализ (РФА).

Данный метод основывается на сборе и анализе спектра, полученного после возбуждения характеристического рентгеновского излучения, которое возникает при переходе атома из возбужденного в основное состояние. Атомы разных элементов испускают фотоны со строго определенными энергиями, измерив которые можно определить качественный элементный состав. Для измерения количества элемента регистрируется интенсивность излучения с определенной энергией.

С помощью этого метода можно получить качественный анализ химического состава покрытий. Что при исследовании полученных покрытий, в случае если покрытие окажется не чистым, то есть будет содержать различные примеси, которые не должны входить в состав покрытия, и которые отрицательно сказываются на физико-механические характеристики покрытия в результате эксплуатации, можно найти источник проблемы загрязнения покрытия в процессе осаждения. И устранить её.

ГЛАВА 3. НАНЕСЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ

3.1 Формирования на поверхности режущих пластин переходных слоев из соединения различного состава

Переходные слои на поверхности режущих пластин получили методом вакуумно-дуговым напылением. В качестве подложки использовались режущие пластины из твёрдого сплава ВК8.

Состав соединений переходных слоев выбраны Cr, CrN, ZrN, TiN. Процесс формирования переходных слоев на режущие пластины проходили по следующему технологическому процессу таб.3.1.

Таблица 3.1 Технологический процесс осаждения покрытий на установке ННВ-6.6.

№ п/п	Наименование операции	Содержание операции
----------	--------------------------	---------------------

1	Загрузка образцов, нагрев и откачка вакуумной камеры	<p>1.1 Загрузка оснастки с образцами подготовленными соответствующим образом в вакуумную камеру.</p> <p>1.2 Откачка вакуумной камеры форвакуумным, а затем диффузионным насосами (переключение с форвакуумного на диф., насос проводить при давлении 10^{-1} Па.)</p> <p>1.3 Прогрев камеры горячей водой.</p>
2	Очистка поверхности образцов ионным травлением в газовом разряде	<p>2.1 Откачка камеры до давления $2,6 \dots 6,5 \cdot 10^{-3}$ Па.</p> <p>2.2 Откл., прогрева камеры. И включение системы охлаждения.</p> <p>2.3 Подача на образцы напряжения смещения (≥ 1000 В).</p> <p>2.4 Плавный напуск аргона до слабого свечения</p> <p>2.5 Выдержка образцов ≥ 1 мин.</p> <p>2.6 Повышения давления аргона до появления слабых искровых разрядов.</p> <p>2.7 Уменьшения давления аргона до исчезновения разрядов.</p> <p>2.8 Выдержка инструментов ≥ 1 мин.</p> <p>2.9 Повышение давления до 1 Па, пока не исчезнут разряды</p> <p>2.10 Выдержка образцов ≥ 5 мин.</p> <p>2.11 Откачка камеры до давления $2,6 \dots 6,5 \cdot 10^{-3}$ Па.</p> <p>2.12 Увеличение смещения напряжения до значения, на 20% превышавшего подачу на образцы напряжения смещения.</p> <p>2.13 Повторение пп. 2.4-2.10.</p> <p>2.14 Прекращение подачи аргона и выключение напряжения смещения.</p> <p>2.15 Откачка камеры до давления $2,6 \cdot 10^{-3}$ Па.</p> <p>2.16 Температура нагрева образцов не должна превышать температуру отпуска материала образца.</p>
3	Отчистка поверхности инструмента бомбардировкой ионами металла и нагрев до рабочих температур	<p>3.1 Подача на образцы напряжения смещения 1000-14000В.</p> <p>3.2 Вкл., испарителя и установления минимального допустимого значения тока дуги.</p> <p>3.3 Ионная бомбардировка поверхности образцов путем периодического включения и отключения тока дуги(время горения на начальной стадии 2с, перерыв 20...60с.)</p> <p>3.4 Восстановления вакуума в камере $> 1,1 \cdot 10^{-2}$ Па.</p> <p>3.5 Повтор пп. 3.3 и 3.4 до полного исчезновения микро дуг на поверхности обрабатываемых образцов.</p> <p>3.6 Предварительны прогрев образцов при непрерывном горении дуги и давлении камеры $6,7 \cdot 10^{-3}$ Па.</p> <p>3.7 Подача реакционного газа (Азот) и создание давления $6,7 \cdot 10^{-2}$ Па.</p> <p>3.8 Окончательный прогрев образцов ионными реакционного газа и метала.</p> <p>3.9 Контроль температуры нагрева с помощью приборов.</p>
4	Нанесения покрытия	<p>4.1 Выключение испарителей.</p> <p>4.2 Отключения высокого напряжения и подача на образцы напряжения в пределах 40-350В.</p> <p>4.3 Включение испарителей</p> <p>4.4 Подача реакционного газа и установка его рабочего давления $1,1 \cdot 10^{-1}$ Па.</p>

		<p>4.5 Установка тока дугового испарителя в пределах 70-150А (в зависимости от катода, и материала образца)</p> <p>4.6 Включения механизма вращения оснастки при необходимости.</p> <p>4.7 Конденсация покрытия в течение времени, устанавливаемого в зависимости от требуемой толщины покрытия.</p>
5	Охлаждение и выгрузка образцов	<p>5.1 Выключение испарителей.</p> <p>5.2 Выдержка образцов в течении 1 мин при рабочих опорным напряжении и давлении газа.</p> <p>5.3 Выключения напряжения, прекращение подачи газа в камеру, выключение механизма вращения.</p> <p>5.4 Охлаждение образцов в вакуумной камере до температуры $<20^{\circ}\text{C}$.</p> <p>5.5 Выгрузка образцов с покрытием.</p>

Сущность дугового напыления заключается в испарении материалов катодными пятнами вакуумной дуги в рабочее пространство камеры с одновременной подачей реакционноспособных газов и последующей конденсации паров материалов либо их соединений с газами на поверхностях образцов в условиях ионной бомбардировки последнего.

Весь процесс протекает в вакуумной камере, металлический корпус которого служит анодом. На (рис. 3.1) представлена схема установки ННВ-6,6 для нанесения переходных покрытий.

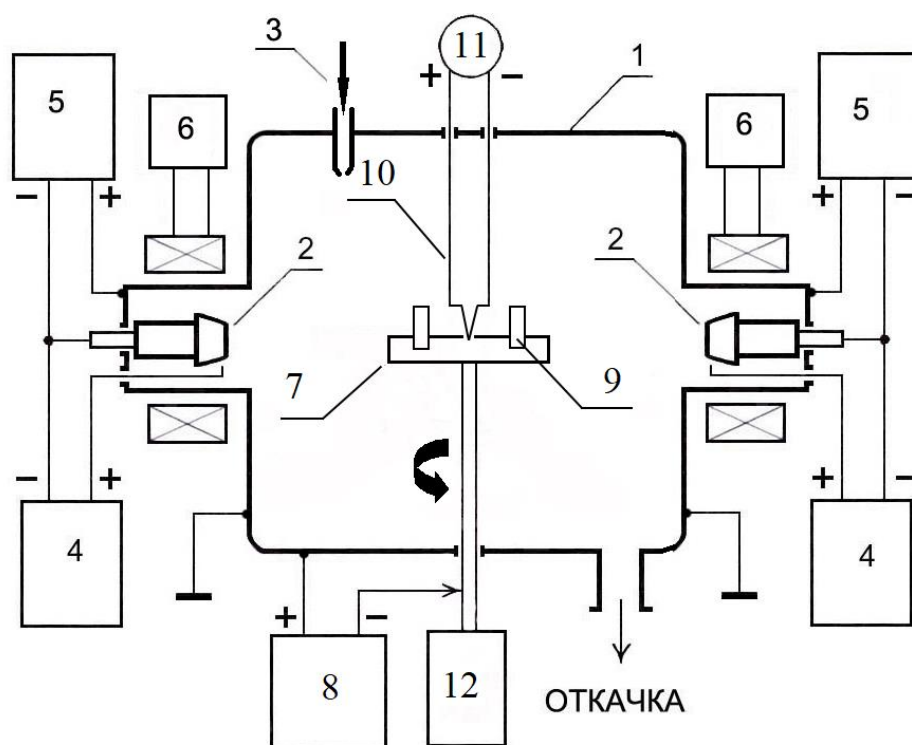


Рис.3.1 Блок-схема экспериментальной установки:

1. – водоохлаждаемый корпус вакуумной камеры;
2. – дуговой испаритель металла;
3. – канал для ввода рабочего газа;
4. – источник питания поджига дугового разряда испарителя
($U = 6 \text{ кВ}$; $I = 10 \text{ А}$; $\tau = 20 \text{ мкс}$);
5. – источник питания дугового разряда испарителя ВД-200 ($U = 70 \text{ В}$; $I = 200 \text{ А}$);
6. – источник питания катушек продольного магнитного поля ($U = 100 \text{ В}$; $I = 1 \text{ А}$);
7. – вращающийся рабочий стол;
8. – источник напряжения смещения рабочего стола ($U = -1500 \text{ В}$; $I = 5 \text{ А}$);
9. – образец;
10. – термopаpa;
11. – блок регистрации температуры образцов;
12. – редуктор.

Катодные пятна, с помощью которых твердое вещество переводиться в парообразное, представляют собой микроскопический сгусток плотной металлической плазмы на поверхности катода, через который протекает ток 100А. Плотность выделяемой на поверхности катода мощности составляет 10^9 Вт/см^2 и соответствует очень высокой температуре, при которой материал полностью ионизируется. Давление пара в пятне достигает десятков атмосфер и вызывает выброс струи металлической плазмы с поверхности катода за 5..40 нс. Металлические частицы перемещаются в область где располагается режущие пластины, за счет подачи напряжения смещения на пластины, металлические частицы ускоряются к поверхности режущих пластин и осаждаются на их поверхности. Ионы газа бомбардируя слой осаждённого материала покрытия на поверхности режущих пластин, формируют тонкий слой металла. Перед осаждением режущие пластины нагревались до температуры 500 °С.

Плюс метода заключается в том, что образцы или же детали можно располагать довольно далеко от катода. В любом случае на поверхности подложки сформируется покрытие.

Минусом метода является образование покрытий с микро-каплями. Это приводит к ухудшению качества покрытия.

Расстояние между катодом и режущими пластинами в процессе осаждения составляет 300 мм.

Для выявления оптимальных адгезионных свойств функционального слоя покрытия TiB_2 , предварительно на 4 твёрдых сплава ВК8 были нанесены подслои: TiN, ZrN, CrN, Cr. Параметры нанесения переходных слоев были практически одинаковыми, параметры нанесения подслоя TiN представлены в (табл. 3.2).

Таблица 3.2 Процесс нанесения подслоя TiN проходил при следующих параметрах.

Наименование параметра	значение
Давление	$P = 2 \cdot 10^{-1}$ Па ($2 \cdot 10^{-3}$ мм. рт. ст.)
Рабочий газ	Азот, рабочее давление $1,1 \cdot 10^{-1}$ Па
Ток разряда	$I_{\text{разряда}} = 50$ А
Напряжение разряда	$U_{\text{разряда}} = 100 \rightarrow 180$ В
Мощность	$W = 0.25$ kW (250 Вт)
Частота	$f = 80$ kHz
Время нанесения покрытия	40 мин.

Общий вид полученных переходных слоев представлена на рис. 3.2.

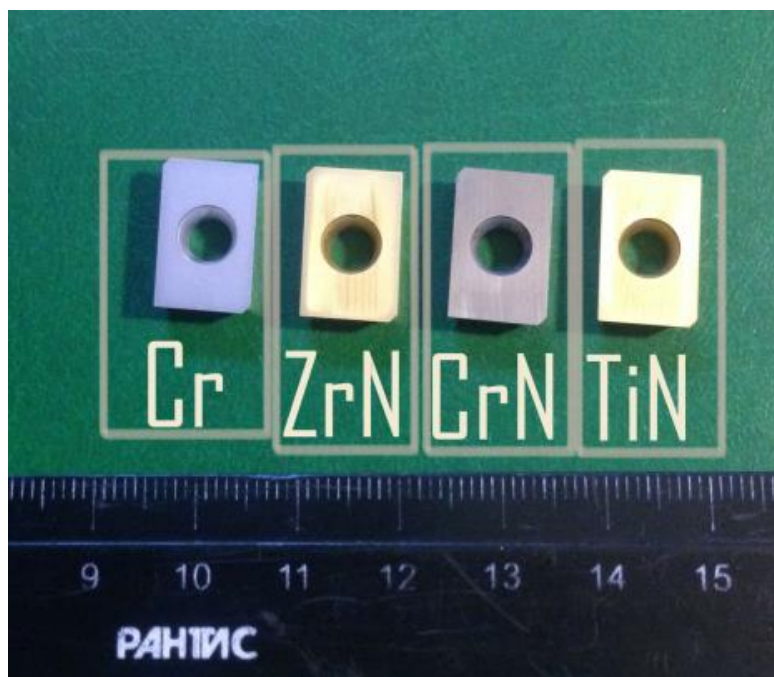


Рис. 3.2 Общий вид полученных переходных слоев

В результате напыление переходных слоев вакуумно-дуговым методом на режущие пластины получились качественными. Никаких отслоений на режущих пластин переходных слоев не наблюдалось. Цвета покрытий получились следующими Cr - серый, ZrN – бело золотой, CrN -серебристый, TiN- золотой. В результате проделанной работы рекомендуется соблюдать рабочую температуру осаждения переходных слоев режущих пластин в процессе осаждения, соблюдая температуру можно обеспечить хорошую сцепляемость подслоев к подложке. Так же для получения более чистого переходного слоя рекомендуется ставить перед режущими пластинами барьерную сетку для снижения содержания количества микрокапель в состав покрытия.

3.2 Формирования функционального слоя TiB₂

Функциональный слой на поверхность режущих пластин с подслоями был нанесен магнетронным методом распыления.

