

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
Технологические способы вакуумно-плазменной обработки изделий для увеличения адгезии износостойких покрытий

УДК 621.793.184: 539.612

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Рахымтай Нурсая Нургаликызы		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Гончаренко Игорь Михайлович	к.т.н. доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Старикова Екатерина Васильевна	к.ф.н		

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	к.т.н. доцент		

Томск – 2018 г.

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ОСНОВНОЙ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ, НАПРАВЛЕНИЕ
ПОДГОТОВКИ 15.04.01 МАШИНОСТРОЕНИЕ, КВАЛИФИКАЦИЯ –
МАГИСТР**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
Р1	Способность продемонстрировать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания о физико-химических и технологических основах дисперсных покрытий и применять их для решения научно-технических проблем высокотехнологичного производства на мировом уровне
Р2	Способность планировать и проводить аналитические, и экспериментальные исследования по своей специализации с использованием новейших достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, связанных с выполненной работой, иметь возможность критически оценить теоретические и экспериментальные данные получать и делать выводы, использовать основы изобретения.
Р3	Способность интегрировать знания различных и смежных видов деятельности и решать задачи, требующие абстрактного мышления и оригинальности анализа для концептуализации инженерных моделей выбранного технологического направления
Р4	Способность оценивать экономическую эффективность новых разработок и их инновационную направленность, выполнять требования по защите окружающей среды

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:
Зав. кафедрой
Коростелева Е.Н

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной
работы В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ61	Рахымтай Нурсая Нургаликызы

Тема работы:

Технологические способы вакуумно-плазменной обработки изделий для увеличения адгезии износостойких покрытий
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе.	Образцы твердого сплава ВК8, покрытия TiCuN.
----------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Классификация, свойства и методы получения износостойких покрытий; 2. Методика эксперимента; 3. Влияние импульсного высокотемпературного нагрева поверхности твердого сплава ВК8 на трещиностойкость нитридного покрытия; 4. Морфология и физико-механические характеристики экспериментальных покрытий TiN , TiCuN.
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. Износостойкие покрытия на основе нитрида титана. Опыт получения и увеличения эксплуатационных характеристик	

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	Рахымтай Н.Н		

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей работе с соответствующими определениями используются следующие термины:

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

вакуумно - дуговой метод нанесения покрытий: это физический метод покрытия в вакууме, путем конденсации материала из плазменных потоков, возникающих на катоде-цели в катодном пятне вакуумной дуги на подложке.

адгезия: сцепление поверхностей разнородных твёрдых или жидких тел.

В данной работе применены следующие обозначения и сокращения:

PVD – метод физического осаждения;

CVD – химическое осаждение из газовой фазы;

НСЭП – Низкоэнергетичного сильноточного электронного пучка.

ПИНК – плазменный источник с накалимым катодом;

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа представлена на 109 страницах, включает 27 рисунков, 26 таблиц, 29 источников литературы, 1 приложение.

Ключевые слова: нитридные покрытия, вакуумно-дуговой разряд, твердость, адгезия.

Объектом исследования являются сформированные вакуумно-дуговым методом износостойкие нитридные покрытия толщиной 1-5 мкм на подложках, выполненных из спеченного твердого сплава ВК, предварительно термообработанных импульсным электронно-лучевым нагревом по двум режимам.

Цель работы: получить и исследовать стойкость многокомпонентного покрытия TiCuN на поверхности твердого сплава ВК8 в зависимости от режимов предварительной импульсной термообработки электронным пучком.

Экспериментальные результаты стойкостных испытаний композиций «покрытие-подложка» сопоставлялись с результатами исследований твердости, морфологии поверхности, толщины, фазового состава, текстуры, остаточных напряжений в поверхностных слоях образцов.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	9
ГЛАВА 1. ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ НИТРИДА ТИТАНА. ОПЫТ ПОЛУЧЕНИЯ И УВЕЛИЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	11
1.1 Классификация износостойких покрытий.....	11
1.2 Методы нанесения защитных покрытий на современный режущий инструмент.....	12
1.3 Методы определения адгезии.....	14
1.4 Способ увеличения адгезионной прочности износостойких покрытий...	16
1.5 Импульсный высокотемпературный нагрев поверхности.....	19
1.6 Формирование наноструктур в пленках и их стабильность.....	20
1.7 Механические свойства нанокompозитных покрытий	21
1.8 Цель работы и постановка задачи.....	22
ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	23
2.1 Конструкция плазменного источника электронов на основе дугового разряда.....	23
2.2 Экспериментальная установка для вакуумно – дугового нанесения покрытий.....	25
2.2.1 Параметры катодов испарителя для получения покрытий.....	29
2.3 Методика формирования покрытий	31
2.4 Методы исследования поверхности материалов.....	33
2.4.1 Определение толщины покрытий методом калотест.....	33
2.4.2 Методики определения адгезии материалов.....	35
2.4.3 Методики определения твердости материалов.....	38
2.4.4 Количественный металлографический анализ.....	41
2.4.5 Методика измерения износостойкости покрытий.....	41
2.4.6 Фазовый анализ.....	42
ГЛАВА 3. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СПОСОБОВ И ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЕ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ.....	44
3.1 Влияние импульсного высокотемпературного нагрева на структуру образцов из твердого сплава ВК – 8.....	44
3.1.1 Влияние импульсного высокотемпературного нагрев на твердость образцов.....	45
3.1.2 Рентгеноструктурный анализ.....	47
3.2 Формирование покрытия.....	47
3.2.1 Определение фазового состава.....	49

3.2.2 Влияние вакуумно дуговой обработки на поверхностную твердость образцов.....	49
3.2.3 Влияние комбинированной обработки на износостойкость TiN покрытий.....	51
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	54
ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	57
4.1 Предпроектный анализ. Потенциальные потребители результатов исследования.....	57
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	58
4.1.2 SWOT-анализ.....	60
4.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	63
4.1.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	64
4.2 Инициация проекта.....	64
4.3 Планирование управления научно-техническим проектом.....	66
4.3.1 Иерархическая структура работ проекта.....	66
4.3.2 План проекта.....	67
4.3.3 Бюджет научного исследования.....	71
4.3.4 Матрица ответственности.....	73
4.3.5 Реестр рисков проекта.....	74
4.3.6 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	75
Вывод к пятому разделу.....	77
ГЛАВА 5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	79
5.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.....	80
5.1.1 Микроклимат.....	82
5.1.2 Вредные вещества.....	83
5.1.3 Производственный шум.....	84
5.1.4 Освещенность.....	85
5.2 Электробезопасность.....	86
5.3 Факторы пожарной и взрывной природы.....	88
5.4 Экологическая безопасность.....	91
5.4.1 Анализ влияния технологического процесса на окружающую среду.....	91
5.4.2 Меры по снижению вредных воздействий на окружающую среду.....	92
5.5 Безопасность в чрезвычайных аварийных ситуациях.....	92
5.6 Организационно – правовые вопросы обеспечения безопасности.....	94
5.6.1 Правовые нормы трудового законодательства.....	94
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	95
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА.....	98
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	99

ВВЕДЕНИЕ

Серьёзной проблемой, возникающей при синтезе тонких покрытий, является обеспечение хорошей адгезии покрытия к подложке. Чем больше сила адгезии, тем вероятнее, что система покрытие - подложка будет обладать лучшими механическими характеристиками.

Сегодня известны различные способы улучшения адгезии – формирование многослойных покрытий, создание переходного слоя в результате диффузии легирующих элементов в подложку, бомбардировка растущей защитной плёнки заряженными частицами, предварительная обработка поверхности с использованием в качестве теплового источника концентрированных потоков энергии - лазерных, электронных, ионных пучков и плазменных потоков [2-4].

Износостойкость покрытия улучшает стойкость инструмента. На практике, нанесение покрытия происходит при высоких температурах, потом протекают изменения свойств поверхностных и глубинных слоев материала инструмента, также влияют сопротивления к изнашиванию. Поэтому нанесение износостойких материалов является комбинированным методом повышения работоспособности инструмента.

Данные варианты комбинированной обработки могут быть предприняты для модификации материалов, позволяющей формировать поверхностные слои с принципиально новыми структурами и свойствами.

В настоящей работе представлены результаты исследований свойств покрытий $TiCuN$, полученных вакуумно-дуговым методом. Особенность данных покрытий заключается в том, что генерация комбинированной многоэлементной плазмы осуществлялась с помощью двух источников: испарителя металлов с композиционного катода системы $TiCuN$ и генератора дугового газового разряда для ионизации азота. Особое внимание уделялось анализу стойкости получаемых покрытий на подложках из твёрдого сплава ВК-8. Сравнительные трибологические тесты образцов с покрытием имели

своей целью выявить влияние параметров предварительной обработки поверхности подложек на адгезию и износостойкость покрытий. В качестве источника теплового воздействия на поверхность использовался пучок микросекундного диапазона, с током 100 – 135 А и энергией электронов 5-25 кэВ.

В настоящей работе в качестве инструмента для предварительной модификации поверхности был выбран импульсный электронный пучок. Электронно-лучевые установки характеризуются большой удельной мощностью (десятки и сотни кВт), высоким КПД преобразования электроэнергии в кинетическую энергию потока электронов (~90%), возможностью точной дозировки энергии и управления параметрами пучка.