Сущность магнетронного распыления заключается в следующем. При подаче отрицательного потенциала на поверхности катода-мишени магнетрона зажигается аномальный тлеющий разряд. Электроны, двигаясь по циклоиде вдоль силовых линий магнитного поля, ионизируют рабочий газ – аргон (Ar). Ионы Ar⁺, ускоряясь в прикатодном электрическом поле мишени, бомбардируют ее поверхность. Происходит процесс распыления мишени, в результате которого с ее поверхности вылетают металлические атомы со средней энергией 10-20 эВ, соответствующие материалу мишени (в нашем случае TiB₂) и вторичные электроны. Металлические атомы перемещаются к поверхности подложки, на которой происходит их послойное осаждение с формированием определенной структуры покрытия. Вторичные электроны захватываются силовыми линиями магнитного поля («арочным» полем на поверхности мишени и «аксиальным» полем, оттекающим от мишени к подложке). Чем выше степень «несбалансированности» магнетрона, тем больше вторичных электронов захватываются «аксиальным» полем.

Электроны ионизируют рабочий газ, при этом одна часть ионов (образованная в «арочном» поле) осуществляет распыление мишени, другая часть – каналируется «аксиальным» полем к поверхности подложки. При подаче на подложку отрицательного потенциала смещения $U_{см}$ ионы ускоряются в электрическом поле подложки и осуществляют бомбардировку поверхности растущего покрытия.

Схема метода совпадает со схемой представленной на (рис.3.1), только за место дуговых испарителей используют магнетрон представлений на (рис.3.3).



Рис. 3.3 Внешний вид магнетрона с вакуумным вводом

Плюс этого метода в том, что покрытия формируются без микро-капель. Покрытия получаются абсолютно чистыми.

Минус заключается в расположении подложки в близи катода. Это затрудняет получать покрытия на деталях сложной формы.

Расстояние между катодом и подложки в процессе осаждения составляла 50мм.

Параметры нанесения функционального слоя представлены в (табл. 3.3).

Таблица 3.3 Процесс нанесения функционального слоя проходил при следующих параметрах.

Наименование параметра	значение
Давление	$P = 2 \cdot 10^{-1}$ Па ($2 \cdot 10^{-3}$ мм. рт. ст.)
рабочий газ	Аргон, расход – 12%, (1,08 л/ч)
Ток разряда	$I_{\text{разряда}} = 0.49$ А
Напряжение разряда	$U_{\text{разряда}} = 520 \rightarrow 540$ В
Мощность	$W = 0.25$ kW (250 Вт)
Частота	$f = 80$ kHz
Время нанесения покрытия	60 мин.

Результат полученных композиционных покрытий представлен на (рис. 3.4).

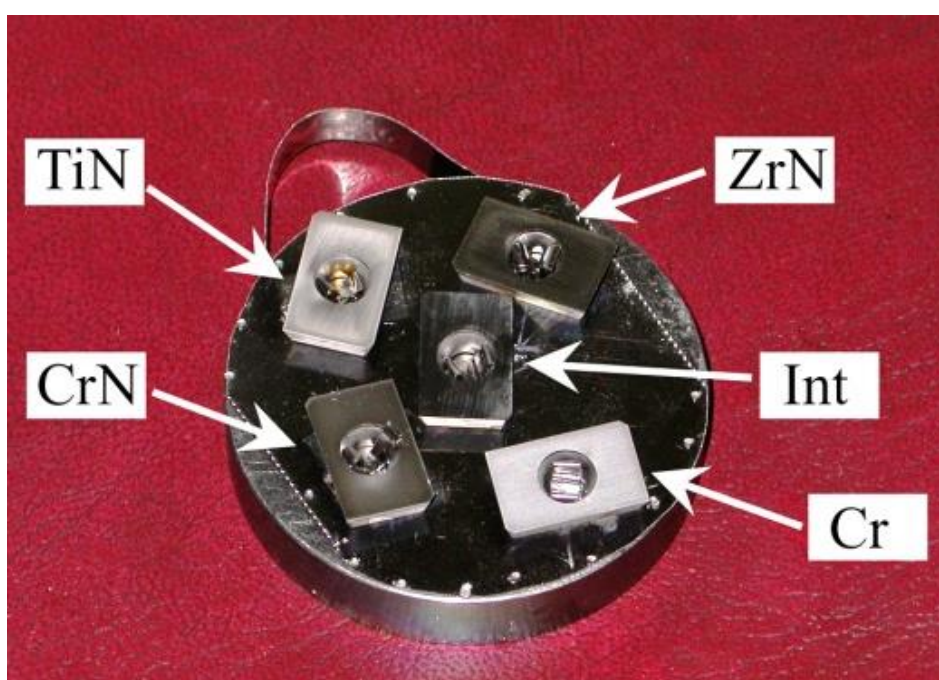


Рис. 3.4 Общий вид полученных композиционных слое с функциональным слоем TiB_2

Рекомендации в процессе осаждения функционального слоя магнетроном, является соблюдения рабочей температуры 500°C , и соблюдения расстояния между мишенью и подложкой, должно быть довольно близким примерно 50 мм. Не соблюдая расстояния в результате функциональный слой может не сформироваться на поверхности подложек, либо будет иметь очень тонкий слой, который не придаст режущим пластинам повешённых режущих свойств. Это связано с тем, что металлический пар, образующийся над катодом, сконцентрирован вблизи катода из-за попадания пара в магнитную ловушку.

3.3 Физико- механические характеристики полученных покрытий

3.3.1 Твердость переходных и функциональных слоев

Измерение микротвёрдости покрытия TiB_2 . Измерение микротвердости проводилась по методу Виккерса, на приборе ПМТ-3.

С помощью алмазного наконечника, который имеет форму пирамиды, на поверхность покрытия ставится отпечаток. Отпечаток осматривается через оптический прибор, и измеряется диагональ отпечатка. Затем значение микротвердости рассчитывается по методу Виккерса по формуле (1).

$$H = 1,8544 \cdot \frac{P}{d^2} \quad (1).$$

Где P - нагрузка, приложенная к алмазному наконечнику;

d - значение диагонали отпечатка.

Результаты измерения микротвердость покрытий сведены в (табл. 3.3.1).

Таблица 3.3.1.

№	Материал покрытия	Твердость по Виккерсу КГ/мм ²
1	Cr	953
2	CrN	1035
3	ZrN	1561
4	TiN	1812
5	TiB ₂	2105
6	Cr+ TiB ₂	1520
7	CrN+ TiB ₂	1643
8	ZrN+ TiB ₂	1762
9	TiN+ TiB ₂	2096

Получившиеся переходные слои перед нанесением функционального слоя, проводили измерения на твердость.

По результатам измерения микротвердость функционального покрытия составила 1500-2000 кг/мм² (15-20 ГПа).

Результаты измерения показали что самым твердым композитом является композит с подслоем TiN, твердость которого достигает до 2096 кг/мм². А самым низким получился композит с подслоем хрома 1520 кг/мм².

При измерении твердости покрытий рекомендуется использовать груз массой 50 г. Груз выше 50г показал более низкую твердость, это связано с тем что покрытия имели толщину 1 мкм и нагрузка продавливала индентор сквозь покрытия.

3.3.2 Толщина полученных покрытий

Измерение толщины полученного слоя. Для измерения толщины слоя использовалась оборудование CALOTEST. Измерение осуществлялась следующим образом. Вращающийся шар известного диаметра располагается на поверхности покрытия с заранее выбранной нагрузкой. Положение шара по отношению к образцу и нагрузка в зоне контакта постоянно. После добавления абразивной суспензии в зону контакта, шар вырабатывает сферическую лунку в поверхности образца. После чего с помощью оптического прибора производится осмотр лунки. В результате отображается проекции поверхности разделов покрытий и субстрата. Путем измерения параметров x и y , толщина покрытия S рассчитывается по уравнению (1).

$$S = \frac{x \cdot y}{\phi_{\text{шара}}} \quad (1)$$

Результаты измерений полученных слоев сведены в (табл. 3.3.2)

Таблица 3.3.2

№	Материал покрытия	Толщина мкм
1	Cr	1,36
2	CrN	1,8
3	ZrN	2,8
4	TiN	2,3
5	TiB ₂	2,1
6	Cr+ TiB ₂	1,82
7	CrN+ TiB ₂	1,9
8	ZrN+ TiB ₂	2,38
9	TiN+ TiB ₂	1,7

На (рис.3.5) представлены изображение лунки подслоя ZrN и после нанесение функционального покрытия TiB₂.

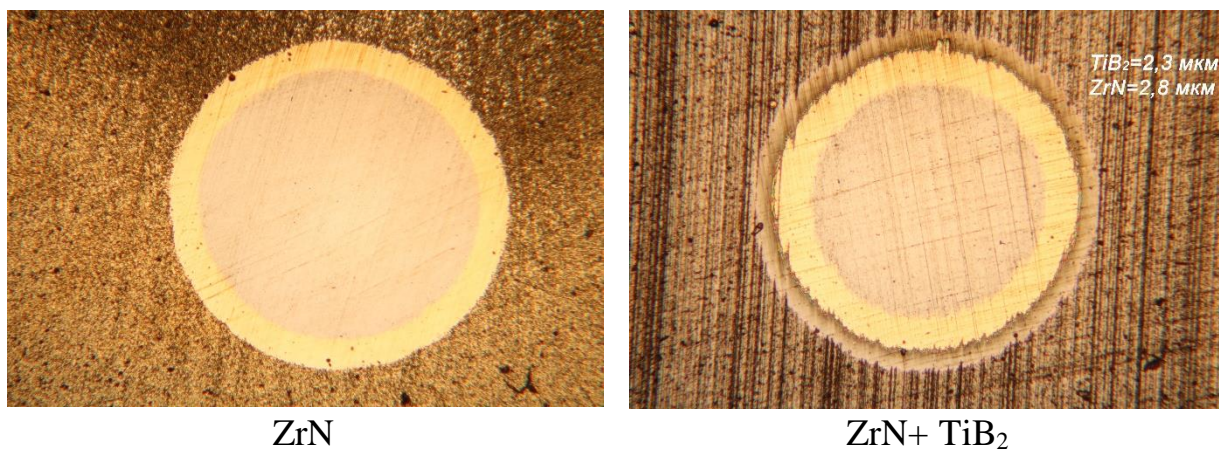


Рис.3.5 Лунка слоев ZrN и ZrN+ TiB₂

В результате измерений было получено покрытие TiB₂ толщиной ~2 мкм

3.3.3 Измерение стойкости полученных композитных покрытий

Измерения адгезии покрытия. Адгезия покрытия определялась по нарушению целостности покрытия в процессе испытания на твердость по Роквеллу. Существует классификация HF1-6 (рис. 5), по которой определяется класс качества полученного отпечатка. Результаты проведенных работ представлены в табл. 3.3.3.

Таблица 3.3.3

Слой	TiB ₂	Cr+TiB ₂	CrN+TiB ₂	ZrN+TiB ₂	TiN+TiB ₂
Класс качества	HF 6	HF4	HF3	HF 5	HF 1

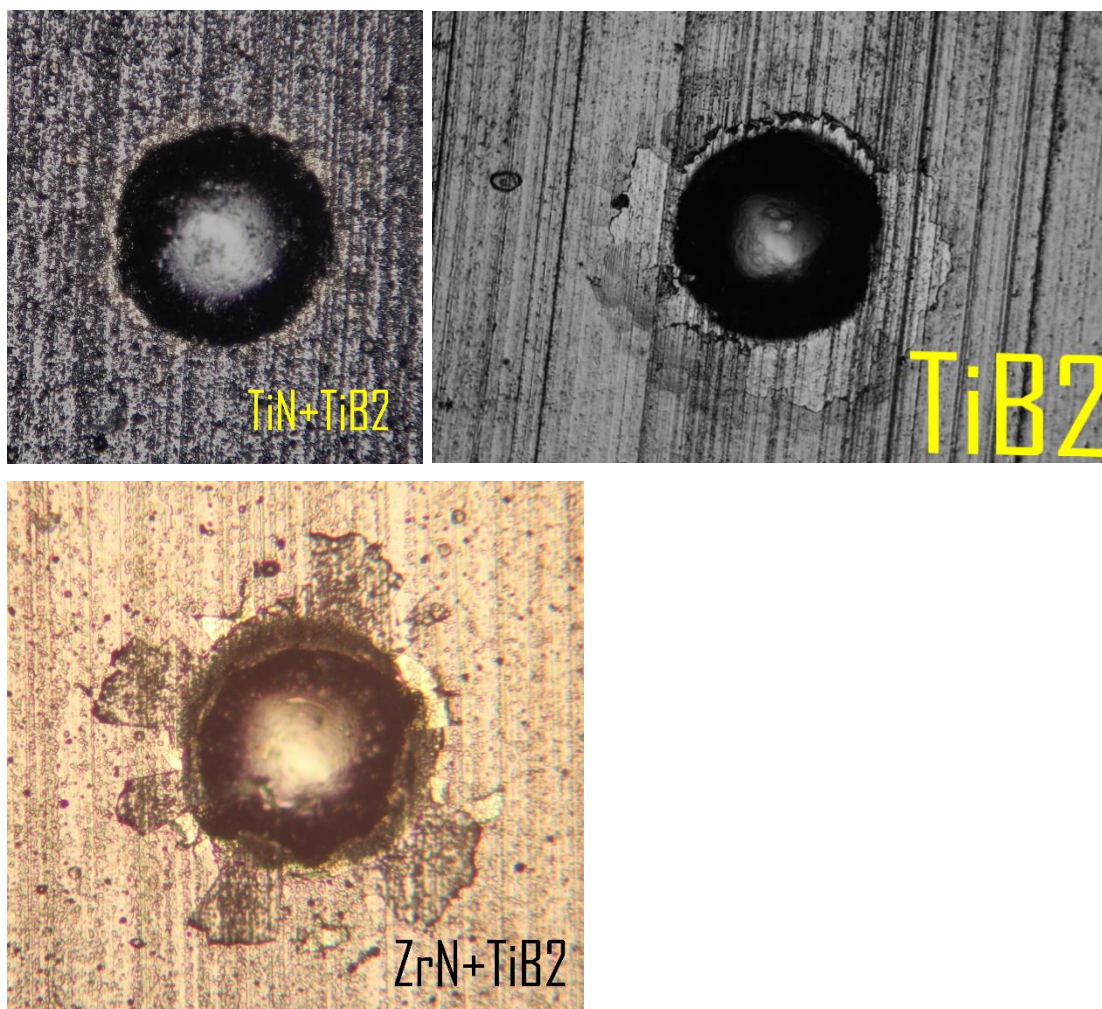


Рис 3.6 Результаты исследования адгезии полученных покрытий.

Результат показал, что адгезия полученного покрытия на подслоях CrN, Cr, ZrN и без подслоя соответствуют 4-6 класс. Это видно по радиальным трещинам и большими расслоениями вокруг кратера, это связано с плохой адгезией пленок к подложке.

На подслое TiN адгезия соответствует 1 классу, это видно по отсутствию трещин вокруг кратера.

По итогам работы отметим, что в целом результаты получения TiB_2 покрытия магнетронным методом напыления получились весьма привлекательными. Что касается самого покрытия TiB_2 , то результат измерения микротвердости показал с некоторым отклонением от справочных данных. Так как обычная твердость TiB_2 составляет 30 ГПа, а в результате работы было получено 20 ГПа. Так же можно выделить, что лучшим

адгезионным подслоем из четырех исследованных выше, в результате показал TiN.

3.4 Элементный состав композита TiN+TiB₂

При осаждении функционального слоя TiB₂, на переходные слои в состав слоя могли попасть различные примеси, которые могут повлиять на функциональные свойства жаростойкого покрытия TiB₂. Источниками примеси могут быть мишень, газовый состав баллона, внутренней стенки вакуумной камеры и т.д.

Для выявления элементного состава функционального слоя, был проведен рентгенофлуоресцентный анализ.

Для анализа был выбран композит TiN+TiB₂, так как данный композит показал лучшие физико- механические характеристики по сравнению с другими полученными композитными покрытиями.

Исследование состава жаростойкого композита TiN+TiB₂ проводилось по методике, описанной в разделе 2.4. Результаты анализа приведены на (рис. 3.7) и в таблице 3.4.

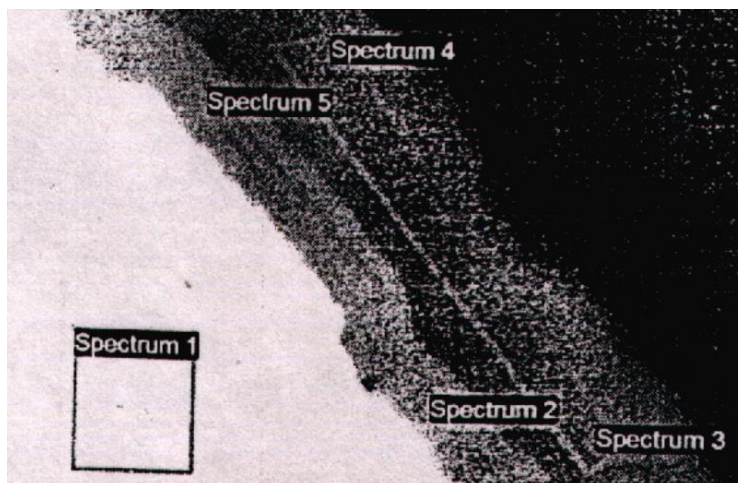


Рис. 3.7 точки спектры на композите TiN+TiB₂

Таблица 3.4 элементный состав композита TiN+TiB₂

Спектр	Содержание элементов, %
--------	-------------------------

	B	C	N	Ti	Co	W
1	-	9.5	-	-	5.11	85.32
2	-	4.64	22.18	65.93	2.15	5.09
3	38.81	-	-	47.50	-	-
4	42.95	-	-	57.05	-	-
5	-	3.16	21.95	66.03	1.82	7.09
Мин.	38.81	3.16	21.95	47.50	1.82	5.09
Макс.	42.95	9.5	22.18	66.03	5.11	85.32

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа, показали, что содержании инородных примесей в функциональном слое 1 мкм не обнаружено. Максимальное содержание элемента бора в композите жаропрочного слоя составила 42,95% , что явно подтверждает наличия бора в функциональном слое композита.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ61	Соатов Далер Махмадуллоевич

Школа	ИШНПТ	Отделение	Материаловедение
Уровень образования	Магистрант	Направление/специальность	Машиностроение

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Потенциальные потребители результатов исследования
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения
3. Планирование и формирование бюджета научных исследований	1. Структура работ в рамках научного исследования 2. Определение трудоемкости выполнения работ 3. Разработка графика проведения научного исследования 4. Бюджет научно – технического исследования (НТИ) 4.1. Расчет материальных затрат НТИ 4.2. Расчет амортизационных выплат 4.3. Основная заработная плата исполнителей темы 4.4. Отчисления на социальные нужды 4.5. Накладные расходы 4.6. Формирование бюджета затрат научно – исследовательского проекта
1. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Старикова Е.В.	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Соатов Д.М.		

ГЛАВА 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности (потенциала) разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований. Через такую оценку ученый может найти партнера для дальнейшего проведения научного исследования, коммерциализации результатов такого исследования и открытия бизнеса. Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, чтобы удовлетворить потребителя, каков бюджет научного проекта, сколько времени потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;

- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

С учетом решения данных задач была сформирована структура и содержание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

4.1 Предпроектный анализ. Потенциальные потребители результатов исследования

В связи с интенсивным использованием труднообрабатываемых материалов в машиностроении, роль повышения свойств режущего инструмента, а именно ее поверхности, становится все важнее и острее.

В связи этой области большой интерес представляет композиционные покрытия, а именно TiB_2 полочными магнетронным распылительным методом. Данный метод позволяет получить защитные покрытия без содержания в состав микрокапель на поверхность режущих пластин твердого сплава ВК8. Полученный функциональный слой TiB_2 обладает ряд свойств, которые увеличивают характеристики режущих пластин что позволяют им обрабатывать тугоплавкие материалы при высоких скоростях резания.

В данной исследовательской работе были получены результаты, которые позволяют говорить о применении в промышленности данного материала в качестве покрытия. Потенциальными потребителями данной технологии являются машиностроительные предприятия, в частности инструментальные заводы, занимающиеся производством режущего инструмента, а также заводы, занимающиеся производством различных деталей для триботехнических систем, работающих в условиях увеличенных нагрузок, температур, агрессивных сред.

Сегментами данного рынка являются количество и размеры изделий на которых можно получить покрытие TiB_2 .

Карта сегментирования рынка потребителей представлена на (таб. 4.1).

Таблица 4.1 карта сегментирования рынка потребителей, по получению покрытия TiB_2 . А- Инструментальный завод; В- авиастроительный завод; С-Медицинский инструментальный завод; D-ювелирные изделия.

	Декоративное изделие	Мелкие изделия	Дорогостоящие изделия	Крупные изделия
Серийная производства		А		
Мелкосерийное производства		С-В	В-С	В
Единичное производство	D		D	

Наиболее привлекательными сегментами для предприятий в будущем после анализа получилось следующими, это Мелкие изделия и дорогостоящие изделия на которых можно наносить данное покрытие

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

На сегодняшний день получения функционально покрытия на основе TiB_2 методом PVD существуют два способа нанесения это электродуговое испарение и магнетронное распыление.

Электродуговое испарение.

Преимущества метода нанесения тонких пленок вакуумным электродуговым методом:

- возможность регулирования скорости нанесения покрытия путем изменения силы тока дуги;

- возможность управлять составом покрытия, используя одновременно несколько катодов или один многокомпонентный катод;
- высокая адгезия покрытий;
- возможность получения тонких пленок металлов, вводя в камеру реакционный газ.

Магнетронное распыление.

Преимущества метода:

- высокая скорость распыления при низких рабочих напряжениях (600...800 В) и при небольших давлениях рабочего газа ($5 \cdot 10^{-1} \dots 10$ Па);
- отсутствие перегрева подложки;
- малая степень загрязнения пленок;

возможность получения равномерных по толщине пленок на большей площади подложек.

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

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _{к1}	Б _{к2}	К _{к1}	К _{к2}
1	2	4	5	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Повышение производительности труда пользователя	0,2	3	4	0,6	0,8
2. Простота технологии нанесения покрытия	0,15	4	4	0,6	0,6
3. Энергоэкономичность	0,05	3	3	0,15	0,15
4. Надежность	0,05	4	5	0,2	0,25
5. Экологичность технологии и материала	0,1	3	3	0,3	0,3
6. Широта области применения покрытия	0,15	4	4	0,6	0,6
Экономические критерии оценки эффективности					
9. Стоимость покрытия	0,15	3	3	0,45	0,45
10. Финансирование научной разработки	0,05	4	4	0,2	0,2
Итого	1	32	35	3,1	3,35

K1 – методы электродуговой

K2 – магнетронный метод

Итогом данного анализа по ресурсоэффективности и экономичности преобладает метод магнетронного распыления. Преимущество заключается в следующем

- низкий расход мишени;
- высокая производительность процесса при низких трудозатратах и ресурсоемкости;
- оптимизация энергоэкономических параметров процессов.

4.1.2 SWOT-анализ

Одним из эффективных средств сокращения расходов режущих пластин на обработку металла сокращается при применении режущих пластин с износостойкими покрытиями.

Основные преимущества данного проекта - универсальность, высокая производительность и возможность создания оптимальных условий формирования упрочнённых слоев с улучшенными характеристиками, увеличение срока службы деталей и механизмов, улучшение качества обрабатываемой поверхности, эффективное использование оборудования, снижение себестоимости изделия.

Но несмотря на все преимущества проекта, есть и слабые стороны. На данном этапе не до конца разработаны оптимальные режимы обработки, исследованы не все технологические параметры процесса комбинированной обработки деталей и механизмов.

Таблица 4.3 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Возможность варьировать технологические	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Не отработана до конца технология.
--	--	---

	<p>факторы эксперимента(толщина слоя покрытия, изменения роста зерн)</p> <p>С2. Высокая производительность</p> <p>С3. Снижение себестоимости изделия</p> <p>С4. Увеличение срока службы режущих пластин</p>	<p>Сл2. Отсутствие квалифицированных кадров по работе с научной разработкой</p> <p>Сл3.Вероятность получения брака</p> <p>Сл4. Приобретения дорогостоящих приборов.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ и ИСЭ СО РАН(т.е использование научного оборудования)</p> <p>В2. В связи с последними политическими событиями наблюдается тенденция на импортозамещение в данной отрасли.</p> <p>В3. Возможность внедрения технологии в производство</p> <p>В4. Участие в грантах</p> <p>В5. Так как группа имеет знания и опыт в данном направлении, то если возможность расширить номенклатуру обрабатываемых изделий</p>	<p>С1В2 – вероятность расширения кол-ва поставщиков (снижение себестоимости изделия)</p> <p>С2В3 - улучшение технологии в производство за счет изменения параметров и режимов нанесения покрытия</p> <p>С3В2 – позволяют при наличии спроса быстро нарастить объемы производства</p> <p>С4В2- качество и стоимость режущих пластин с износостойким покрытием являться конкурентным преимуществом на российском рынке</p>	<p>В1Сл4 –новейшее оборудование, позволит на ранних стадиях исследование, выявить и предотвратить появление брака</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Вероятность появления более выгодных предложений на рынке,</p>	<p>С1У1-возможность изменения параметров и режимов нанесения покрытия, что позволит создавать новые и более</p>	

<p>так как в данном направлении ведется большое количество исследований.</p> <p>У2. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p> <p>У4. Ведения санкции европейских держав, которые могут повлиять на экспорт товара.</p>	качественные конкурентоспособные изделия.	
---	---	--

4.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Таблица 4.4 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	2
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	2
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	3	3

4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	2	1
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	2
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	2
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	1
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	1
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	1
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	1
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	2	1
	ИТОГО БАЛЛОВ	31	21

Согласно таблице 3. выявилось, что оценочные баллы готовности научного проекта к коммерциализации и уровень имеющихся знаний у разработчика не высоки. Перспективность данного проекта, к сожалению, является ниже средней.

4.1.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Выделяют следующие методы коммерциализации научных разработок.

1. Торговля патентными лицензиями.
2. Передача ноу-хау.
3. Инжиниринг.
4. Франчайзинг.
5. Организация собственного предприятия.
6. Передача интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия.
7. Организация совместного предприятия.
8. Организация совместных предприятий.

Из всех перечисленных методов коммерциализации, инжиниринг и торговля патентными лицензиями поможет успешному продвижению разрабатываемого проекта.

4.2 Инициация проекта

В получении результата заинтересованы следующие стороны, представленные в таблице 4.