ГЛАВА 1. ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ НИТРИДА ТИТАНА. ОПЫТ ПОЛУЧЕНИЯ И УВЕЛИЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

В современном материаловедении самой быстроразвивающейся областью исследования является получение и применение функциональных покрытий широкого назначения, создаваемых с помощью вакуумных электрофизических технологий. Успехи в данном направлении во многом обязаны разработкам и созданию в конце 60-х годов различных ионно-плазменных вакуумных установок и источников заряженных частиц. Одним из наиболее успешных примеров использования в качестве заряженных частиц ионов углерода, кислорода, азота и некоторых типов металлов было получение карбидов, оксидов и нитридов этих металлов. Параллельно было обнаружено, что свойства получаемых пленочных материалов напрямую зависят от способов их получения. В частности, это относится и к вопросу адгезии покрытий на основе нитрида титана на подложках различного состава. При регулировке параметров осаждения, возможно, как усилить взаимосвязь конденсирующейся пленки нитрида с подложкой, так и ослабить это взаимодействие. Данному вопросу посвящено большое количество публикаций в связи с тем, что покрытия нитрида титана широко используются в качестве защитных и декоративных в таких областях, как производство режущего инструмента, автомобилестроение и других отраслях машиностроения.

1.1 Классификация износостойких покрытий

В зависимости от типа химической связи все материалы износостойких покрытий можно разделить на три группы [9, 10]:

К металлической связи относятся нитриды, карбиды переходных металлов Ti, Zr, V, Nb, Ta, Mo, Cr.

К ковалентным связям входят карбиды, нитриды Al, Si, Fe.

К ионным связям входят оксиды Al, Ti, Zr.

Сегодня более высокие требования предъявляются к износостойким покрытиям для режущего инструмента. Эти требования зависят от состава «покрытия – инструментальный материал», с улучшением условий работы инструмента.

Основными решениями для улучшения работоспособности режущего инструмента с износостойкими покрытиями являются [3, 12]:

- структурное упрочнение износостойкого материала покрытия.
- повышение прочности границы «покрытия – инструментальный материал»;
- изменение физико-химического взаимодействия на границе «покрытие-обработанный материал».

На прочность адгезионной связи между покрытием и подложкой влияет [9]: состояние подложки; чистота исходных компонентов материала покрытия; чистота используемого оборудования; образование связи между подложкой и исходным конденсатом; рост конденсата. Кроме того, шероховатость поверхности подложки и энергия связи атома покрытия с материалом подложки.

На прочность адгезионной связи между покрытием и подложкой влияет [9]: состояние подложки из твердого сплава ВК8, чистота исходных компонентов материала покрытия, чистота экспериментального оборудования, образование связи между подложкой и исходным конденсатом, рост конденсата. Кроме того, шероховатость поверхности подложки и энергия связи атома покрытия с материалом подложки.

1.2 Методы нанесения защитных покрытий на современный режущий инструмент

Среди существующих методов упрочнения режущего инструмента наиболее широко применяются методы химического (CVD) и физического (PVD) нанесения покрытий. Особенно широкие возможности контроля

свойств покрытий и их применения на различных инструментальных подложках имеют методы ФОП. В связи с этим эти методы наиболее требовательно изучаются и вводятся в производство.

Методы CVD, известные в мире как CVD (химическое осаждение из паровой фазы Chemical Vapour Deposition), основаны на взаимодействии галогенидов газообразного металла с другими компонентами парогазовой среды (водорода, аммиака, окиси углерода и т. д.). Температура процесса (1000 - 1100 ° C) в наибольшей степени влияет на качество покрытия, изменение которого показывается на скорости осаждения, структуре и свойствах нитридных покрытий. Методы CVD характеризуются смешанным адгезионно-диффузионным типом связи покрытия с материалом инструмента.

В процессе нанесения покрытия с основой образуется хрупкая фаза (W_3Co_3C), сформированной на границе покрытия с помощью инструментальной основы. Отрицательно влияет на прочностные свойства твердых сплавов. Несмотря на это, износостойкие покрытия, полученные методами CVD, обладают хорошей адгезией к карбидной подложке и позволяют увеличить срок службы режущего инструмента в 2-5 раз [7, 30].

Методы ФОП, которые в мировой практике получили название PVD (Physical Vapor Deposition), основаны на испарении вещества в вакуумном пространстве камеры с подачей реакционного газа. Методы PVD имеют ряд преимуществ: способность контролировать температуру конденсации в широком диапазоне (200-800 ° C), позволяет укрепить режущий инструмент из стали и твердого сплава; возможность осаждения многослойных и композитных покрытий на основе нитридов, боридов, тугоплавких металлов и оксидов [21].

Наиболее характерной особенностью образования покрытий с помощью этих методов является отсутствие переходной зоны между покрытием и основанием инструмента и, как следствие, слабое влияние структуры покрытия на свойства покрытия и такие свойства состава

материала покрытия-инструмента в виде вязкости, прочности и т. д. Методы ФОП имеют широкие технологические возможности и позволяют изменять состав и свойства композиции «материал для нанесения покрытия - инструмент».

Покрытия, полученные методами ФОП, благодаря своим высокопрочным свойствам, эффективны при черновой обработке и с прерывистой механической обработке [19,21].

1.3 Методы определения адгезии

Одной из проблем, возникающих при синтезе тонких покрытий, является обеспечение хорошей адгезии покрытия к подложке. В связи с этим важной представляется задача её увеличения. Существуют различные способы увеличения адгезии, такие, как напыление многослойных покрытий, диффузия легирующих элементов в материал подложки, ионная очистка поверхности, предварительная обработка подложки концентрированными потоками энергии - лазерным, электронным, ионным пучками, и другие. Эти методы можно отнести к комбинированным процессам поверхностного упрочнения [2-4].

Адгезия представляет собой связь между приведенными в контакт разнородными поверхностями. Причинами возникновения адгезионной связи являются действия межмолекулярных сил или сил химического взаимодействия. Адгезия вызывает склеивание твердых тел с помощью адгезивного клея, а также соединение защитного покрытия с основой. Адгезия также играет важную роль в процессе сухого трения. При длительном контакте одинаковых поверхностей и установлении в зоне контакта структуры, характерной для любой точки в объеме тела, сила аутогезионного соединения приближается к когезионной прочности материала.

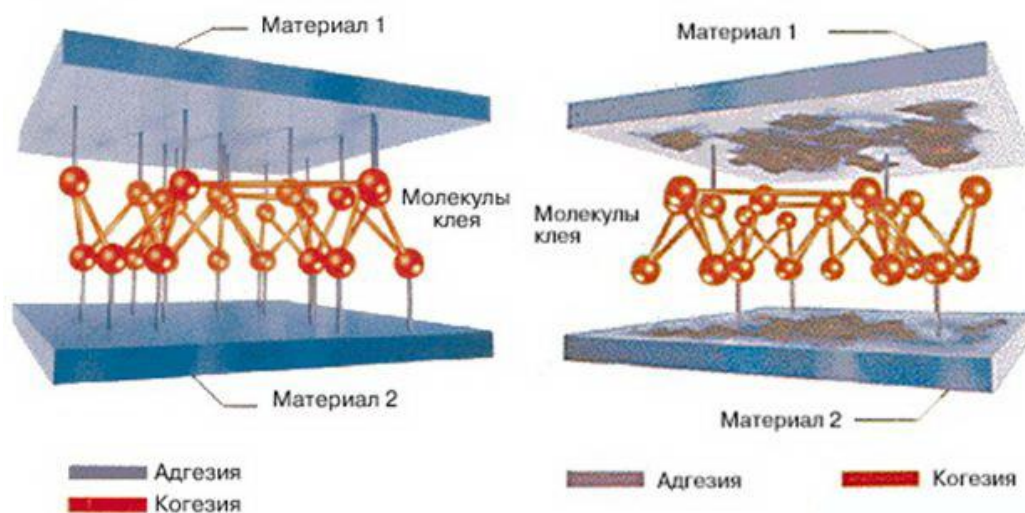


Рисунок 1. Адгезия

Последовательность операций «нанесение – плавление» может осуществляться в любой очередности и цикличности.

Например, для образования новых сплавов на поверхности изделий, изготовленных из основного материала, слой материала толщиной несколько микрон с заданными свойствами предварительно применяется каким-либо образом. После этого поверхность обрабатывается импульсным электронным лучом. В результате быстрого плавления, перемешивания и перекристаллизации поверхностного слоя образуется соединение осажденного материала с основным материалом [10]. Коррозионная стойкость и износостойкость сформированного сплава могут быть значительно выше, чем сопротивление исходного материала изделия. Толщина модифицированного слоя может значительно превышать толщину нанесенного покрытия. Из-за высокой скорости охлаждения расплавленного слоя возможно образование соединений, которые не образуются в нормальных условиях. Нанесение многослойных покрытий из различных элементов позволяет формировать многокомпонентные сплавы.

В работе [4] исследованы нанотвердость и трибологические характеристики системы Cu (пленка, 512 нм) и нержавеющей стали (подложки), подвергнутой импульсному плавлению низкоэнергетического

(20-30 кэВ) сильноточного электронного пучка (2-3 мкс, 2-10 Дж / см²) (НСЭП). Установлено, что предварительная обработка подложки НСЭП резко снижает вероятность отслаивания пленки при импульсном плавлении из-за образования кратера и, следовательно, увеличивает ее термическую стабильность.

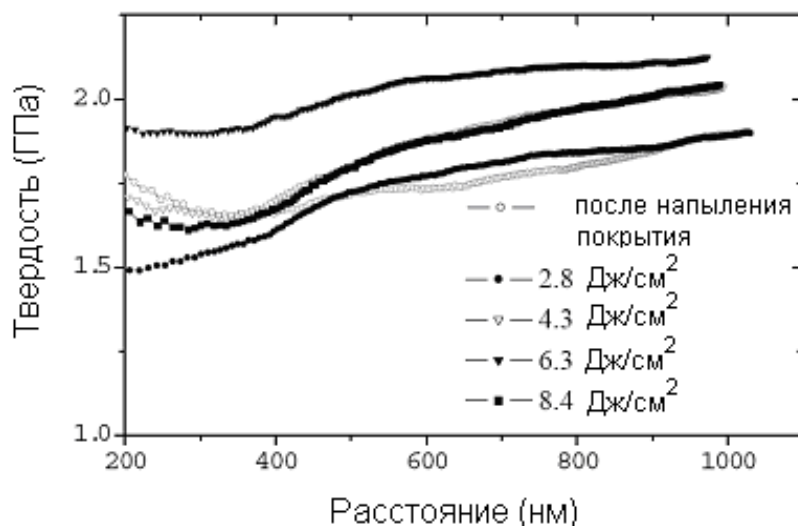


Рисунок 2. Профили нанотвёрдости для системы Cu/SS316 с предварительно нанесённым покрытием и после импульсного плавления (N = 1) [4]

Было обнаружено, что в поверхностном слое толщиной 0,5-1 мкм, включая пленку Cu и диффузионный слой, нанотвёрдость и средняя скорость изнашивания монотонно не зависят от плотности энергии, достигая максимума и минимума, в интервале 4.3- 6,3 Дж / см² (рисунок 2).