Таблица 4.5 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Университет	Наличие НИОКР
Студент	Защита магистерского диплома. Получение высшего образования
Предприятия, занимающиеся изготовлением деталей и механизмов	Сокращение времени на производство. Большая производительность. Снижение себестоимости
Потребители	Низкая стоимость изделий по сравнению, с изделиями полученными стандартными методами. Качество покрытий.
Государство	Возможность импортозамещение

В таблице 4.6 представлена информация об иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 4.6 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Определить качества адгезии между приходящим слоем и функциональным.
Ожидаемые результаты проекта:	Выявления качества адгезии первого класса между переходным слоем и функциональным
Критерии приемки результата проекта:	Законченная научно-исследовательская работа, авторы которой имеют список публикаций и участие на международных конференциях.
Требования к результату проекта:	Требование:
	Результат проекта должен иметь актуальное теоретическое и практическое значение
	Наглядные иллюстрации (графики и диаграммы)
	Выполнения проекта в срок

Таблица 4.7 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1		<i>Заказчик проекта</i>		-
2	Гончаренко Игорь Михайлович	<i>Руководитель проекта</i>	Отвечает за реализацию проекта, координирует деятельность участников проекта	1024
	Соатов Далер Махмадуллоевич	<i>Исполнитель по проекту 1</i>	Отвечает за работу оборудования, выполняет технологические работы	1624
ИТОГО:				

Таблица 4.8 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	
3.1.1. Источник финансирования	ИСЭ СО РАН
3.2. Сроки проекта:	
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	25.10.2017
3.2.2. Дата завершения проекта	02.06.2018

4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

4.3.1 Иерархическая структура работ проекта



4.3.2 Контрольные события проекта

Таблица 4.9 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Обсуждение плана проект	10.09.17	Утверждение участников исследования
2	Обзор литературы (сбор необходимой информации)	15.09.17	Отчет по изученной литературе.
3	Получение образцов твердых сплавов W_8 , и получения на них подслоев Cr, CrN, ZrN, TiN	25.10.17	Обработанные образцы
4	Исследование полученных слоев	8.11.17	Исследуемые образцы, иллюстрации (графики, картинки)
5	Описание результатов	23.11.17	Отчет
6	Получение функционального слоя TiB_2	20.01.18	Обработанные образцы
7	Исследование	13.02.18	Исследуемые образцы, иллюстрации (графики, картинки)
8	Описание результатов	14.03.18	Отчет
9	Отчет по исследовательской работе	15.04.18	Отчет
10	Защита диплома	11.06.18	ДИПЛОМ

4.3.3 План проекта

Таблица 4.10 – Календарный план проекта

Код работ ы (из	Название	Длительность, рабочие дни	Дата начала	Дата окончания работ	Состав участников
--------------------	----------	------------------------------	----------------	-------------------------	----------------------

ИСР)			работ		
1-2	Обзор литературы (сбор необходимой информации). Обсуждение плана проект	22	15.09.1 7	15.10.17	Гончаренк о И.М. Соатов Д.М.
3-4	Подготовка необходимого оборудования для исследований. Обсуждение всей имеющейся информации (утверждение технологии)	7	15.10.1 7	25.10.17	Гончаренк о И.М. Соатов Д.М.
5	Проведение эксперимента	15	25.10.1 7	8.11.17	Гончаренк о И.М. Соатов Д.М.
6	Получения переходных слоев на режущие пластины твердого сплава ВК8				
6.1.	Исследование результатов		20.01.1 8	26.01.18	

6.2.	Подготовка образцов для исследования	6			Соатов Д.М.
6.3.	Механические свойства подслоев	10	12.02.18	21.02.18	Соатов Д.М.
6.4.	Описание результатов	5	21.02.18	26.02.18	Соатов Д.М.
7.	Нанесения функционального слоя	15	27.02.18	13.03.18	Гончаренко И.М. Соатов Д.М.
7.1.	Исследование полученных результатов	10	14.03.18	23.03.18	Соатов Д.М.
7.2.	Подготовка образцов для исследования				
7.3.	Механические свойства упрочнённых слоев	10	3.04.18	12.03.18	Соатов Д.М.
7.4.	Описание результатов	3	13.04.18	16.04.18	Соатов Д.М.
8.	Отчет по исследовательской работе (написание статей,	10	16.04.18	25.04.18	Соатов Д.М.

	выступление на конференциях.)				
9.	Написание дипломного проекта	20	25.04.18	15.06.18	Соатов Д.М.
10	И т о г о:	153			

4.3.4 Бюджет научного исследования

Таблица 4.11 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Твердый сплав	ВК8	5 шт	380	1900
Катод Ti		1 шт.	600	600
Катод Cr		1 шт.	1000	1000
Катод Zr		1 шт.	600	600
Баллон азота		20 л	460	460
Баллон аргона		20л	470	470
Алмазная паста		3	1200	3600
Всего за материалы				8630
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				1000
Итого				9630

Амортизационные отчисления

$H_a = (1/T) \cdot 100\%$ - норма амортизации

$$A = S \cdot H_a \cdot t$$

Таблица 4.12 - Амортизационные отчисления

№ п/	Наименование	Цена единицы	Срок служб	Время эксплуатации	H_a , норма	Амортизационные
------	--------------	--------------	------------	--------------------	---------------	-----------------

п	оборудовани я	оборудован ия,руб.	ы, Т,дни	и, t, дни	амортиз ации	отчисле ни я, руб.
1.	Вакуумная ионно- плазменная установка типа ННВ 6.6-И1.	1300000	5475	10	0,00018	2340
2.	Микроскоп МБР 3	300000	3650	15	0,0002	900
3.	Микротверд омер ПМТ- 3М	250000	5475	10	0,00018	450
4	Calotest	25000	4569	5	0.00018	450
5.	ИТОГО					4140

**Заработная плата рабочим рассчитана по тарифным ставкам и
отработанному времени**

Расчет заработной платы персоналу сведем в таблицу

Таблица 4.13 – Расчёт заработной платы

Исполнители	Кол-во	З.п., руб./мес.	Количество отработ. дней	Всего з.п, руб.	Дополн. з.п.	Отчисл. на соц. нужды
Руководитель	1	25000	67	55823	6698	16746
Исполнитель 1	1	9000	123	36900	4428	11070
Итого:				92723	11126	27816

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 12% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}$$

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Отчисления на социальные нужды составляет 30%.

Затраты на электроэнергию

Тариф на электроэнергию – 4,36 руб/(кВт·ч).

Таблица 4.14 – Затраты на электроэнергию

№ п/п	Наименование оборудования	Мощность кВт	Время эксплуатации, (час)	Расход электроэнергии. Руб.
1.	Вакуумная ионно-плазменная установка типа ННВ 6.6-И1.	8	80	2790
2.	Микроскоп МБР 3	0,2	120	104,6
3.	Микротвердомер ПМТ-3	0,02	80	6,9
4.	Calotest	0.02	80	6.9
	ИТОГО			2908,4

Затраты на водоснабжение

Тариф на водоснабжение 30,22 р. м³

Примерный расход воды за время исследований составляет 13 м³

Затраты на водоснабжение за весь период исследования составляет 392,8 руб.

Затраты на водоотведение

Тарифы на водоотведение 20,59 р.м³

Затраты на водоотведение за весь период исследования составляет 267,6 руб.

Полная смета затрат на выполнение НИР

Полная смета затрат приведена в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Полная смета затрат

Статьи	Затраты, руб
Основные и вспомогательные материалы	32320
Заработная плата	129623
Дополнительная заработная плата	15554
Отчисления на социальные нужды	3886
Затраты на электроэнергию	2901,5
Амортизация	3690

Затраты на водоотведение	267,6
Затраты на водоснабжение	392,8
Итого	188634,3

4.3.5 Матрица ответственности

Таблица 4.16 – Матрица ответственности

Этапы проекта	Руководитель	Исполнитель
Обзор литературы (сбор необходимой информации)	оиу	и
Получение переходных слоев на режущие пластины vk8		и
Исследование полученных подслоев	у	ои
Описание результатов	иус	ои
Получение функциональных покрытий		и
Исследование полученных покрытий	у	ои
Описание результатов	иус	ои
Отчет по исследовательской работе	у	ои
Защита диплома	у	ои

4.3.6 Реестр рисков проекта

Таблица 4.17 – Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Повышение цен на сырье, энергию и комплектующие, тем самым	2	4	средний	Планирование финансирования проекта с	Повышение цен поставщиками

	есть риск не уложиться в бюджет проекта				учетом повышения цен.	
2	Нехватка квалифицированной рабочей силы	3	4	средний	Повышение квалификации кадров	При условии, если уволиться или заболеет один из участников проекта
3	Выпуск продукции низкого качества	2	5	средний	Постоянный контроль качества, входе реализации проекта	При условии не верного выполнении технологии изготовления покрытия
4	Не выполнение в срок проекта	2	4	средний	Выполнение в срок отдельных этапов проекта	При условии не хватки квалифицированной рабочей силы, а так же не выполнения в срок отдельных этапов проекта

4.3.7 Оценка сравнительной эффективности исследования

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p,$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов; a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a , b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Таблица 4.18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта.

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Материал азотированный	Материал не азотированный
1. Увеличение объема производства	0,2	5	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	2
3. Цена (уменьшение себестоимость продукции)	0,2	5	3
4. Энергосбережение	0,15	4	3
5. Надежность. Качество	0,2	4	4
6. Материалоемкость	0,15	4	3
ИТОГО	1	4,4	3,1

$$I^{\text{II}}_{\text{m}} = 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 4,4$$

$$I^{\text{I}}_{\text{m}} = 0,2 \cdot 3 + 0,1 \cdot 2 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 = 3,1$$

Вывод к пятому разделу

В данной главе были проанализированы и рассчитаны экономическая эффективность научного исследования. Проанализирован целевой рынок и произведено сегментирование потенциальных покупателей разрабатываемых технологий или готового продукта. Также проведен SWOT-анализ и составлена итоговая матрица SWOT-анализа. Приведен план проекта и рассчитан бюджет научного исследования. Таким образом, можно сделать вывод, что предложенный научно-исследовательский проект имеет не только научную новизну, но и заявляет о своей экологичности, энергоэффективности и экономической эффективности.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ61	Соатов Далер Махмадуллоевич

Школа	ИШНПТ	Отделение	Материаловедение
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Машиностроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) 	<p>Рабочим помещением является лаборатория плазменной эмиссионной электроники ИСЭ СО РАН.</p> <p>Вредные факторы:</p> <p>Шум, недостаточная освещенность, микроклимат электромагнитные поля, физические и эмоциональные перегрузки, умственное перенапряжение</p> <p>Опасные факторы: электрический ток статическое электричество, пожарная безопасность, давление (сосуды под давлением)</p>
<p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</p>	<p>1. ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы»</p> <p>2. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»</p> <p>3. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»</p> <p>4. ГОСТ 12.1.012-90 «Вибрационная безопасность»</p> <p>5. ГОСТ 12.1.007-76 «Вредные вещества»</p> <p>6. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»</p> <p>7. ГОСТ 12.1.006-84 «Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля»</p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<p>Шум и электромагнитные поля исходят от электроприборов (компьютеры и пр.), физические, эмоциональные перегрузки и умственное перенапряжение от несоблюдения норм рабочего времени.</p> <p>Нормы: Освещенность при общем освещении 300 лк (СНиП 23-05-95), виброускорения 75 дБ, виброскорости 67 дБ (СН 2.2.4/2.1.8.566-96), шум 60 дБА (СН 2.2.4/2.1.8.562-96).</p>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); 	<p>Электробезопасность:</p> <p>Электрооборудование (компьютеры, розетки, проводка, осветительные приборы)</p>

<ul style="list-style-type: none"> – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) 	<p>Средства защиты - Использование хлопчатобумажных халатов, изоляция проводки, заземление оборудования</p> <p>Пожаровзрывобезопасность должна обеспечиваться мерами предотвращения пожаров и взрывов и мерами пожаровзрывозащиты. В рабочих помещениях расположены огнетушители, сосуды под давлением</p>
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Материалы, используемые при исследованиях, являются экологически безопасными.</p>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<p>Возможные ЧС на объекте: поражение электрическим током; замыкание электрической цепи, и как следствие, пожар. Превентивные меры по предупреждению ЧС: применение изоляции, недоступность токоведущих частей, применение малых напряжений, изоляция электрических частей от земли. Действия в результате возникшей ЧС и ликвидации ее последствий должны быть описаны в каждой инструкции охраны труда, при приеме на работу сотрудники должны проходить инструктаж по технике безопасности.</p>
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	<p>Эффективный и безопасный труд возможен только в том случае, если производственные условия на рабочем месте отвечают всем требованиям международных стандартов в области охраны труда.</p>
Перечень графического материала:	
<p>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</p>	<p>1. Схема размещения светильников с люминесцентными лампами. 2. План эвакуации из рабочей зоны при ЧС.</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Раденков Тимофей Александрович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Соатов Далер Махмадуллоевич		

ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Описание рабочего места

В данном разделе рассматриваются вопросы по охране труда и окружающей среды, а также обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях, в процессе выполнения научно-исследовательской работы, которая проводилась на базе Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН), в лаборатории плазменной эмиссионной электроники (ЛПЭЭ).

В рамках научно-исследовательской работы, выполнялись исследования результатов комбинированного упрочнения поверхности конструкционных материалов, для этого использовалось следующее оборудование:

1. Установка ионно-плазменная камерная вакуумная, которая предназначена для нанесения на поверхности деталей упрочняющих покрытий и азотирования. Данная установка представляет собой комплекс сложного оборудования, в который помимо рабочей камеры входят, вакуумная система, которая обеспечивает создание в рабочей камере необходимого рабочего давления. Система состоит из клапана с электромагнитным приводом, напускного регулируемого клапана (автоматического натекателя) и электронного блока управления. Электрическая часть служит для электроснабжения установки и управления технологическим процессом. Электроснабжение производится от трехфазной сети напряжением 380 В, цепи управления питаются напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Высоковольтный источник питания, включающий в себя тиристорный преобразователь напряжения, высоковольтный трансформатор и выпрямитель, обеспечивает регулирование напряжения в пределах от 100 до 1500 В. Источник опорного напряжения, включающий в себя тиристорный преобразователь (общий с высоковольтным источником), трансформатор и выпрямитель, обеспечивает регулирование напряжения от 20 до 280 В;

2. Шлифовально-полировальный станок, для подготовки образцов перед обработкой и подготовки поперечных шлифов для исследования;
3. Микротвердомер ПМТ - 3М, для исследования эволюции прочности поверхности стальных подложек в зависимости от режима комбинированной обработки;
4. Световой металлографический микроскоп ММР-4, предназначенный для наблюдения и фотографирования микроструктуры исследуемых объектов.

Проведение исследований включает в себя работу непосредственно с вакуумной установкой, включающую в себя необходимую профилактику, настройку оборудования и контроль в процессе работы установки. А также работу по подготовки образцов и их исследованию с помощью приведенного выше оборудования.

5.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

При выполнении исследовательской работы существует вероятность воздействия следующих производственных факторов: шума, вибраций, электромагнитного излучения, недостаточной освещенности, физические и эмоциональные перегрузки, умственное перенапряжение.

Все опасные и вредные производственные факторы приведены в соответствии с ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ.

5.1.1 Шум на рабочем месте

Шум – всякий нежелательный для человека звук. Звуковые волны возбуждают колебания частиц звуковой среды, в результате чего изменяется атмосферное давление. Шум, который возникает при работе оборудования и превышающий допустимые нормативные значения, воздействует на человека на вегетативную и центральную нервную систему и

органы слуха.

Основными источниками шума при выполнении исследовательской работы в помещении являются вакуумная ионно-плазменная установка. Шум в лаборатории не должен превышать 80 дБА. Уровень шума установлен в ГОСТ 12.1.003-83.

Действие шума на человека зависит от уровня и характера шума, его продолжительности, а также от индивидуальных особенностей человека.

Во время действия шума, превышающего 85...90 Гц, чувствительность слуха снижается. Происходит временное понижение порога слышимости (ВПП), которое исчезает после окончания воздействия шума. Это снижение называется слуховой адаптацией и является защитной реакцией организма.

Действие шума на организм человека не ограничивается воздействием на орган слуха. Патологические изменения, возникшие под влиянием шума, рассматриваются как шумовая болезнь. Это снижение называется слуховой адаптацией и является защитной реакцией организма.

Мероприятия по защите от шума выполняют с помощью применения средств и методов коллективной защиты, разработкой шумобезопасной техники, а также средств индивидуальной защиты. Защита от шума акустическими средствами предполагает звукоизоляцию (устройство звукоизолирующих кабин, кожухов, ограждений, установку акустических экранов); звукопоглощение (применение звукопоглощающих облицовок, штучных поглотителей); глушители шума (абсорбционные, реактивные, комбинированные) .

Если невозможно уменьшить шум, действующий на работников, до допустимых уровней, то необходимо использовать средства индивидуальной защиты (СИЗ) — против шумные вкладыши из ультратонкого волокна “Беруши” одноразового использования, а также против шумные вкладыши многократного использования (эбонитовые, резиновые, из пенопласта) в форме конуса, грибка, лепестка. Они эффективны для снижения шума на средних и высоких частотах на 10–15 дБА. Наушники снижают уровень

звукового давления на 7–38 дБ в диапазоне частот 125–8 000 Гц. Для предохранения от воздействия шума с общим уровнем 120 дБ и выше рекомендуется применять шлемофоны, оголовья, каски, которые снижают уровень звукового давления на 30–40 дБ в диапазоне частот 125–8 000 Гц .

5.1.2 Вибрации на рабочем месте

Вибрация - это периодические колебания материальной точки или точек, составляющих механическую систему.

Воздействие производственной вибрации на человека вызывает изменения как физиологического, так и функционального состояния организма человека. Изменения в функциональном состоянии организма проявляются в повышении утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений. Все это ведет к снижению производительности труда. Изменения в физиологическом состоянии организма — в развитии нервных заболеваний, нарушении функций сердечно-сосудистой системы, нарушении функций опорно-двигательного аппарата, поражении мышечных тканей и суставов, нарушении функций органов внутренней секреции. Все это приводит к возникновению вибрационной болезни .

К способам борьбы с вибрацией относятся снижение вибрации в источнике (улучшение конструкции машин, статическая и динамическая балансировка вращающихся частей машин), виброгашение (увеличение эффективной массы путем присоединения машины к фундаменту), виброизоляция (применение виброизоляторов пружинных, гидравлических, пневматических, резиновых и др.) вибродемпфирование (применение материалов с большим внутренним трением), применение индивидуальных средств защиты (виброзащитная обувь, перчатки со специальными упруго-демпфирующими элементами, поглощающими вибрацию).

Вибрация в лаборатории не должно превышать 75 дБ. Уровень виброскорости установлен в ГОСТ 12.1.012-90.

5.1.3 Вредные вещества

Вредными являются вещества, которые при контакте с организмом могут вызвать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, как в процессе работы, так и в отдалённые сроки жизни настоящего и последующего поколений.

При выполнении работы по упрочнению поверхности образцов, в лаборатории используется газы: аргон и азот. Азот и аргон – газы без цвета и запаха (табл. 5.1).

Аргон и азот – физиологически инертные, нетоксичные газы. Замещая кислород в воздухе, и вытесняя собой кислород из организма, они воздействуют на человека как удушающие агенты (асфиксанты) по причине снижения парциального давления кислорода .

При медленном снижении содержания кислорода в атмосфере до непродолжительно переносимого организмом уровня (5-7%) обнаруживаются симптомы:

- учащение дыхания и пульса, ритм дыхания может быть волнообразным (периоды учащения дыхания сменяются периодами замедления);
- потеря равновесия, головокружение, возможна эйфория;
- чувство тяжести или сдавливания в лобной части головы;
- чувство жара во всем теле;
- чувство покалывания в языке, кончиках пальцев рук и ног;
- изменение восприятия окружающей обстановки и угнетение функции органов чувств, особенно осязания;
- возможны «провалы» памяти и потеря сознания.

Таблица 5.1 – Перечень веществ, используемых при работе [ГОСТ 12.1.007-76]

Рабочий газ	ПДК _{р.з.} мг/м ³	Класс опасности	Агрегатное состояние
Ar	2,4	2	газ

N ₂	2	2	газ
----------------	---	---	-----

Симптомы могут появляться в зависимости от индивидуальной предрасположенности человека к действию гипоксии.

При резком снижении содержания кислорода в атмосфере и, особенно при случайном попадании человека в среду азота или аргона достаточно нескольких вдохов для снижения парциального давления кислорода в крови до критического уровня – наступает потеря сознания, практически всегда внезапно. Разницы в воздействии на человека аргона или азота при полном вытеснении ими из атмосферы кислорода не существует .

5.1.4 Микроклимат на рабочем месте

От микроклимата на рабочем месте зависит состояние здоровья человека и его работоспособность. Не имея возможности эффективно влиять на протекающие в атмосфере климатообразующие процессы, люди располагают качественными системами управления факторами воздушной среды внутри производственных помещений.

Микроклимат производственных помещений — это климат внутренней среды данных помещений, который определяется совместно действующими на организм человека температурой, относительной влажностью и скоростью движения воздуха, а также температурой окружающих поверхностей (ГОСТ 12.1.005 "Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны").

Факторы, влияющие на микроклимат, можно разделить на две группы: нерегулируемые (комплекс климатообразующих факторов данной местности) и регулируемые (особенности и качество строительства зданий и сооружений, интенсивность теплового излучения от нагревательных приборов, кратность воздухообмена, количество людей и животных в помещении и др.)

Длительное воздействие на человека неблагоприятных условий резко ухудшает его самочувствие, снижается производительность труда, и приводит к заболеванию.

- 1) воздействие высокой температуры быстро утомляет, может привести к перегреву организма, тепловому удару или профессиональным заболеваниям.
- 2) низкая температура – местное или общее охлаждение организма, причина простудных заболеваний или обморожения.
- 3) высокая относительная влажность при высокой температуре способствует перегреву организма; при низкой усиливает теплоотдачу с поверхности кожи, что ведет к переохлаждению.
- 4) низкая влажность вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Проект относится к работе средней тяжести (категория Пб), микроклиматические условия на рабочих местах должны соответствовать требованиям, указанным в табл. 5.2:

Таблица 5.2 – Допустимые параметры микроклимата на рабочем месте (СанПиН 2.2.4.548-96)

Период года	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С.	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	ниже Диапазон оптимальных величин	выше Диапазон оптимальных величин			не оптим.величин Ниже более	не оптим.величин Выше более
Холодный	15-22	21,1-23,0	14-23	15-75	0,1	0,3

Теплый	16-27	22,1-27,0	15-28	15-75	0,1	0,4
--------	-------	-----------	-------	-------	-----	-----

При обеспечении допустимых показателей микроклимата температура внутренних поверхностей конструкции, ограждающих рабочую зону (стен, потолка, пола) не должна превышать предел допустимых величин температуры воздуха.

В холодный период года следует применять средства защиты рабочего места от радиационного охлаждения от остекленных поверхностей оконных проемов, в теплый период от попадания прямых солнечных лучей.

Интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей оборудования, осветительных приборов не должна превышать 70Вт/м при величине облучения поверхности от 25% до 50% на постоянных рабочих местах.

Температура в рабочей зоне поддерживается отоплением в холодный период и вентиляцией в теплый период.

5.1.5 Электромагнитное излучение на рабочем месте

ЭМ излучение наибольшее влияние оказывает на иммунную, нервную, эндокринную и половую систему.

Иммунная система – уменьшается выброс в кровь специальных ферментов, выполняющих защитную функцию, происходит ослабление системы клеточного иммунитета:

Воздействие на нервную систему проявляется в раздражительности, быстротой утомляемости, ослаблении памяти, нарушении сна, общей напряженности. В качестве средств индивидуальной защиты рекомендуются специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани, и защитные очки. Лечебно-профилактические мероприятия должны быть направлены прежде всего на раннее выявление нарушений в состоянии здоровья работающих. Для этой цели предусмотрены предварительные и периодические медицинские осмотры лиц, работающих в условиях

воздействия СВЧ, — 1 раз в 12 месяцев, УВЧ и ВЧ-диапазона — 1 раз в 24 месяца.

В лаборатории в диапазоне частот 10 - 30 кГц напряженность электрического и магнитного полей на рабочих местах персонала не должна превышать следующих ПДУ: 500 В/м и 50 А/м - при воздействии в течение полного рабочего дня; 1000 В/м и 100 А/м - при воздействии до 2-х часов за рабочий день. В диапазоне частот 30 - 60 кГц ПДУ напряженности электрического и магнитного полей в зависимости от времени воздействия. Предельно допустимый уровень электромагнитного излучения установлен в ГОСТ 12.1.006-84.

5.2 Освещение на рабочем месте

Правильно спроектированное и выполненное производственное освещение улучшает условия зрительной работы, снижает утомляемость, способствует повышению производительности труда, благотворно влияет на производственную среду, оказывая положительное психологическое воздействие на работающего, повышает безопасность труда и снижает травматизм.

Недостаточность освещения приводит к напряжению зрения, ослабляет внимание, приводит к наступлению преждевременной утомленности. Чрезмерно яркое освещение вызывает ослепление, раздражение и резь в глазах. Неправильное направление света на рабочем месте может создавать резкие тени, блики, дезориентировать работающего. Все эти причины могут привести к несчастному случаю или профзаболеваниям, поэтому столь важен правильный расчет освещенности.

Существует три вида освещения, в зависимости от источника света - естественное, искусственное и совмещенное:

Естественное освещение - освещение помещений дневным светом,

проникающим через световые проемы в наружных ограждающих конструкциях помещений.

5.2.1 Расчет искусственного освещения

Основными источниками света являются люминесцентные лампы. В помещении лаборатории используются светильники типа ШОД.

ШОД - для нормальных помещений с хорошим отражением потолка и стен, допускается при умеренной влажности и запыленности.

Основные требования и значения нормируемой освещенностей рабочих поверхностей изложены в строительных нормах и правилах СНиП 23-05-95, выбор освещенности осуществляется в зависимости от размера объекта различения, контраста объекта с фоном, характеристики фона. Для того чтобы установить в каждом конкретном случае все перечисленные предметы, необходимо знание особенностей зрительной задачи на данном рабочем месте.

При работе с персональным компьютером в сочетании с работой с нормативной и технической документацией согласно нормам СНиП 23-05-95 регламентируется значение освещенности рабочих мест.

Значение коэффициента запаса, выбираемого для помещения с малым выделением пыли менее 1 мг/м³ пыли, дыма, копоти, для светильников ШОД $K_3=1,4$.

При выборе расположения светильников необходимо руководствоваться двумя критериями:

1. Обеспечение высокого качества освещения, ограничение ослабленности и необходимой направленности света на рабочие места.
2. Наиболее экономичное создание нормированной освещенности.

Для равномерного общего освещения светильники расположены параллельно стенам.

Площадь помещения равна $S=42 \text{ м}^2$.

В зависимости от типа светильников существует выгодное относительное расстояние между рядами светильниками:

$$\lambda = L/h ,$$

где L-расстояние между светильниками, м;

h- высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, h=2,5 м.

Светильники с люминесцентными лампами рекомендуется устанавливать рядами параллельно длинной стороне помещения или стене с окнами. При использовании светильников с люминесцентными лампами $\lambda = 1,3 \dots 1,5$.

Выберем для светильников ШОД $\lambda=1,4$.

Отсюда следует, что $L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,5 = 3,5(\text{м})$ – округлим значение до L=3.

При размещении светильников общего освещения для сокращения равномерности распределения освещенности по помещению необходимо регламентировать расстояние от крайнего ряда светильников до стен. В производственных помещениях это расстояние не должно превышать (0,25...0,3) L.

Изобразим в соответствие с исходными данными план помещения, укажем на нем расположение светильников и определим их число.

Всего необходимо 6 светильников ШОД-2-80. Длина одного светильника - 1м., ширина - 0,5 м.

Произведем расчет осветительной установки методом коэффициента использования светового потока. Этот метод является наиболее точным и распространенным методом расчета. Применяя этот метод, можно определить световой поток ламп, необходимый для создания заданной освещенности горизонтальной поверхности с учетом света, отраженного стенами и потолком или, наоборот, найти освещенность при заданном потоке.

Расчет осветительной установки.

Величина светового потока лампы определяется по формуле:

$$F = E \cdot S \cdot z \cdot k_3 / n \cdot \eta, \text{ лм}$$

Где F-световой поток лампы, лм;

E- минимальная освещенность, лк, E = 300 лк;

S- площадь помещения, м^2 , $S=42 \text{ м}^2$;

z-поправочный коэффициент, $z=0,9$;

k- коэффициент запаса, $k=1,4$ осветительной установки;

η -коэффициент использования осветителей, %;

n- число ламп в помещении.

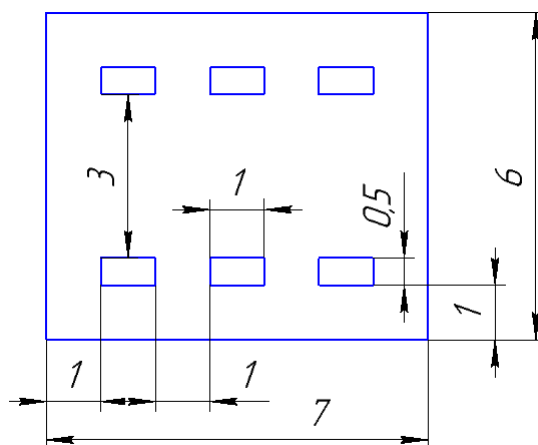


Рис. 6.1 – Схема расположения светильников

Коэффициент использования светового потока - это отношение полезного светового потока, достигающего освещенной поверхности, к полезному световому потоку в помещении. Для определения коэффициента η необходимо знать индекс помещения i , значение коэффициентов отражения стен, тип светильника.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = S/h(A + B)$$

где S- площадь помещения, м^2

h- высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, м

A,B- стороны помещения, м.

$$i = 42/2,5(6 + 7) = 1,3$$

Коэффициент отражения стен и потолка оцениваются субъективно и определяются по таблице для свежепобеленного потолка и со свежепобеленными окнами без штор равно 50% и 70% соответственно.

Находим коэффициент использования светового потока светильников с люминесцентными лампами: $\eta=42\%$.