1.4 Способ увеличения адгезионной прочности износостойких покрытий

Чтобы увеличить адгезионную прочность нижнего слоя TiCuN к основанию инструмента, необходимо уменьшить падение напряжения на их границе (рисунок 3), что может быть достигнуто за счет уменьшения

разности значений твердости этого слоя и инструментального материала. Как следует из работы, изменение состава газообразной среды при конденсации покрытия на основе TiCuN позволяет прямо изменять их структурные параметры и механические свойства. В качестве нижнего слоя можно использовать покрытие TiCuN15%, осажденное с содержанием ацетилена 15% в газовой смеси. Это покрытие имеет более низкую микротвердость (на 20%) и немного меньшее значение σ_0 по сравнению с TiCuN, используемым в двухслойных покрытиях. В то же время коэффициент облучения K_0 для него составляет половину этого. Таким образом, использование слоя TiCN15% должно повысить адгезионную прочность слоя с инструментальной основой. Для этой же цели в качестве нижнего слоя можно использовать покрытие TiN, полученное при высокой температуре конденсации (TiNKPT) и обладающее большей адгезией к основанию инструмента и более низким остаточным напряжениям.

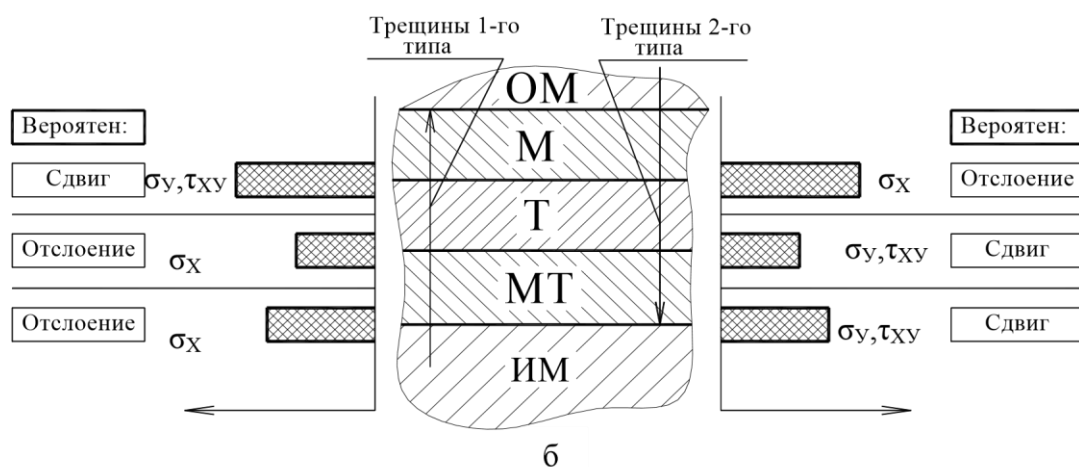


Рисунок 3. Физические модели напряженного состояния на границах многослойного покрытия с повышенной прочностью связи слоев при движении через них трещин 1-го и 2-го типов

Было обнаружено, что покрытия сложного состава обладают высоким пределом текучести и трещиностойкостью по сравнению с TiN. Следовательно, для зарождения или роста уже сформированной трещины в

сложных покрытиях необходимо использовать больше энергии. Влияние состава покрытия на его предел текучести можно судить по примеру покрытий TiCuN и TiCuN15%. Уменьшение содержания ацетилена в газовой смеси при конденсации покрытия с 32% до 15,1% приводит к снижению предела текучести от 10,42 ГПа до 9, ГПа. Состав покрытия также влияет на поверхностную энергию γ_{111} [15]:.

В качестве варианта усиления адгезии могут быть применены методы предварительной обработки подложки в области контактирования с покрытием. Это могут быть диффузионные слои, имплантированные легирующие атомы и термический нагрев различной интенсивности.

В частности, в работе Тарбокова [2] для предварительной модификации поверхности использовался мощный ионный пучок. Ставилась задача исследовать изменение адгезии в результате предварительной обработки, а также определить влияние на адгезию плотности энергии ионного пучка. Были исследованы образцы из твёрдых сплавов ВК-8 и Т5К10, которые перед нанесением покрытия TiN обрабатывались мощным импульсным ионным пучком. Результаты скретч тестов показали, что разрушение покрытия на обработанных МИП образцах начинается позже, чем на необработанных пластинах. (таблица 1).

Таблица 1[2]

Результаты обработки кривых разрушения для сплавов ВК-8 и Т5К10

Предварительная обработка ВК – 8, (Дж/см ²)	Без обработки	2.0	3.0	4.1
Начало разрушения, F _н , Н	2,8	3,0	3,3	2,7
Полное разрушение, F _о , Н	4,3	4,8	5,3	6,2
Предварительная обработка Т5К10 , Дж/см ²	Без обработки	1,1	1,7	2,3
Начало разрушения, F _н , Н	3,3	3,8	4,0	4,1
Полное разрушение, F _о , Н	5,2	6,3	6,5	6,8

Наибольшее увеличение стойкости покрытия наблюдается для образцов, предварительно обработанных МИП с плотностью энергии 2 – 3 Дж/см². При предварительной обработке с плотностью энергии 3.8 Дж/см² разрушение начинается даже раньше, чем на необработанных, но угол наклона кривой износа минимален, что, скорее всего, связано со значительным увеличением адгезии.

1.5 Импульсный высокотемпературный нагрев поверхности

В место ионного пучка можно использовать электронный импульсный пучок. Основным видом электронно-лучевой обработки являются процессы, связанные с выделением теплоты в зоне взаимодействия потока электронов с заготовкой [2].

Электронный луч получается в вакууме с помощью электронной пушки и фокусируется магнитными линзами. Рабочее напряжение между катодом и анодом 30...150 кВ.

Основные технологические операции электронно-лучевой обработки:

- плавление;
- испарение;
- термообработка без изменения агрегатного состояния вещества.

Погрешность размеров при размерной обработке не превышает ± 5 мкм, шероховатость $R_a = 1,25$ мкм. Прошивкой получают до 500 отверстий на круге диаметром 30 мм, при толщине круга 1...3 мм.

Достоинства электронно-лучевой обработки:

- возможность за счет фокусировки луча плавно менять в широких пределах удельную энергию в зоне нагрева;
- большая мощность (от десятков ватт до единиц мегаватт);
- простота пространственного управления луча;
- наличие вакуума, как рабочей среды;

Недостатки электронно-лучевой технологии:

- необходимость обеспечения высокого вакуума;
- сложность изготовления и эксплуатации электронно-лучевого оборудования.

Перед нанесением покрытия образцы обрабатывались импульсным электронным пучком по двум режимам – при токе пучка 100 А и при токе пучка 135 А.

1.6 Формирование наноструктур в пленках и их стабильность

При вакуумно-дуговом осаждении наноразмерных покрытий ограничении размера растущих зерен необходимо. Это ограничение достигается несколькими способами: – осаждение мультислойных пленок с толщиной слоев порядка нанометров; – осаждение однослойных пленок при бомбардировке высокоэнергичными ионами (сотни электронвольт); – легирование добавками, которые ограничивают рост размеров зерна; – формирование многофазных нанокпозиционных пленок. Особое внимание следует уделить уменьшению толщины слоев до наноразмеров. Это приводит к улучшению механических свойств покрытия, более того, оказывает сильное влияние на термическую и временную стабильность композиций. [8].

Низкая стабильность характерна и для однослойных наноструктурированных конденсатов, полученных в условиях ионной бомбардировки. Нестабильность этих веществ обусловлена тем, что при ионной бомбардировке возникает комплекс синергетических эффектов. Сюда относится не только измельчение зерна, но и рост плотности дефектов (пар Френкеля, дислокаций и т.д.), а также появление сжимающих напряжений. Осаждение многокомпонентных пленок дает большие возможности для получения наноструктур [5, 6]. Одним из приемов является введение в основной материал покрытия легирующей добавки. При этом компоненты не должны образовывать твердый раствор. Определенные условия вызывают сегрегацию нерастворимого легирующего компонента, вынося его на

поверхность зарождающихся кристаллитов. Это ограничивает размеры кристаллитов на наноуровне. К примеру, легирование металлическими примесями (Cu, Ni,) пленок нитридов (TiN) приводит к уменьшению размеров зерен до 10,0 нм, однако, у таких структур также может наблюдаться низкая стабильность.

1.7 Механические свойства нанокompозитных покрытий

Нанокompозитные покрытия характеризуются их твёрдостью H , эффективным модулем Юнга $E^* = E/(1-\nu)^2$ и упругим восстановлением We , где E – модуль Юнга, ν – коэффициент Пуассона [1,6]. Данные величины можно рассчитать по кривым нагружения – разгружения, измеренные нанотвердомером. Величины H и E^* пропорциональны сопротивлению материала пластической деформации. Зависимости $H = f(E)$, $H/F = f(H)$, $We = f(H)$ – это основные соотношения, определяющие механические свойства тонких плёнок. Они зависят от элементов, формирующих фазы, от относительного содержания фаз и их микроструктуры.