Теперь определим F :

$$F = 300 \cdot 42 \cdot 0,9 \cdot 1,4 / 12 \cdot 0,42 = 2250(\text{лм})$$

выбираем стандартную лампу с потоком 2480Лм. Тип источника света ЛБХ.

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \Phi_{\text{л.станд.}} - \Phi_{\text{л.расч.}} / \Phi_{\text{л.станд.}} \cdot 100\% \leq +20\%$$

Получаем

$$-10\% \leq 5,96\% \leq +20\%$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки

$$P = n \cdot P_0,$$

где n - количество осветительных элементов;

P_0 - мощность одного осветительного элемента.

$$P = 12 \cdot 40 = 480 \text{ Вт.}$$

5.3 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

5.3.1 Давление

Баллоны — закрытые металлические сосуды (стандартные и нестандартные) для хранения, транспортировки сжатых, сжиженных или растворенных газов. Они изготавливаются из бесшовных труб (углеродистая или легированная сталь).

В лаборатории используются сосуды и аппараты, работающие под давлением. Они являются источником повышенной опасности для окружающих. Основная опасность заключается в возможности их разрушения под давлением газов и паров — так называемом физическом взрыве.

Взрывозащита систем повышенного давления достигается организационно-техническими мероприятиями; разработкой инструктивных материалов, регламентов, норм и правил ведения технологических процессов; организацией обучения и инструктажа обслуживающего персонала; осуществлением контроля и надзора за соблюдением норм технологического режима, правил и норм техники безопасности, пожарной безопасности и т.п. Кроме того, оборудование повышенного давления должно быть оснащено системами взрывозащиты, которые предполагают:

- применение гидрозатворов, огнепреградителей, инертных газов или паровых завес;
- защиту аппаратов от разрушения при взрыве с помощью устройств аварийного сброса давления (предохранительные мембраны и клапаны, быстродействующие задвижки).

5.3.2 Электрический ток

Корпус электродвигателя или трансформатора, арматура электрического светильника или трубы электропроводки не находятся под напряжением относительно земли благодаря изоляции от токоведущих частей. Однако в случае повреждения изоляции любая из этих частей может оказаться под напряжением, нередко равным фазному. Электродвигатель с пробитой на корпус изоляцией обычно соединен с машиной, которую он приводит в движение.

Поражение электрическим током возникает при соприкосновении с электрической цепью, в которой присутствуют источники напряжения или источники тока, способные вызвать протекание тока по попавшей под напряжение части тела. Обычно чувствительным для человека является пропускание тока силой более 1 мА. Кроме того, на установках высокого напряжения возможен удар электрическим током без прикосновения к токоведущим элементам, в результате утечки тока или пробоя воздушного промежутка. Сила поражения зависит от мощности разряда, от времени

воздействия, от характера тока (постоянный или переменный), от состояния человека — влажности рук и т. п., а также от места соприкосновения и пути прохождения тока по организму.

Последствия поражением электрически током:

- Из-за высокого электрического сопротивления человеческих тканей происходит довольно быстрое их нагревание, что может вызывать ожоги.
- Даже сравнительно малые напряжения, порядка 110—230 В, при кратковременном контакте с грудной клеткой могут вызывать сбой в работе сердечной мышцы (60 мА для переменного тока, 300—500 мА для постоянного). Удар током также используется для восстановления работы сердца, таким образом устраняя эффект фибрилляции. Такой прибор называется дефибриллятором.
- Удар током может вызвать сбой в работе нервной системы, например, беспорядочные сокращения мышц. Повторяющиеся удары могут вызвать невропатию. Острая электротравма может стать причиной нарастающей асистолии.
- При поражении головы электрическим током возможна потеря сознания.

Основными мерами защиты от поражения током являются: обеспечение недоступности токоведущих частей, находящихся под напряжением, для случайного прикосновения; защитное разделение сети; устранение опасности поражения при появлении напряжения на корпусах, кожухах и других частях электрооборудования, что достигается применением малых напряжений, применением двойной изоляции, выравниванием потенциала, защитным заземлением, занулением, защитным отключением и др.; применение специальных защитных средств — переносных приборов и приспособлений; организация безопасной эксплуатации электроустановок.

Окружающая среда (влажность и температура воздуха, наличие заземленных металлических конструкций и полов, токопроводящей пыли и

др.) оказывает дополнительное влияние на условия электробезопасности. Степень поражения электрическим током во многом зависит от плотности и площади контакта человека с токоведущими частями.

По условиям электробезопасности установки, используемые при выполнении работы, относятся к категории установок, работающих с напряжением до 1000В. Устройства относятся к 1 классу, так как имеет рабочую изоляцию и место заземления.

Безопасность эксплуатации при нормальном режиме работы установок обеспечивается следующими защитными мерами:

1. применение изоляции;
2. недоступность токоведущих частей;
3. применение малых напряжений;
4. изоляция электрических частей от земли.

Рабочее помещение относится ко второй категории по степени опасности поражения электрическим током – помещения с повышенной опасностью, поскольку в помещении находится достаточно большое количество электрического оборудования и соответственно сопутствующие этому явления: заземление, токопроводящие части и др. (ПУЭ, 1999).

Соответственно, к работе допускается персонал с категорией электробезопасности II и выше - электротехнологический персонал, у которого в управляемом им технологическом процессе основной составляющей является электрическая энергия (например, электросварка, электродуговые печи, электролиз и т.д.), использующий в работе ручные электрические машины, переносной электроинструмент и светильники, и другие работники, для которых должностной инструкцией или инструкцией по охране труда установлено знание правил безопасности при эксплуатации электроустановок (где требуется II или более высокая группа по электробезопасности).

Ионные и лазерные установки должны компоноваться, а входящие в их состав блоки размещаться с учетом мер, обеспечивающих

помехоустойчивость управляющих и измерительных цепей этих установок от электромагнитного воздействия, вызываемого флуктуацией газового разряда, обуславливающей характер изменения нагрузки источника питания (по ПУЭ, 1999).

Рабочее место удовлетворяет всем требованиям безопасности жизнедеятельности: нет доступа к токоведущим частям, все источники питания пронумерованы, корпуса оборудования заземлены.

5.3.3 Статическое электричество

Статическое электричество (согласно ГОСТ 12.1.018) — это совокупность явлений, связанных с возникновением, сохранением и релаксацией свободного электрического заряда на поверхности (или в объеме) диэлектриков или на изолированных проводниках.

При прикосновении человека к предмету, несущему электрический заряд, происходит разряд последнего через тело человека. Величины возникающих при разрядке токов небольшие и они очень кратковременны. Поэтому электротравм не возникает. Однако разряд, как правило, вызывает рефлекторное движение человека, что в ряде случаев может привести к резкому движению, падению человека с высоты.

Кроме того, при образовании заряда с большим электрическим потенциалом вокруг них создается электрическое поле повышенной напряженности, которое вредно для человека. При длительном пребывании человека в таком поле наблюдаются функциональные изменения в центральной нервной, сердечно-сосудистой и других системах.

Допустимые уровни напряженности электростатических полей установлены в ГОСТ 12.1.045-84. «Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.» Допустимые уровни напряженности полей зависят от времени пребывания на рабочих

местах. Предельно допустимый уровень напряженности электростатических полей равен 60 кВ/м в 1 ч.

Применение средств защиты работающих обязательно в тех случаях, когда фактические уровни напряженности электростатических полей на рабочих местах превышают 60 кВ/м.

При выборе средств защиты от статического электричества должны учитываться особенности технологических процессов, физико-химические свойства обрабатываемого материала, микроклимат помещений и др., что определяет дифференцированный подход при разработке защитных мероприятий.

Защита от статического электричества осуществляется двумя путями:

- уменьшением интенсивности образования электрических зарядов;
- устранением образовавшихся зарядов статического электричества.

Уменьшение интенсивности образования электрических зарядов достигается за счет снижения скорости и силы трения, различия в диэлектрических свойствах материалов и повышения их электропроводимости. Уменьшение силы трения достигается смазкой, снижением шероховатости и площади контакта взаимодействующих поверхностей. Скорости трения ограничивают за счет снижения скоростей обработки и транспортировки материалов.

Еще один распространенный метод устранения электростатических зарядов — ионизация воздуха. Образующиеся при работе ионизатора ионы нейтрализуют заряды статического электричества. Таким образом, бытовые ионизаторы воздуха не только улучшают аэроионный состав воздушной среды в помещении, но и устраняют электростатические заряды, образующиеся в сухой воздушной среде на коврах, ковровых синтетических покрытиях, одежде. На производстве используют специальные мощные ионизаторы воздуха различных конструкций, но наиболее распространены электрические ионизаторы.

В качестве индивидуальных средств защиты могут применяться антистатическая обувь, антистатические халаты, заземляющие браслеты для защиты рук и другие средства, обеспечивающие электростатическое заземление тела человека.

5.4 Пожаробезопасность на рабочем месте

Помещение лаборатории можно отнести ко 2-ой группе по степени опасности развития пожара, характеризующейся достаточно серьезной пожарной нагрузкой, поскольку в лаборатории находится достаточное количество электрического оборудования, а также присутствуют легковоспламеняющиеся вещества (спирт, бензин и др.).

Как известно причины возникновения пожаров может быть: неосторожное обращение с огнём; несоблюдение правил эксплуатации производственного оборудования и электрических устройств; самовозгорание веществ и материалов; разряды статического электричества; грозовые разряды .

Опасные факторы пожара, воздействующие на людей:

- высокая температура среды в зоне горения, открытый огонь, искры;
- дымообразование, токсичные продукты горения;
- пониженная концентрация кислорода в зоне пожара за счет его роли как окислителя в химических реакциях при горении;
- обрушение конструкций здания, падение обгоревших предметов;
- вероятность взрыва.

Высокая температура в зоне горения может привести к ожогам или сгоранию кожного покрова тела и внутренних органов человека, вызвать потерю несущей способности строительных конструкций зданий и сооружений, их обрушение.

Дымообразование чрезвычайно опасно для человека. При пожарах выделяется большое количество дыма. Дым — сложная смесь газообразных и

мелкодисперсных продуктов горения. Большинство составляющих дыма для человека небезопасны. Их вдыхание приводит к острым отравлениям.

Исходя из выше сказанного, неотъемлемой частью комплекса защитных мероприятий на рабочем месте являются мероприятия, направленные на обеспечение противопожарной безопасности. Необходимо:

- Периодически проверять состояние пожарной безопасности объекта;
- Обеспечить содержание в постоянной исправности систем противопожарной защиты (противопожарного водопровода, установок сигнализации, автоматического пожаротушения и др.). В случае неисправности или выхода из строя этих систем принимать меры к приведению их в работоспособное состояние;
- Организовать противопожарную подготовку (противопожарный [инструктаж](#), пожарно-технический минимум) подчиненных работников.
- Не допускать к работе лиц, не прошедших противопожарного инструктажа. (и другие мероприятия по НПБ-105-03)

В нашем случае наиболее вероятным источникам возгорания может оказаться неисправность и неправильная эксплуатация электроустановок.

Предусмотренные в лаборатории средства пожаротушения (согласно требованиям противопожарной безопасности СНиП 2.01.02.-85) огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом и ящик с песком (в коридоре). Кроме того, каждое помещение оборудовано системой противопожарной сигнализации.

5.5 Охрана окружающей среды

Охрана окружающей среды — комплекс мер, предназначенных для ограничения отрицательного влияния человеческой деятельности на природу. Также из-за использования обтирочных материалов образуются твердые отходы, для которых предусмотрены места хранения, и в конце рабочего дня они очищаются. При удалении отходов с территории предприятия им

присваиваются категории опасности и вывозятся на соответствующие полигоны (промышленных отходов, токсичных отходов и т.д.).

Вышедшие из строя люминесцентные и другие ртутные лампы не должны бесконтрольно выбрасываться, они подлежат утилизации. В каждой такой лампе. Имеется то или иное количество металлической ртути, которая при механическом разрушении лампы загрязняет окружающую Среду (воздух, почву), что чрезвычайно опасно для здоровья людей. Поэтому до утилизации неисправные лампы хранят на складах. Перед вывозом ламп на свалку ртуть из них должна быть изъята или нейтрализована.

5.6 Защита в ЧС

Возможные чрезвычайные ситуации при выполнении проекта являются: поражение электрическим током, замыкание электрической цепи, и как следствие, пожар. Для предотвращения ЧС необходимо осуществлять меры по технике безопасности на рабочем месте.

При обнаружении обрыва проводов питания, неисправности заземления и других повреждений электрооборудования, появления запаха гари необходимо немедленно отключить питание и сообщить об аварийной ситуации руководителю отдела (ответственному) и дежурному электрику.

При обнаружении человека, попавшего под напряжение, немедленно освободить его от действия тока путем отключения электропитания и до прибытия врача оказать потерпевшему первую медицинскую помощь.

При возгорании оборудования по питание и принять меры к тушению очага пожара при помощи углекислого или порошкового огнетушителя, вызвать пожарную команду и сообщить о происшествии ответственному по пожарной безопасности отдела.

В случае, невозможности самостоятельного тушения возникшего пожара, необходимо эвакуироваться согласно плану, представленному на рисунке 5.2, предварительно плотно закрыв за собой дверь.



Рис. 5.2 – План эвакуации

5.7 Организационные защитные мероприятия

При поступлении на работу с каждым с сотрудником проводится инструктаж по технике безопасности, что незамедлительно фиксируется в соответствующем журнале.

Каждый сотрудник знакомится с правилами оказания первой помощи при поражениях электрическим током, в помещении лаборатории находится аптечка со всеми необходимыми медикаментами.

На стене вывешивается инструкция по технике безопасности, план эвакуации при пожаре.

5.8 Меры по технике безопасности на рабочем месте

1. К работе с электроустановками допускаются лица, имеющие третью либо четвертую группу допуска, устанавливаемые квалификационной комиссией.

2. Лица, не имеющие непосредственного отношения к обслуживанию электроустановок, к работе с ними не допускаются.

3. Все питающие части должны быть заземлены. Сопротивление заземления должно не превышать 40м.

4. Запрещается под напряжением очищать от пыли и загрязнения электрооборудование.

5. Запрещается проверять работоспособность электрооборудования в непригодных для эксплуатации помещениях с токопроводящими полами, сырых, не позволяющих заземлить доступные металлические части.