1.8 Цель работы и постановка задачи

Цель работы: получить и исследовать стойкость многокомпонентного покрытия TiCuN на поверхности твердого сплава ВК8 в зависимости от режимов предварительной импульсной термообработки электронным пучком.

Ставились задачи:

- исследовать влияние предварительного импульсного высокотемпературного нагрева с оплавлением поверхности и без оплавления на структуру, фазовый состав, твёрдость и морфологию поверхности образцов из твёрдого сплава ВК-8;
- изучить особенности процесса формирования износостойких многокомпонентных покрытий состава TiCuN вакуумно-дуговым методом;
- исследовать влияние параметров предварительной электронно-пучковой импульсной модификации поверхности на твёрдость, фазовый состав, адгезию и износостойкость полученных покрытий.

ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения эксперимента были выбраны образцы из твёрдого сплава ВК8 (92%WC, 8%Co) в виде пластин размерами 16×10×6 мм.

Вольфрам-кобальтовые сплавы (VC) состоят из карбида вольфрама и кобальта и используются для оснащения режущего инструмента. Сплавы этой группы различаются по содержанию кобальта в них, по размерам зерен карбида вольфрама (WC). С увеличением содержания кобальта в сплавах в диапазоне от 3 до 10% увеличивается поперечная прочность на изгиб, ударная вязкость и пластическая деформация, а твердость и модуль упругости уменьшаются. С увеличением содержания кобальта теплопроводность сплавов λ (W / (m · K)) и их коэффициент теплового расширения α (10⁶, K) возрастают [14].

Микротвёрдость исходных образцов сплава ВК8 составляла ~ 15 ГПа, модуль Юнга, E ~ 820 ГПа, коэффициент теплового расширения, $\alpha = 5,1 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$.

2.1 Конструкция устройства для импульсного высокотемпературного нагрева поверхности экспериментальных подложек.

Внешний вид и схема источника электронов на основе плазменного излучателя с стабилизацией границы плазмы показаны на рисунке 4.

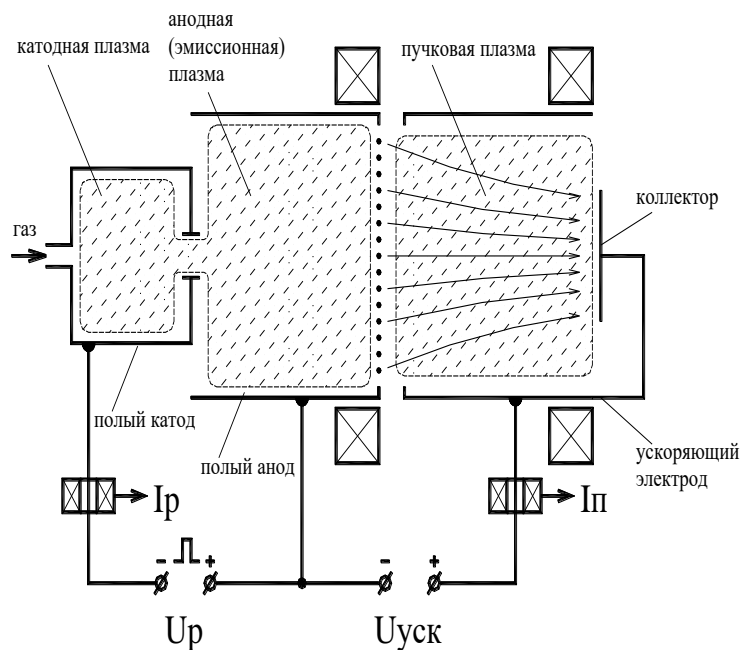


Рисунок 4. Схема плазменного источника электронов на основе дугового разряда [18].

Генерация эмиссионной плазмы осуществляется при импульсном горении дугового разряда между полым катодом и полым анодом. Извлечение электронов из плазмы происходит за счет постоянного ускоряющего напряжения через ячейки мелкоструктурной металлической сетки, стабилизирующей эмиссионную границу плазмы.

Изменяя ток основного разряда, рабочее давление, величину и конфигурацию магнитного поля в области формирования и транспортировки пучка, можно регулировать профиль распределения плотности энергии пучка на коллекторе.

Схема электродной системы электронного источника включает 2 разрядные ячейки, объединённые каналом диаметром 6 мм, выполненным из магниевой вставки, расположенной в области магнитного поля кольцевого постоянного магнита с индукцией 0.1 Тл.

Газ подается через контроллер потока в разрядную ячейку. Из-за малого размера канала давление в первой разрядной ячейке выше, чем во второй, что облегчает зажигание тлеющего разряда, переходящего в дугу с

катодным пятном на внутренней поверхности канала. Электрод с магниевым каналом служит в качестве катода как для первого вспомогательного разряда, так и для основного дугового разряда, который горит до 205 А с длительностью импульса до 205 мкс. Основной разряд генерирует плазму в полом аноде диаметром 80,0 мм и длиной 105 мм с концентрацией до 10^{12} см³. В конце полого анода имеется эмиссионное окно диаметром 40 мм, покрытое металлической сеткой с ячейками $0,4 \times 0,4$ мм и геометрической прозрачностью 50%. Через ячейки сетки под действием высокого (до 25 кВ) ускоряющего напряжения электроны извлекаются из плазмы и ускоряются до энергии, соответствующей приложенному напряжению.

Диаметр луча на мишени (коллекторе), расположенной на расстоянии 200 мм от окна эмиссии сетки, составляет 1-3 см. Ток пучка изменяется от 20 А - 200 А с шагом 10 А и длительностью импульса тока от 20 мкс - 200 мкс с шагом 5 мс. Ускоряющее напряжение изменяется от 2 кВ - 25 кВ, а ток пучка, ширина импульса и частота практически не зависят от величины ускоряющего напряжения.

Изменяя отношение токов в магнитных катушках и расстояние до коллектора, можно отрегулировать диаметр луча и плотность энергии на коллекторе. Фотографии пучка, транспортируемого в системе с соленоидами, расположенными на расстоянии 35 см друг от друга, показаны на рисунке 6.

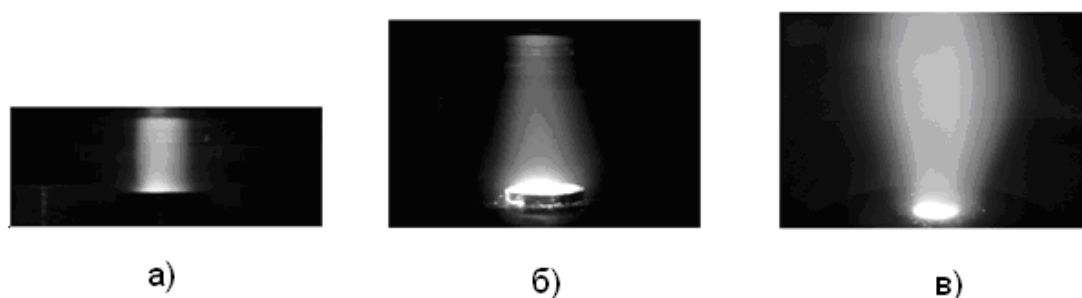


Рисунок 5. Внешний вид пучка в камере. Коллектор расположен на расстоянии 4 см (а), 14см (б), 33см (в) от среза трубы дрейфа [18]

2.2 Экспериментальная установка для вакуумно-дугового нанесения покрытий

Процессы испарения, конденсация покрытия, плазмохимические реакции, и ионная бомбардировка происходят в вакуумной камере, металлический корпус которой служит анодом.

Вакуумно-дуговые методы основаны на генерации вещества катодным пятном вакуумной дуги, и исключительно сильноточный низковольтный разряд развивается в парах катодного материала. Вакуумная дуга характеризуется низким напряжением разряда, сравнимым с потенциалом ионизации атомов материала катода, высокой плотностью тока в области связывания катода, высокой концентрацией плазмы в около катодной области и эмиссией высоких - скорости плазменных струй из катодного пятна. Электродуговой разряд в вакууме состоит из трех этапов: пробой, искра и дуга.

Автоэлектронная эмиссия играет решающую роль в возникновении пробоя между электродами в вакууме. При достаточно высокой плотности эмиссионного тока, связанной с напряженностью электрического тока, джоуле нагрев вершины приводит к переходу от чистой эмиссии к термоавтоэмиссии. Увеличение тока способствует дальнейшему росту температуры кончика эмиттера и т.д. Процесс развивается лавинообразно. Начинающееся испарение материала катода в присутствии электронного потока ведет к появлению ионов и компенсации пространственного заряда электронов. Это приводит к резкому броску тока и развитию пробоя.

Для различных материалов электродов и различных степеней вакуума величина пробивного напряжения разная и может достигать сотен вольт. Разряд между электродами в вакууме может быть вызван вторичной искрой на одном из электродов, даже если напряжение пробоя на заданном расстоянии между электродами в отсутствие искры зажигания намного больше, чем приложенное напряжение. Для создания искрового зажигания обычно используется дополнительный электрод зажигания.

Напряжение на этот электрод подают от отдельного источника питания.

Разряд между электродами в вакууме может быть вызван вторичной искрой на одном из электродов, даже если напряжение пробоя на заданном расстоянии между электродами в отсутствие искры зажигания намного больше, чем приложенное напряжение. Для создания искрового зажигания обычно используется дополнительный электрод зажигания.

Нанесение покрытия TiCuN проводилось вакуумно-дуговым методом на экспериментальной установке, разработанной и изготовленной в ИСЭ. Внешний вид (а) и схема (б) приведены на рисунке 6.

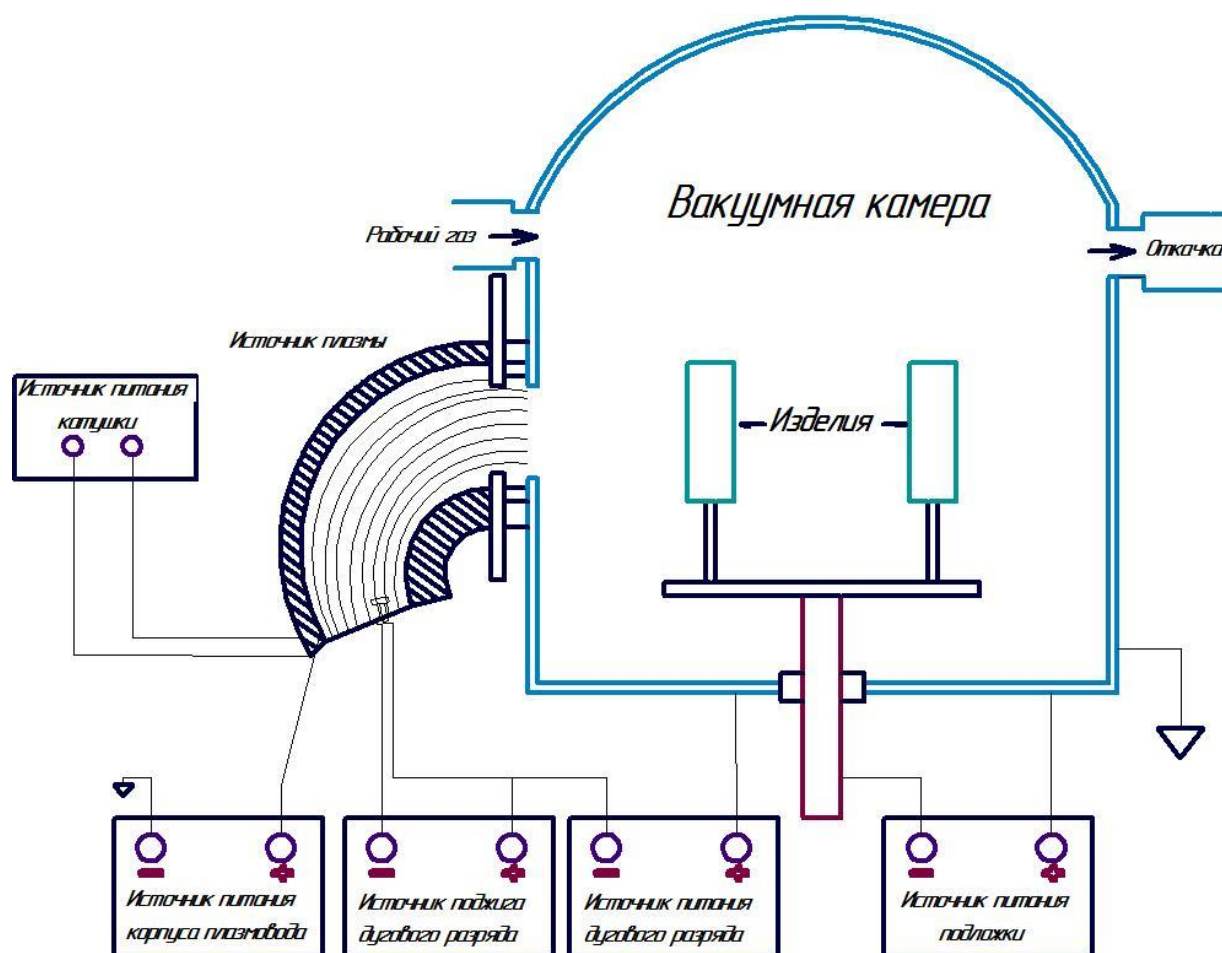


Рисунок 6. Блок-схема экспериментальной установки

В плазменных источниках различного типа, расположенных на стенках вакуумной камеры, образуется плазменный поток на основе ионов катодного

материала источников плазмы и ионов рабочего газа, подаваемого в камеру. Поток направлен на подложки или изделия, расположенные в вакуумной камере на механизме вращения. Ионы плазмы ускоряются напряжением от источника питания подложки, применяемого к механизму вращения. Плазменные ионы бомбардируют поверхность подложки. В зависимости от параметров процесса мы получаем: ионное травление поверхности подложки и ее нагревание; формирование диффузионного приповерхностного слоя, насыщенного атомами рабочего газа, например, поверхностного азотирования;

В качестве материалов дугового испарителя использовались два типа катодов титановый (сплав ВТ-1-0) и порошковый композиционный (12%Cu88%Ti).

Для испарения металлов в вакууме использовался стандартный электродуговой испаритель, упрощенная схема которого показана на рисунке 8, которая оснащена большинством промышленных установок NNV-6.

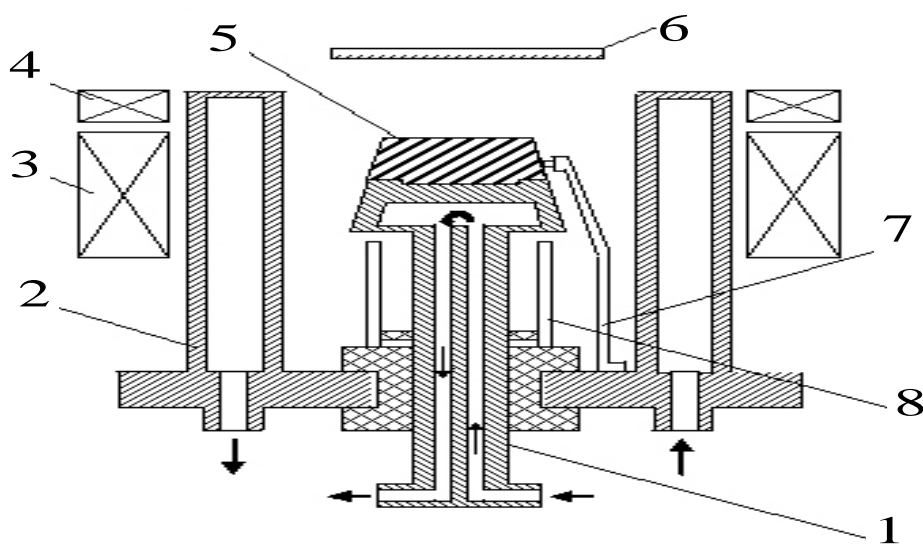


Рисунок 7 – Схема электродугового испарителя

Электродуговой испаритель состоит из 1 – держатель, 2 – корпус с водяным охлаждением, 3 – стабилизирующая катушка, 4 – фокусирующая

катушка, 5 – катод, 6 – обрабатываемая поверхность, 7 –электрод, 8 – диэлектрический токоограничивающий элемент.

2.2.1 Параметры катодов испарителя для получения покрытий

В работе обсуждаются варианты синтеза тонких износостойких покрытий из многокомпонентной плазмы, генерируемой вакуумно-дуговым распылением катодов системы Ti-Cu (Рисунок 8).



Рисунок 8. Композиционный катод Состав: 12% Cu , 88% Ti

Источником плазмы являются катодные пятна, образованные на рабочей поверхности катода. 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 [14, 15].

Установлено, что одним из перспективных подходов для формирования наноструктурных слоев и покрытий с уникальными эксплуатационными характеристиками является использование многокомпонентных (2 и более) композиционных катодов (рисунок 9).

За счет одновременного или последовательного испарения вещества с многокомпонентного катода, выполненного в виде конструктивно единой

системы из металлов образующих стабильные нитриды (Ti, Al, Zr, Cr и др.) и металлов не образующих стабильные термодинамические нитриды (Cu, Ni и др.), рост кристаллов стойких нитридов, например, TiN, формирующейся на субстрате из плазменного потока поликристаллической пленки будет ограничиваться по поверхности границ моно слоями атомов металла, например, Cu, не вступающего во взаимодействие ни с титаном, ни с азотом. Катодное пятно, хаотически перемещающееся по поверхности интегрально холодного катода, получаемого методами прессования или спекания из мелкодисперсных порошков нескольких металлов, имеющих различные теплофизические свойства, будет испарять эти материалы [16-18]. Причем скорость испарения, а также процессы ионизации испаренных атомов, должны зависеть как от основных химических и физических свойств элементов, входящих в состав, так и от структурно-фазового состояния композиционного многокомпонентного катода: дисперсности используемых порошков, степени однородности перемешивания, характера взаимодействия (диффузия, химические соединения), пористости и т.д. Важным параметром является, конечно же, ток дуги. На скорость испарения компонентов и количество генерируемых пятном микро капель влияет и интенсивность охлаждения катода.

Для производства многоэлементных катодов экономически и технологически обоснованной альтернативой традиционной металлургии были технологии порошковой металлургии, в том числе подготовка порошковых смесей желаемого состава, холодного формования и вакуумного спекания. Полуфабрикаты и изделия, полученные из порошковых смесей, имеют более однородный химический состав по объему, их фазовый состав можно легко контролировать с помощью изменения технологических режимов спекания.

При высокой степени ионизации материала, эмитированного из катода, степень ионизации реакционного газа, вводимого в вакуумную камеру для синтеза соединений (нитридов, оксидов и т.д.) в виде пленочных покрытий,

не велика. Это приводит к тому, что на стадии ионной очистки происходит бомбардировка поверхности детали практически ионами металла катода. При ускоряющих напряжениях, используемых при ионной очистке, коэффициент распыления подложки ионами материала катода, как правило, меньше единицы [19, 20]. Поэтому во время ионной бомбардировки наряду с распылением подложки также происходит осаждение покрытия. Процесс осаждения с одной стороны снижает эффективность очистки поверхности обработанных изделий от загрязнения, с другой стороны, образуется покрытие, соответствующее материалу катода. Таким образом, между поверхностью заготовки и рабочим покрытием образуется подслоя материала, соответствующего материалу катода с растворенными примесями остаточных загрязнителей. Это приводит как к уменьшению адгезии рабочего покрытия к подложке, так и к ухудшению его эксплуатационных свойств. Кроме того, низкая степень ионизации реакционного газа ограничивает возможности применения электродугового метода осаждения, создания покрытий с заданными свойствами, уменьшает способность контролировать и контролировать энергию атомов реакционного газа, уменьшает их реакционную способность при образовании соединений, как с частицами материала катода, так и с материальным субстратом.