6. Во избежание поражения электрическим током, при пользовании электроприборами нельзя касаться одновременно каких-либо трубопроводов, батарей отопления, металлических конструкций, соединенных с землей.

7. При приближении грозы необходимо оперативно закончить работу на компьютере и отключить его от сети во избежание повреждения последовательного порта и исключения сбоев при возможных скачках напряжения в сети, характерных в подобных случаях.

8. Недопустимо под напряжением проводить ремонт средств вычислительной техники и периферийного оборудования. Ремонт электроаппаратуры производится только специалистами-техниками с соблюдением необходимых технических требований.

5.8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

1. ГОСТ 54 30013-83 Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности

2. ГОСТ 12.4.154-85 "ССБТ. Устройства, экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты"

3. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны

4. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 "Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)".

5. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

6. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.

7. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

8. ГОСТ 12.4.123-83. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования.

9. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. 10. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление.

Вывод, были рассмотрены различные чрезвычайные ситуации при работе на установке и поведение в них, а также правила работы с установкой в целях предотвращения несчастных случаев. В целях практической работы, был произведен расчет искусственной освещенности рабочей зоны, результатом которого является соответствие рассчитанного типа ламп ЛД.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполненной работы можно сделать следующие выводы:

1. Установлены оптимальные режимы нанесения функционального слоя покрытия системы $\text{TiN}+\text{TiB}_2$, полученными магнетронным и электродуговым методом распылений мишеней. В результате выявлено, что оптимальный комплекс свойств функционального слоя того покрытия, достигается при температуре 350°C и напряжении смещения – 250В. Так же одним из ключевых параметров нанесения магнетронным методом распыления является расстояние между катодом и подложкой, для оптимального формирования функционального слоя покрытия TiB_2 составляла 50 мм.

2. Установлены оптимальные режимы нанесения функционального слоя покрытия системы $\text{TiN}+\text{TiB}_2$, полученными магнетронным и электродуговым методом распыления мишени. В результате выявлено, что оптимальный комплекс свойств функционального слоя того покрытия, достигается при температуре 350°C и напряжении смещения – 250В. Так же одним из ключевых параметров нанесения магнетронным методом распыления является расстояние между катодом и подложкой, для оптимального формирования функционального слоя покрытия TiB_2 составляла 50 мм.

3. Установлены закономерности влияния параметров осаждения переходных слоев Cr, CrN, ZrN, TiN на скорость формирования подслоев и свойства покрытий вакуумно-дуговым методом напыления. Обнаружено, что оптимальный комплекс свойств переходных слоев покрытий TiN и ZrN достигается при температуре 300°C и напряжении смещения $-(200-250)\text{В}$, а слоев Cr, CrN при температуре $200-250^\circ\text{C}$ напряжении смещения $-(200-250)\text{В}$.

4. Выполнен сравнительный анализ структуры, физических, механических характеристик полученных композиционных покрытий $\text{TiN}+\text{TiB}_2$; $\text{ZrN}+\text{TiB}_2$; $\text{CrN}+\text{TiB}_2$; $\text{Cr}+\text{TiB}_2$; TiB_2 . Выявлено, оптимальное с точки зрения физических и механических свойств, композиционное покрытие $\text{TiN}+\text{TiB}_2$; в котором переходной слой составил 1-2 мкм. Наихудшими физико-механическими свойствами, получилось композиты $\text{ZrN}+\text{TiB}_2$, и TiB_2 (без подслоя). Высокую твердость защитного слоя TiB_2 , имел композит $\text{TiN}+\text{TiB}_2$, твердость достигала 2096 кг/мм^2 , а низкую композит $\text{Cr}+\text{TiB}_2$, твердость составила 1520 кг/мм^2 . Адгезионные свойства композитов, в результате исследования классом 1 показал $\text{TiN}+\text{TiB}_2$.

5. Выполнен рентгенофлуоресцентный анализ композита $\text{TiN}+\text{TiB}_2$. Анализ показал максимальное содержание бора на верхнем слое TiB_2 композиционного покрытия – 42,95%, а Ti – 66.03%. Так же

анализ выявил, что функциональный слой, полученный магнетронным методом распыления, получился абсолютно чистым без содержания однородных примесей.

По итогам полученных данных можно сказать об работоспособности жаростойкого композиционного покрытия $\text{TiN}+\text{TiB}_2$, и использования в качестве защитного барьера для режущих пластинок из ВК8.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

Часть материалов исследовательской работы была представлена в авторстве на IX Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии в машиностроении», проходившей в ЮТИ ТПУ (г. Юрга) с 24 по 26 мая 2018 г.

Получение и исследование эксплуатационных свойств инструментальных покрытий. Соатов Д.М. НИ ТПУ (Томск), Куренбин Т.А. ООО ПК МИОН (Томск), Гончаренко И.М., ИСЭ СО РАН (Томск).

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И КОНТРОЛЯ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ: сборник трудов IX Международной научно-практической конференции/ Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – 295 с

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корбут Е. В., Лабунец В. Ф. Особенности изнашивания инструмента при обработке титановых сплавов // Проблемы тертя та зношування. – 2011. – №. 55. – С. 83-93.
2. Трудности обработки титана. [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://www.tochmeh.ru/info/obrtit.php> – Загл. с экрана.
3. Основные сведения о титане и его сплавах. [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://www.metotech.ru/titan-opisanie.htm#> – Загл. с экрана.
4. Механическая обработка титана. [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://www.npprusmet.ru/articles.php?id=57>-Загл. с экрана.
5. Резников Н.И., Бурмистров Е.В., Жарков И.Г. Обработка резанием жаропрочных, высокопрочных и титановых сплавов. – М.: Машиностроение, 1972. – 200 с.
6. Huang P. et al. Milling force vibration analysis in high-speed-milling titanium alloy using variable pitch angle mill // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2012. – Т. 58. – №. 1-4. – С. 153- 160.
7. Сутягин В. В., Сайкин С. А. Повышение ресурса концевых инструментов за счет применения нанокompозитных PVD-покрытий при обработке титановых сплавов в авиастроении // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2008. – №. 5. – С. 41-44.
8. Григорьев С.Н. Методы повышения стойкости режущего инструмента: учебник для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 2011. – 368 с.: ил.
9. S. Veprek, S. Reiprich. A concept for the design of novel superhard coatings.//Thin Solid Films 268 (1995), 64-71.
10. T. Hirai and S. Hayashi, J. Mater. Sci.17 (1982) 1320.
11. Brauer G. Magnetron sputtering – Milestones of 30 years / Brauer G., Szyszka B., Vergohl M., Bandorf R.// Vacuum. – 2010. – №84. – P. 1354-1359;

12. Kelly P.J. Magnetron sputtering: a review of recent developments and applications/ Kelly P.J., Arnell R.D. // Vacuum. – 2000. – №56. – P.159172;
13. Musil J. Recent advances in magnetron sputtering technology // Surface and Coatings Technology. – 1998. – №100-101. – P. 280-286 38. Wu Z. et al. Al-Mg-B thin films prepared by magnetron sputtering // Vacuum. – 2010. – V. 85. – P.541-545;
14. Wu B.H. et al. Plasma characteristics and properties of Cu films prepared by high power pulsed magnetron sputtering // Vacuum. – 2017. – V. 135. – P. 93-100;
15. Boo J.-H., et al. High-rate deposition of copper thin films using newly designed high-power magnetron sputtering source // Surf. Coat. Technol. – 2004. – V. 188-189. – P. 721-727;
16. Каблов Е.Н. Литые лопатки газотурбинных двигателей. – М.: МИСИС, 2006, 632 с.
17. Коломыцев П.Т. Газовая коррозия и прочность никелевых сплавов. М.: Металлургия, 1984, 216 с.
18. Каблов Е.Н., Голубовский Е.Р. Жаропрочность никелевых сплавов. – М.: Машиностроение, 2001. – 463 с.
19. Мовчан Б.А., Малащенко И.С. Жаростойкие покрытия, осаждаемые в вакууме. – Киев: Наук. Думка, 1983. – 232 с.
20. M. V. Frandsen and W. S. Williams, J. Hard. Mater., 4 (1993) 113119.
21. B. M. Kramer and P. K. Judd, J. Vac. Sci. Technol. A, 3 (1985) 2439-2444.
22. L. Wang, R. J. Arsenault, Metall. Trans. A, 22 (1991) 3013-3018.
23. M. Kornamnn and R. Funk, Aluminium, 53 (1977) 249-52.
24. R. Kiessling, Acta Chemica Scandinavia, 4 (1950) 209-227
25. H. Holleck, J. Vac. Sci. Technol., 6 (1986) 2661-2669.
26. C. Mitterer, M. Rauter and P. Rdhammer, Surf. Coat. Technol., 41 (1990) 351-363.
27. T. Shikama, Y. Sakai, M. Fukutomi and M. Okada, Thin Solid Films, 156 (1988) 287-293.

28. H. Holleck and H. Schulz, Surf. Coat. Technol., 36 (1988) 707-714.
29. W. D. Sproul, M. H. Richman, Modern Developments Powder Metal., 10 (1977) 491-498.
30. S. J. Bull, A. M. Jones and A. R. McCabe, Surf. Coat. Technol., 54/55 (1992) 173-179.
31. U. Wiklund, P. Hedenqvist and S. Hogmark, Surf. Coat. Technol., 97 (1997) 773-778. 6 H. Holleck and V. Shier, Surf. Coat. Technol., 76/77 (1995) 328336.
32. Кузьмичёв А.И. Магнетронные распылительные системы / А.И. Кузьмичёв. – К.: Аверс, 2008. – 244 с.
33. Данилин Б.С. Магнетронные распылительные системы / Б.С. Данилин, В.К. Сырчин. – М.: Радио и связь, 1982. – 72 с.
34. Window B. Unbalanced DC magnetrons as sources of high ion fluxes / B. Window, N. Savvides // J. Vac. Sci. Technol. A. – 1986. – Vol. 4, is. 3. – P. 453-456.
35. Savvides N. Unbalanced magnetron ion-assisted deposition and property modification of thin films / N. Savvides, B. Window // J. Vac. Sci. Technol. A. – 1986. – Vol. 4, is. 3. – P. 504-506.
36. Соловьёв А.А., Сочугов Н.С., Оскомов К.В. и др. Исследование характеристик плазмы в несбалансированной магнетронной распылительной системе / А.А. Соловьёв [и др.] // Физика плазмы. – 2009. – Т. 35, is. 5. – С. 443-452.

Приложение «А»

Раздел на иностранном языке

ГЛАВА 1. ПРИМЕНЕНИЕ, СВОЙСТВА И МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЖАРОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ TiB_2

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Соатов Д.М.		

Консультант школы ИШНПТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Гончаренко И.М.	К.Т.Н.		

Консультант школы ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Демьяненко Н.В.			

CHAPTER 1. THE APPLICATION, PROPERTIES, AND METHODS OF OBTAINING heat-RESISTANT COATINGS TiB₂

1.1 Problems in the contact area of the cutting tool with the coating and the workpiece

Compared to other materials, machining of titanium alloys requires higher requirements and has many limitations. Titanium alloys have some properties that can significantly affect both the cutting process and the material that is subjected to cutting.

Properties of titanium alloys, said earlier, during processing adversely affect the cutting part of the tool. They lead to vibrations during processing and lead to rapid wear of the cutting parts of the tool. In addition, titanium alloys are bad conductor of heat. This means that high-speed processing of titanium alloys, high temperatures arising in the contact area of the tool and the workpiece, fall on the chip, and the heat from the zone is almost not out. Therefore, machining titanium requires tool high hot hardness [2,3,4,5,6].

One of the negative phenomena in the processing of titanium alloys is the phenomenon when at high temperature conditions created as a result of high-speed cutting, particles, atoms of titanium are diffused into the cutting tool (Fig. 1.1), for example, if you use as a cutting tool cutting plates of hard alloy VC, then titanium will be diffused into a cobalt bond this will lead to Intern metal joining titanium and cobalt, that the hardness of such a compound will be higher than the hardness of the binder, and will lead to loss of the properties of the binder, causing the tool The surface of titanium alloys is also strengthened, which contributes to the significant flooding of the cutting tool. This is because the carbon content of more than two-tenths of a percent contributes to the formation of titanium carbide, which acts on the cutting edge of the tool as an abrasive and blunt it [4,5,6].

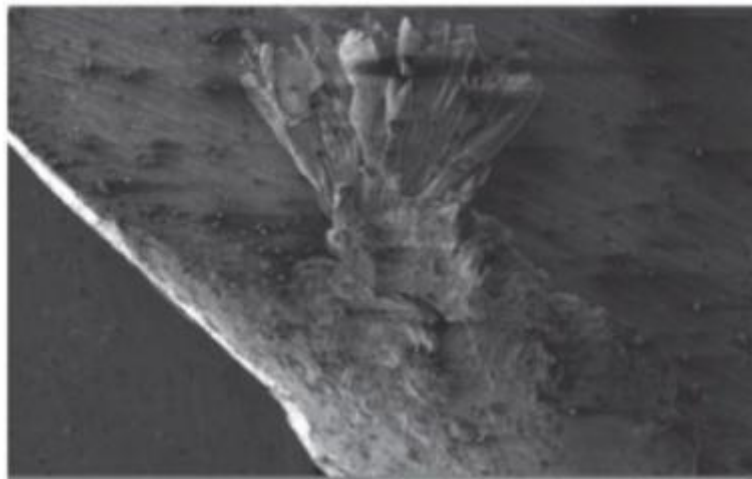


Figure 1.1 Build-up On the cutting tool.

Therefore, the right choice of cutting tool material with heat-resistant coating is of great importance when processing titanium. The solution to this problem is the use of a plate with a protective coating obtained by PVD or CVD methods, which can significantly improve the efficiency of the cutting edge of the plate [7].

1.2 The Heat Resistant coatings and their requirements

As a material of the cutting tool for processing of details, refractory materials processing at 800 — 1100°C, the greatest application is found hard alloys with the content of tungsten with the subsequent drawing of a heat-resistant coating.

Heat resistance is a General term that characterizes the ability of a material to resist chemical destruction at high temperatures. Heat-resistant coatings are usually designed to protect against gas corrosion of Nickel heat-resistant alloys, which are used for the manufacture of parts of power machines operating at high temperatures and high loads. Heat-resistant coatings protect very expensive parts of responsible energy machines. Successful application of coatings gives a great economic effect.