Этот недостаток можно было бы исключить, получая наряду с потоком высоко ионизированной металлической плазмы высокую степень ионизации газовой компоненты.

2.3 Методика формирования покрытий

Перед нанесением покрытий образцы твердого сплава ВК-8 подвергались механической очистке (включая шлифование и полировку поверхности с помощью алмазного инструмента) и промывке в ультразвуковой ванне от органических загрязнений.

Затем образцы крепились на рабочем столе в вакуумной камере установки приблизительно на высоте оси катода испарителя на расстоянии ~ 30 см от него.

Для создания вакуума в объеме камеры рабочей установки проводилась откачка турбомолекулярным насосом ТМН-500 до предельного давления 10^{-3} Па. Затем в плазмогенератор «ПИНК» подавался рабочий газ аргон через двухканальную систему напуска газа СНА-2. В камере при этом устанавливалось давление $p_{Ar} \sim 1,3 \cdot 10^{-1}$ Па.

Первичная ионизация газа проводилась электронами термокатода плазмогенератора, к которому подводилось переменное напряжение до ~12 В при токе накала термокатода ~120-140 А. Ускорение электронов, а, следовательно, и скорости ионизации газа, обеспечивалось падением потенциала до 60В на промежутке катод-анод.

Образующаяся газоразрядная плазма является рабочей средой для зажигания и горения дугового разряда между полым катодом плазмогенератора «ПИНК» и стенками вакуумной камеры, играющей роль полого анода. Плазма имеет положительный потенциал относительно стенок камеры и помещенных в камеру образцов. Поэтому из плазмы на поверхность образцов поступает поток ускоренных ионов с энергией ~ (3-4) kT_e , где k – постоянная Больцмана, T_e – температура электронов ($T_e \cong 5 \div 10$ эВ).

Эти ионы, бомбардируя поверхность образцов, очищают ее от остатков органических загрязнений и адсорбированных на воздухе молекул, и атомов, а также активируют поверхностный слой, что способствует улучшению характеристик получаемых затем покрытий. Образцы за время очистки нагревались до температуры ~300° С.

Финишная очистка поверхности образцов проводилась в течение 60 мин при токе разряда $I_p = 10 \rightarrow 20$ А, напряжении смещения на подложках $U_{см} = 0 \rightarrow 850$ В и давлении газа $P_{Ar} = 3 \cdot 10^{-3}$ Тор.

Для повышения величины адгезии и совместимости материала подложки с напыляемыми элементами (Ti+N+Cu) проводилось предварительное напыление Ti слоя в аргоне в течение 5 минут.

Затем в камеру напускался азот с давлением $2,9 \times 10^{-3}$ Тор и включали систему зажигания дуги металлов. В парах катодного материала зажигался дуговой разряд. Катодное пятно, стабилизированное магнитным полем соленоида, перемещалось по поверхности катода. Ток дуги во время покрытия составлял 50 А.

На держатель с образцами подавалось напряжение смещения $U_{см} = -300$.

При таких условиях процесс нанесения нитридных пленок на поверхность образцов продолжается 60 мин. За это время на подложке формируется слой TiN толщиной ~ 1 мкм. Остывание обработанных образцов проводится в вакууме после выключения разряда в течении 60 мин до температуры $T < 100^\circ\text{C}$.

2.4 Методы исследования поверхности материалов

Для исследования твердости, морфологии поверхности, толщины, фазового состава, остаточных напряжений в поверхностных слоях образцов использовались различные методики, такие, как измерение твердости поверхности, структурно-фазовый анализ, определение толщины и количественная оптическая металлография.

2.4.1 Определение толщины покрытий методом «калотест»

Для измерения толщины покрытий был выбран метод калотест.

Стальной гладкий шар имеет две точки опоры - на вращающемся приводном валу и на плоскости образца (рисунок 9). Нагрузка в зоне контактного трения определяется массой шарика и углом наклона образца.

Износ обеспечивается путем добавления абразивной суспензии, содержащей взвешенные частицы воды из SiC, алмаза. После испытаний образец исследуется с использованием оптических средств наблюдения и измерения. В зоне контакта образуется износостойкий кратер сферической формы, на котором наблюдаются две характерные зоны: зона износа покрытия и зона износа подложки. По измеренным размерам этих зон определяются основные параметры — толщина покрытия и показатели износа.

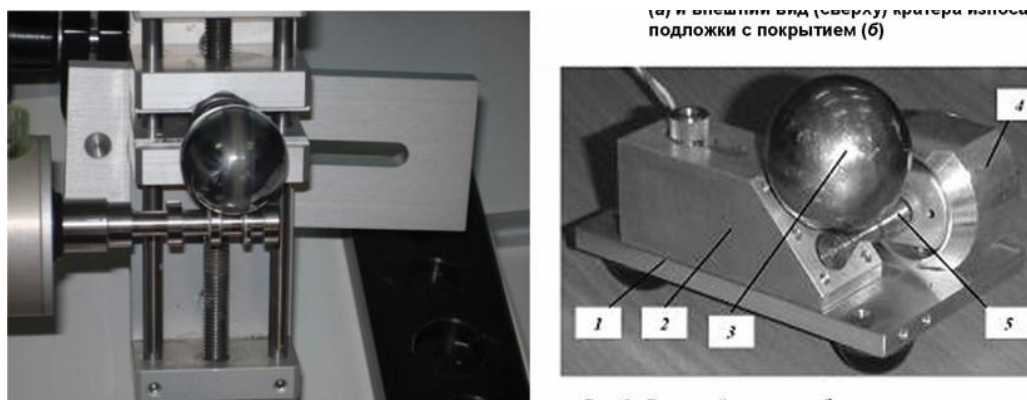


Рисунок 9. Внешний вид разработанного калотеста.

Для измерения толщины покрытий был выбран метод КАЛОТЕСТ.

Толщину определяли путем измерения параметров лунки, оставшейся, когда стальной шарик диаметром 25,4 мм (1 дюйм) вращался по поверхности на одном выбранном участке образца с использованием алмазной суспензии [25]. В разрезе скважины наблюдается резкая граница между подложкой и покрытием (рис.10). По параметрам печати, таким как диаметры отпечатков на подложке и в покрытии, диаметра шара, глубина проникновения в подложку t (формула (1)), общая глубина проникновения T (2) и толщину покрытия S (3) можно определить:

$$t = R - \frac{1}{2} \sqrt{4R^2 - d^2}, \quad (1)$$

$$T = R - \frac{1}{2} \sqrt{4R^2 - D^2}, \quad (2)$$

$$S = T - t. \quad (3)$$

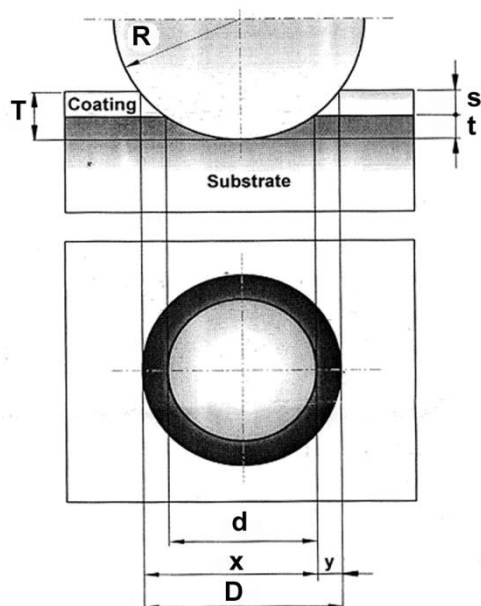


Рисунок 10. Схематическое изображение метода калотест

2.4.2 Методики определения адгезии материалов

Для тестирования покрытий устройство REVETEST (CSM Instruments) используется для определения адгезионной прочности, схема показана на рисунке 11.

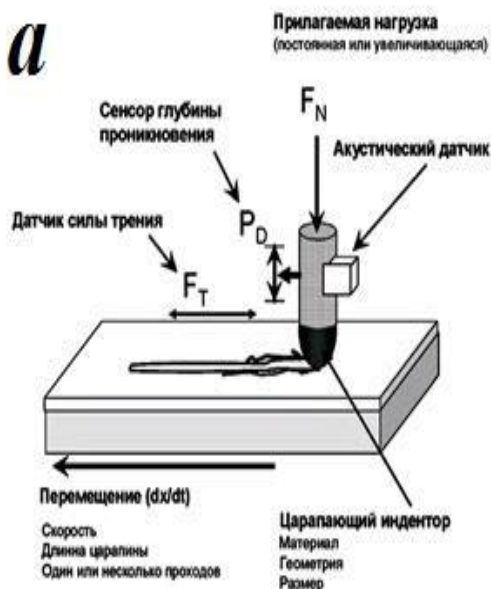


Рисунок 11. Схема определения адгезионной прочности покрытий методом скретч - тестирования

На этом приборе поверхность царапается индентором с алмазным конусом типа Rockwell при постоянной, ступенчатой или постоянно увеличивающейся нагрузке. Во время движения индентора с заданной скоростью и с увеличением нагрузки на компьютер записываются несколько датчиков, а именно: силы нагрузки, интенсивности акустического излучения, силы трения, коэффициент трения, глубина царапины. Данные сохраняются на жестком диске управляющего компьютера, анализируя форму кривых «свойство-нагрузка» и наблюдая за следами разрушения покрытия в оптическом микроскопе определяют минимальная нагрузка (L_c).