It is possible to formulate the following requirements for heat-resistant coatings [16,17]:

1. Heat-resistant coatings should provide protection of stressed parts from gas corrosion at temperatures of 1000-1150°C in the conditions of cyclic temperature change and the presence of harmful impurities in the combustion products. The most

important requirement for heat - resistant coatings-their durability. For this, in terms of long-term oxidation resistance, they must be relatively thick and stable.

2. The coatings must be characterized by a minimum rate of diffusion exchange with the substrate to ensure that the protective properties of the coating during operation do not change rapidly. The stability of the coating is important for reasons of high resistance to creep and destruction of the protected material.

3. The coating must have sufficient plasticity and strength to ensure that it does not crack under the influence of thermal and mechanical shocks and does not have a negative impact on the strength of the protected part. The latter is achieved if the strength properties of the coating and substrate are close. Typically, heat-resistant coatings have a lower strength than the material to be protected, so when the coating thickness and the parts are comparable, the coating usually has a negative effect on the heat resistance of the part material. For these reasons, the coating should be sufficiently thin.

4. For details of gas turbine plants, erosion resistance of coatings is of great importance, since the surface of such parts is exposed to small solid particles sucked into the gas-air path of the engine. Therefore, the coating must have a high hardness.

5. The coating technology must be stable, i.e. small deviations from the average characteristics of the application mode should not have a significant impact on the composition and thickness of the coating. The technology should include reliable methods of control of the composition, thickness, continuity, adhesion of the coating to the substrate, the characteristics of the coating, which determine its durability and impact on the strength of the protected part.

6. The cost of coating should be paid off in the operation of parts with coatings primarily by increasing the service life of the parts.

7. The coating must be such that it is possible to completely remove the damaged coating and apply a new one [18,19].

Based on all these requirements for heat resistant coatings. The most favorable material for protective coatings for cutting inserts made of hard alloys is a compound TiB₂.

TiB₂ is a ceramic compound with a hexagonal structure where boron atoms form a covalent bonded network in the Ti matrix (Fig. 1.2) [20].

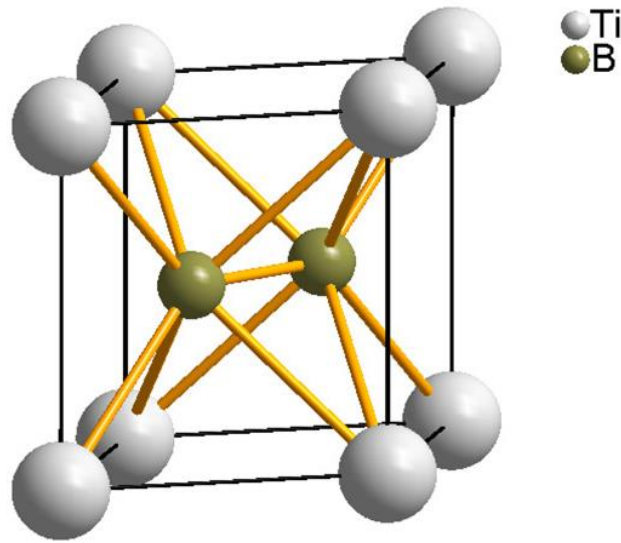


Figure 1.2 The Crystal lattice of the compound TiB₂

Compared to other ceramic compounds, this arrangement gives TiB₂ a very good electrical and thermal conductivity, due to the many mobile electrons. In table 1.1 some basic properties of TiB₂ are listed, such as the high bulk hardness and modulus. TiB₂ is also known as a material with very good high temperature properties, such as a high hot hardness (according to ref. 21 the hardness of TiB₂ at 600°C is about 32% of its original hardness compared to about 24% for TiN) and a good chemical stability. Especially against liquid aluminum, TiB₂ is known to be superior to most other ceramic materials considering chemical stability[22,23].

Table 1.1 Properties of TiB₂ material (at room temperature) [24,25]

Properties	Value
Lattice parameter	a/c 3.028/3.228
Density	4,5
Melting point [°C]	3225
The Vickers hardness GPa	30
Thermal expansion coefficient [10 ⁶ K ⁻¹]	7,8

Elastic modulus [GPa]	560
-----------------------	-----

A ceramic compound with high hot hardness and chemical stability is of course of great interest as a protective coating, because in some applications of forming tools both these characteristics can reduce wear and friction. Furthermore, the exceptional inertness against aluminium makes TiB₂ very interesting for applications involving forming aluminium alloys. Many of these alloys also have high amounts of hard particles embedded, i.e. oxides and carbides, which can severely scratch the forming tool. This wear is also believed to be reduced by using hard TiB₂ films, which are not easily scratched.

TiB₂ coatings, as single layers or as a component in multilayers, have been produced by d.c. magnetron sputtering since the beginning of 90:s, see for example refs. [26-28]. However, as far as the author knows, KennametalTM Inc. is the only commercial tool company which offers products coated with TiB₂. In their case, they recommend this coating for high speed machining of nonferrous materials, especially finishing of soft/sticky aluminium alloys. This limited availability of TiB₂ coatings, is probably a result of problems related to the deposition of this material as protective coating.

1.4 Methods of forming the functional layer

Most common are the coatings made by either Physical Vapour Deposition (PVD) or Chemical Vapour Deposition (CVD). Coatings made with these techniques are relatively thin. PVD coatings are usually in the range of 1–5 μ m, while CVD coatings are generally somewhat thicker (4-20 μ m). For wear-resistant applications, like cutting tools, titanium nitride, TiN, titanium carbonitride, Ti(C,N), and titanium aluminium nitride, (Ti,Al)N, are the most common PVD coating materials. Sometimes elements like Zr, Nb and Cr are added. CVD coatings normally consist of TiN, Ti(C,N), TiC, and alumina, Al₂O₃, but elements like Zr and Hf may be added also to CVD coatings.

Another difference between the PVD and CVD technologies is the deposition temperature; PVD is typically deposited at 300-600°C, while the deposition temperature of CVD coatings is normally much higher, typically 1000°C. Lately, a variant of CVD has become very popular, MTCVD, Moderate Temperature CVD, where the deposition temperature is in the range of 700-900°C. The ability to use a lower deposition temperature with PVD opens up the possibility to coat a wide range of substrate materials with less thermal damage.

The major advantage with the CVD technique is the ability to uniformly coat complicated geometries. This is possible because the deposition is based on surface-controlled chemical reactions. PVD is more of a "line-of-sight" technique since the deposition rate depends on the orientation of the surface relative to the deposition flux. In case of cemented carbide (CC) tools, one argument for PVD has been to avoid formation of a brittle η -phase³ in the interface between coating and substrate. However, nowadays the η -phase is avoided by properly designed CC substrates and/or using the MTCVD process [29].

Another benefit of the PVD technique is the possibility to deposit meta-stable phases, i.e. material compositions and/or phases that are not thermodynamically stable. Since the PVD process is an atom by atom building process it is possible to freeze thermodynamically meta-stable structures in place. A third important advantage of the PVD technique is the possibility to control the residual stress state of the coating. In practice, this is used to tailor an advantageous stress situation for the substrate/coating composite. For example, in the system of CC-substrates with TiN/TiC/Al₂O₃ coatings made by CVD, the stress state of the coating is always tensile. If the same materials are deposited with PVD, a compressive stress state may be chosen.

1.4.1 PVD coating Methods

Commercially used PVD techniques are either based on electron beam evaporation, cathodic arc evaporation or d.c. magnetron sputtering. However, today also some other techniques based on those mentioned can be found on the market.

The ever-present demands for reduced production costs have led to the development of new types of coatings; both coatings made of new materials and coatings made of previously used coating materials but with modified microstructure. Examples of the former are (Ti,Al)N and CrN, and of the latter are functionally graded coatings (e.g. varied chemical composition throughout the coating), and multilayered coatings (i.e. coatings obtained by alternately growing two or more chemically and/or mechanically different materials, forming a layered structure). Especially multilayered coatings have been found to give improved mechanical and tribological properties, such as high hardness, increased fracture toughness, increased abrasive wear resistance, etc., as compared with homogeneous coatings [30-31].

Today, many research groups are devoted to producing nanocomposite coatings. Promising results in terms of high hardness and toughness have been demonstrated for this type of materials. It is suggested that the combination of small hard nanocrystallites, e.g. TiN, in a high strength amorphous matrix, e.g. a-SiN, is a requirement for these good properties. Moreover, it is proposed that the cohesive strength of the interface between the coating matrix and its nanocrystallites must be sufficiently high to avoid unstable crack propagation. A low mutual solubility is also a prerequisite for a successful nanocomposite system. However, the tribological properties of these composite materials have not yet been fully explored.

1.4.2 Plasma Generators on the basis of the magnetron discharge

For the application of the TiO₂ functional layer, the most suitable application method is magnetron sputtering.

Magnetron systems belong to low-voltage systems of materials spraying. Their operating voltage is 300÷700 V [32,33].

For figure 1.3 a diagram of a magnetron sputtering system with a flat target is given. When a DC voltage is applied between the target (cathode) and the anode, an inhomogeneous electric field occurs, and an abnormal glow discharge is excited.

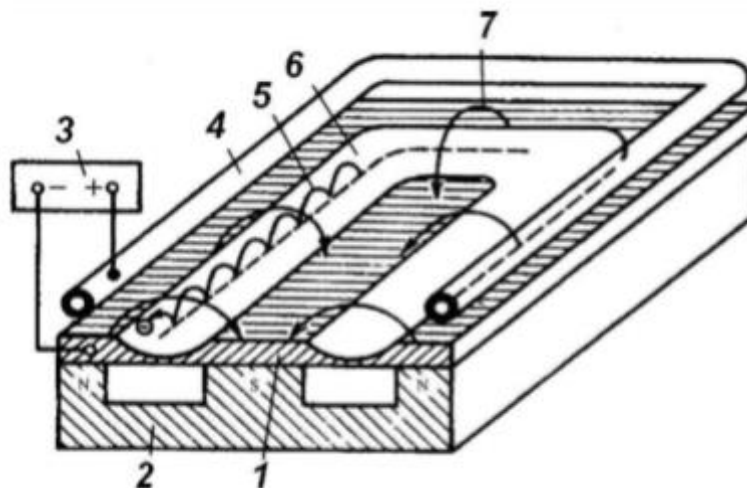


Figure 1.3 Scheme magnetron-spray system with a flat target: 1-cathode-target; 2-magnetic system; 3 – power supply discharge; 4 – anode; 5 – the trajectory of the electron; 6 – the spray zone; 7 – magnetic field lines

The most important parameters that determine the nature of the discharge are the geometry and magnitude of the magnetic field, the induction of which at the surface of the target is $0.03 \div 0.1$ T. The presence of a closed magnetic field at the atomized target allows to localize the discharge plasma directly at the atomized target. The electrons emitted from the cathode under the action of ion bombardment move along closed trajectories near the target surface. The shape of the plasma is determined by the geometry and magnitude of the magnetic field [32,33]. Depending on the value of this field, the magnetron system can operate in the pressure range from 10^{-1} to 1 PA. Magnetron discharge allows to use extended targets and to obtain coatings on substrates of large area.

The plasma of the magnetron system is highly heterogeneous, its density decreases very rapidly with increasing distance from the target, therefore, in order to activate the substrate by ion bombardment and increase the deposition rate of coatings by conventional magnetron deposition, the substrates are located at small ($5 \div 6$ cm) distances from the target [33]. Ions in the magnetron plasma are accelerated to the target immediately after formation.

Therefore, the concentration of ions in the near-anode region and in the region of substrates is small and a conventional magnetron atomizer cannot be considered as an ion or plasma source. The substrate is affected only by the flow of atomic matter with energies from 1 to 20 eV depending on the cathode material and magnetron parameters [32,33].

Partially increase ion bombardment of the substrate and increase the energy impact on it can be using an unbalanced magnetron sputtering [34,35]. In this case, the plasma concentration near the substrate increases due to the use of an unbalanced magnetic field system, the lines of which are directed from the target to the substrate. The unbalanced magnetron sputtering system [36] made it possible to implement various configurations of the magnetic field over the cathode surface due to the use of an additional unbalancing coil in addition to the main magnetic system. The magnetron system operated at pressures from 0.08 to 0.3 PA, the ion flow of this system was measured at a distance of 23 cm from its cathode, depending on the current of the electromagnetic coil, which varied from 0 to 1 A, changing the imbalance coefficient from 0.3 to 3.3. The increase in the current in the electromagnetic coil was accompanied by a significant increase in the ion current density, most pronounced on the axis of the system. This was due to the increase in the degree of imbalance of the magnetic field, the lines of force which, heading towards the substrate, limit the transverse mobility of electrons and cause them to move along the axis of the system. In this case, the electrons are moved together with the ions due to the need to maintain the plasma electroneutrality. At the maximum current in the electromagnetic coil equal to 1 A, which increased the degree of imbalance of the magnetic field lines to the maximum value and corresponded to the maximum value of the magnetic field induction on the magnetron axis equal to 0.018 T, the ion current density on the substrate collector reached values ≥ 2.5 mA/cm². When the density of the ion current from the plasma of the magnetron was made possible to carry out cleaning and etching of the surface and influence the properties of the deposited coatings. But the concentration of the ionized flow in a narrow beam is a disadvantage of such systems [36].

1.5 setting the task and objectives of the work

In this work, the following goals and objectives were set:

The purpose of this work: To obtain a protective, heat-resistant layer of titanium diboride deposited on the transition layers such as TiN, ZrN, CrN, Cr on the cutting plates. A comparative analysis of the physical and mechanical properties of the composite, heat-resistant coatings.

To achieve this goal, you must perform the following tasks:

1-Selection of technological modes of application of incoming layers TiN, ZrN, CrN, Cr and functional layer TiB₂.

2-to test the physical and mechanical characteristics of the composite coatings

2.1-Measure the surface hardness of the resulting layers

2.2-Measure the thickness of the obtained layers

2.3 to Test the durability of the coating by the method of Rockwell

3 - based on the results of experimental data (on the physical and mechanical characteristics of coatings) to analyze the effectiveness of the composite coating TiN+TiB₂ as a heat-resistant coating.