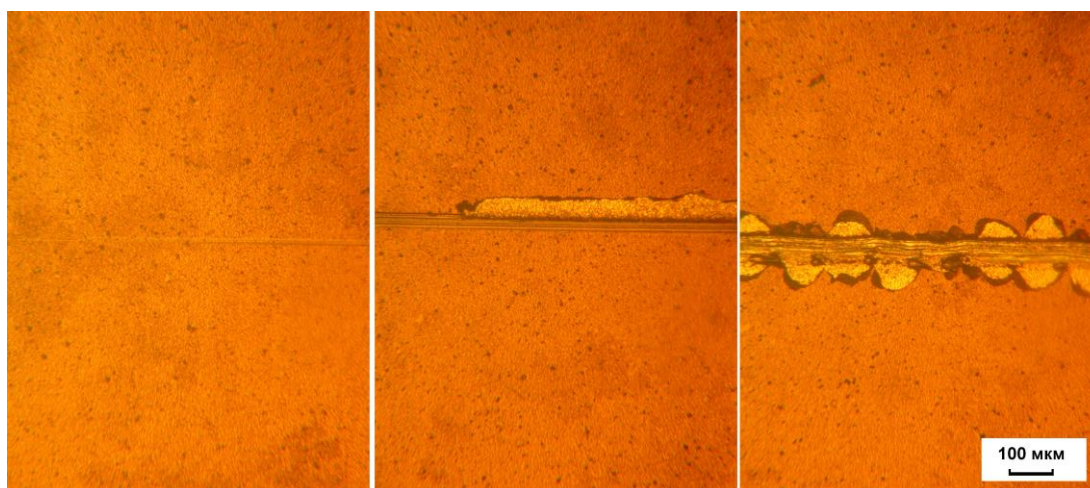
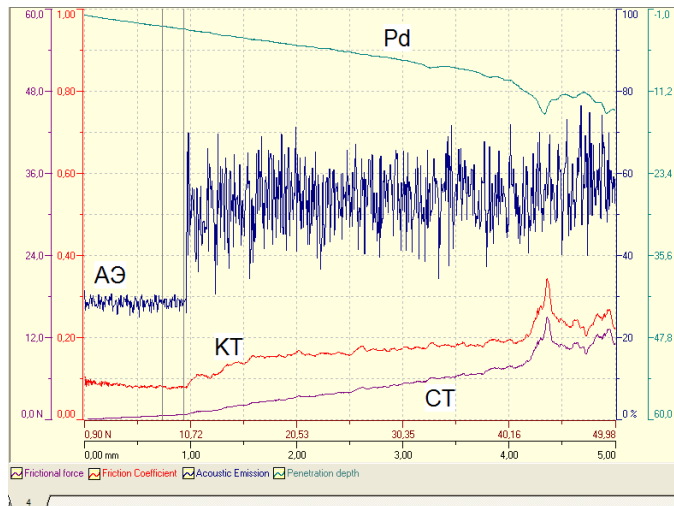


Рисунок 12. Изображения скретч - тестирования

Испытания проводились при нагрузке от 0,9 - 50 Н , скорость 10 мм / мин, а длина царапины составляла 10 мм.

Алмазный индентор типа Rockwell S с радиусом 20 мкм, нанесены 2 царапины.



ГП

Рисунок 13 - Изменение сигнала разных датчиков при царапании образца с увеличением нагрузки от 0,9 до 50 Н.

Используются следующие обозначения: КТ - глубина погружения, АЭ - акустическая эмиссия, СТ - коэффициент трения, СТ - фрикционный сила.

Условно, процесс разрушения покрытия при царапании алмазным индентором можно разделить на три этапа (рис. 13). На стадии А индентор монотонно проникает в покрытие: глубина проникновения (НР) и коэффициент трения (ТТ) уменьшаются, сила трения (ТТ) незначительно увеличивается, сигнал акустической эмиссии (АЭ) остается неизменным.

На стадии В проходит скачкообразное увеличение уровня и амплитуды АЭ, изменение наклона кривых КТ и СТ. На стадии С заметно немонотонное изменение ГП, КТ и СТ.

Сравнительный анализ структурных особенностей царапины на стадии А (нагрузка менее 1 Н) индентор не оставляет следов на покрытии. Смещение алмазного индентора через пленку проходит с очень низким коэффициентом трения.

При нарастающей нагрузке (стадия В) происходит появление как шевронных трещин на дне царапины, так и диагональных трещин по ее берегам.

Когда диагональные трещины вдоль царапины наблюдаются расщепления отдельных чешуек. Образование таких трещин сопровождается увеличением уровня и амплитуды сигнала АЭ, а также монотонным увеличением КТ. Третий этап С связан с локальным, а затем непрерывным, отбиванием подложки под давлением индентора. Появление отдельных чипов покрытия сопровождается резкими всплесками кривой КТ вверх, а кривая ГП вниз.

2.4.3 Методики определения твёрдости материалов

Определение твердости путем вдавливания является наиболее заметным и широко распространенным типом механических испытаний материалов. Он состоит в том, что индентор (наконечник) вдавливается в испытательный материал под воздействием нагрузки, действующей в течение определенного времени в виде шарика, конуса или пирамиды. Чем меньше приложенная нагрузка, тем меньше деформированный объем, тем точнее распределение свойств материала [26].

При испытании на микротвердость размер печати настолько мал, что становится возможным определить твердость отдельных зерен или структурных составляющих материала. Поэтому определение микротвердости является важным методом физико-химического анализа материалов.

В настоящей работе использовались два метода для оценки твердости поверхности. Для предварительного определения отличий в свойствах у покрытий с НС и МС одним из лучших методов является измерение микротвердости. Этот метод дает довольно точные результаты измеренной микротвердости с погрешностью $\pm 30 \text{ кг/мм}^2$, по которым можно увидеть, что покрытия с различной структурой имеют иногда существенно различные значения микротвердости.

Принцип действия прибора основан на вдавливании алмазного индентора Виккерса (Vickers), выполненного в виде правильной четырехгранной пирамиды, под определенной нагрузкой (от 5 до 200 г.) в плоскую поверхность исследуемого материала и измерении линейной величины диагонали полученного квадратного отпечатка. Величина твердости при вдавливании – среднее напряжение вдавливания, отнесенное к поверхности отпечатка и вычисляемое в кгс/мм² (килограмм сила на квадратный миллиметр).

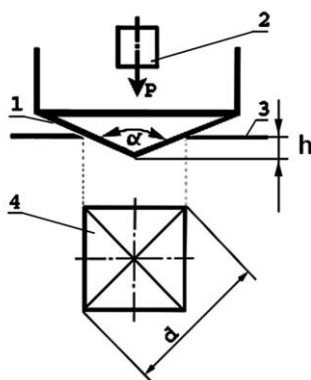


Рисунок 14 – Принцип вдавливания алмазного индентора Виккерса:

1 – индентор (четырёхгранная пирамида); 2 – груз; 3 – испытываемый материал; 4 – отпечаток; α – угол между противоположными гранями пирамиды равен 136° ; Форма отпечатка – квадрат: d – диагональ отпечатка – 300 мкм) h – глубина отпечатка (0,5 – 40 мкм

Методы наноиндентирования и микроиндентирования позволяют изучать микромеханическое поведение и структурную чувствительность механических свойств на малых образцах, тонких пленках, покрытиях. Для материалов с большой долей упругой составляющей работы (более 20%) определение твердости по восстановленному отпечатку дает искаженные значения: твердость будет очень сильно завышена. Поэтому определение нанотвердости по невосстановленному отпечатку (динамический метод Оливера и Фарра) для таких материалов является единственно возможным.

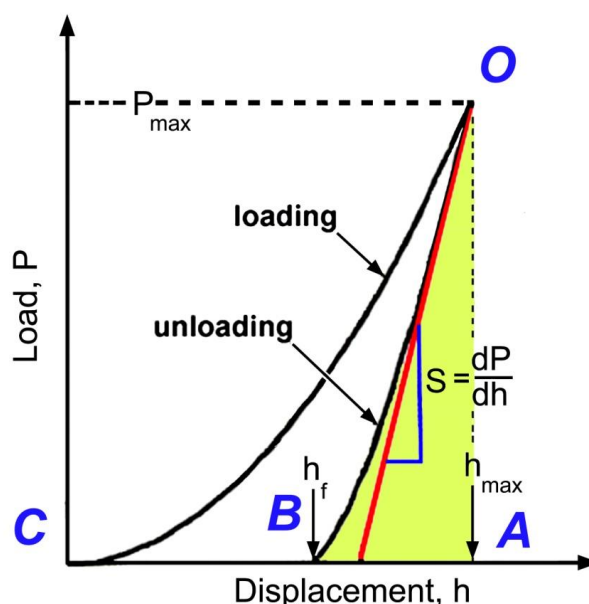


Рисунок 15 – Диаграмма зависимости нагрузки (P) от глубины (h).

Методика испытания на микротвердость описана в ГОСТ 9450-60.

Форма и твердость алмазной пирамиды по Виккерсу (ГОСТ 2999-59), точность пирамиды выше, поскольку для небольших отпечатков неопределенность индентора более выражена в результатах испытаний. Точность размеров пирамид регулируется ГОСТ 9377-63.

При испытании на микротвердость поверхность алмазной пирамиды и испытываемая поверхность образца должны быть сухими (без смазки).

В данной работе проводились измерения на микротвердомере ПМТ-3 твердости поверхности образцов без покрытия и после процесса напыления с двух типов катодов и по разным режимам. Данный статический метод основан на вдавливании четырехгранной алмазной пирамиды Виккерса под действием постоянной нагрузки (в нашем случае $P = 100\text{гр}$).

Для выявления точных значений твердости полученных тонких покрытий при испытательных нагрузках значительно меньших 100 г и определения их упругих свойств (т.е. соотношения между упругой и пластической деформации по снимаемым кривым нагружения и разгружения индентера), образцы исследовались с помощью прибора NHT-S-AX-000X

фирмы CSEM Instruments динамическим методом определения твердости – наноиндентацией.

2.4.4 Количественный металлографический анализ

Для определения структурного состава сплава был применён метод секущих (или линейный метод) [17]. Он сводится к измерению и суммированию длин отрезков прямой линии, проходящей через данную структурную составляющую (или фазу), на определённой длине секущей прямой.

Суть линейного метода заключается в том, что структура, видимая при микрофотографии, состоящая из любого количества фаз или структурных компонентов, пересекается рядом прямых линий. Контуры поперечных сечений микрочастиц отдельных фаз на тонком участке разрезают эти линии на отдельные сегменты. Если мы отдельно суммируем длины отрезков, которые попадают на каждую из фаз структуры, и разделить суммы на общую длину секущих линий, то полученные частные будут соответствовать долям объёма сплава, которые занимают каждая из этих фаз. Точность метода тем выше, чем длиннее секущие линии, проведённые на микрофотографии. Линии можно проводить произвольно, но необходимо, чтобы они охватывали всю анализируемую площадь и были равномерно по ней распределены. Точность обусловлена числом измеренных в процессе анализа отрезков. Она зависит также от объёмной доли структурной составляющей, её дисперсности и характера структуры.

Количество отрезков, отнесённое к длине секущих линий, даёт возможность определить величину удельной поверхности анализируемой структурной составляющей, характеризующую дисперсность фазы.

2.4.5 Методика измерения износостойкости покрытий

Для исследования трибологических свойств модифицированных поверхностей использовался высокотемпературный трибометр ТНТ-S-

AX0000 швейцарской фирмы CSEM, реализующий метод - вращающаяся исследуемая поверхность - неподвижное контртело. Образец закреплялся на вращающийся стол, к нему прикладывался индентор, закреплённый в специальный держатель, с постоянной нормальной нагрузкой – 5кг. Коэффициент трения определялся во время теста путём измерения прогиба эластичного рычага. Измерения проводились при комнатной температуре (25°C) в обычной атмосфере. В качестве контртела использовался шар из Al_2O_3 , радиусом 3мм. Линейная скорость вращения составляла 3см/с, минимальное количество оборотов составляло – 3000.

Износ исследуемого образца определяется путём измерения трека, образованного в результате действия неподвижного индентора на вращающийся образец.

2.4.6 Фазовый анализ

Для исследования состава подложек - исходной и модифицированных импульсным электронным пучком, был проведён фазовый рентгеноструктурный анализ. Он базируется на том, что каждая фаза имеет свою кристаллическую решётку с определёнными параметрами. На рентгенограмме каждой фазе соответствует своя система линий, интенсивность линий определяется количеством фазы, а угловое положение – системой отражающих плоскостей решётки и межплоскостными расстояниями [15].

Качественный фазовый анализ означает разделение на рентгенограмме линий, принадлежащих разным фазам, и установление вещества по имеющимся наборам межплоскостных расстояний. Полученный экспериментально ряд межплоскостных расстояний сравнивается с табличными значениями.

Эксперимент проводился на дифрактометре ДРОН – 3. При съёмке было использовано кобальтовое излучение с длиной волны $\lambda_{\alpha} \sim 1,7902 \text{ \AA}$,

щель 1.0505, угловая скорость $\approx 2^\circ/\text{мин}$, напряжение $V = 25 \text{ кВ}$, $I = 40 \text{ мА}$. Регистрация отражённых лучей при съёмке на дифрактометре производится с помощью счётчиков, фиксирующих число рентгеновских квантов. Ход лучей при съёмке на дифрактометре показан на рисунке 16.

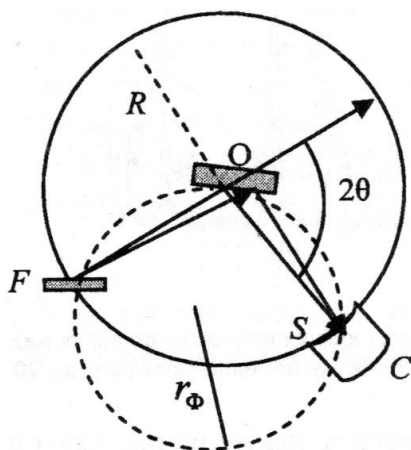


Рисунок 16. Схема съёмки на дифрактометре с фокусировкой по Брэггу-Брентано: F – источник излучения, S – щель счётчика C, r_ϕ – радиус фокусирующей окружности, O – образец, R - радиус гониометра [15].

Была использована схема съёмки, называемая “фокусировкой по Брэггу – Брентано”. Окружность гониометра проходит через фокус трубки и приёмную щель счётчика; центр окружности лежит на поверхности образца в точке O. Угловая скорость вращения счётчика в два раза больше скорости поворота образца. Расстояние от фокуса трубки F до оси гониометра O равно расстоянию от оси до входной щели счётчика C.

ГЛАВА 3. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СПОСОБОВ И ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЕ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

В данной главе представлены результаты анализа трибологических тестов адгезионных свойств покрытий TiCuN , осажденных на твердосплавные пластины из материала ВК-8, предварительно обработанные импульсным электронным пучком микросекундного диапазона. Приведены результаты исследований твердости, морфологии поверхности, толщины и фазового состава образцов.

3.1. Влияние импульсного высокотемпературного нагрева на структуру образцов из твёрдого сплава ВК-8

Исследования поверхности образцов методом секущих выявили существенное отличие в составе подложек исходного образца и образцов, обработанных электронным пучком по двум режимам.

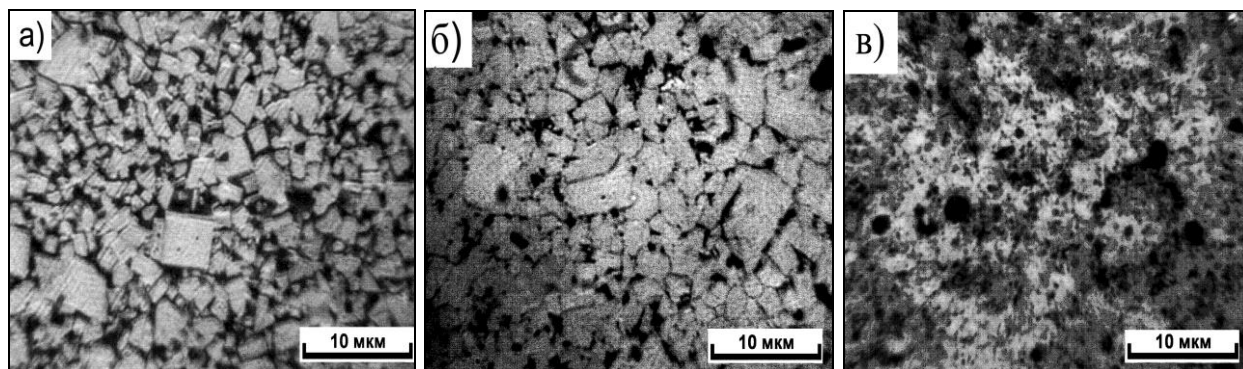


Рисунок 17. (а) поверхность исходного образца, (б) поверхность образца, обработанного при токе пучка 100 А, (в) поверхность образца, обработанного при токе пучка 135 А.

При обработке в режиме с током пучка $I = 135\text{A}$ наблюдается характерная для расплава поверхность (рисунок 17. в). Для образцов, обработанных при токе пучка $I = 100\text{A}$, получили структуру, похожую на

исходную (рисунок 17 б). Количественная оценка показала, что содержание кобальта в приповерхностном слое снизилось с 8% (а) до 5% (в).

3.1.1 Влияние импульсного высокотемпературного нагрева на твёрдость образцов

Данные микротвёрдости поверхности показали, что она составляет 17 ГПа для исходного образца, 14 ГПа для образца, облучённого в режиме с плавлением и 20 ГПа для образца, облучённого в режиме без плавления (рис.19). Для уточнения полученных значений микротвёрдости была проведена наноиндентация поверхности.

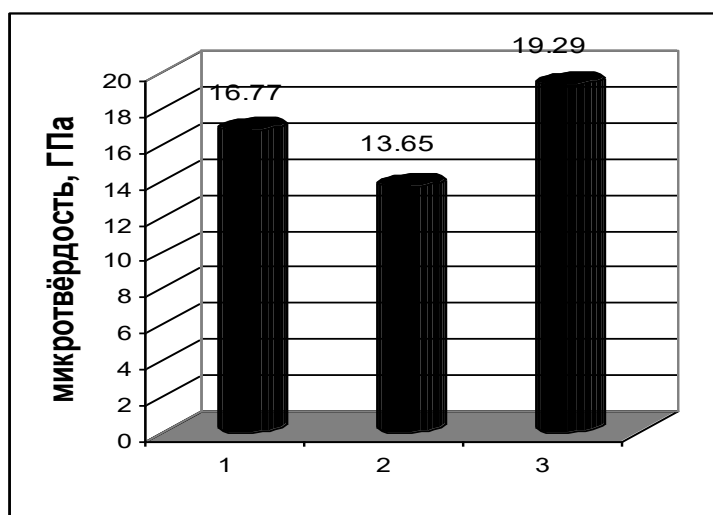


Рисунок 18. Диаграмма распределения твердости

1-исходный образец, 2-обработанный ЭП при токе пучка 135 А, 3-обработанный ЭП при токе пучка 100 А.

Наноиндентация также показала, что имеются отличия в значениях твёрдости и упругих характеристик поверхностного слоя (рисунок 18). Твёрдость образца, обработанного при $I = 100\text{А}$, увеличилась с 15 ГПа до 20 ГПа, а при обработке с $I = 135\text{А}$ снизилась до 13 ГПа.

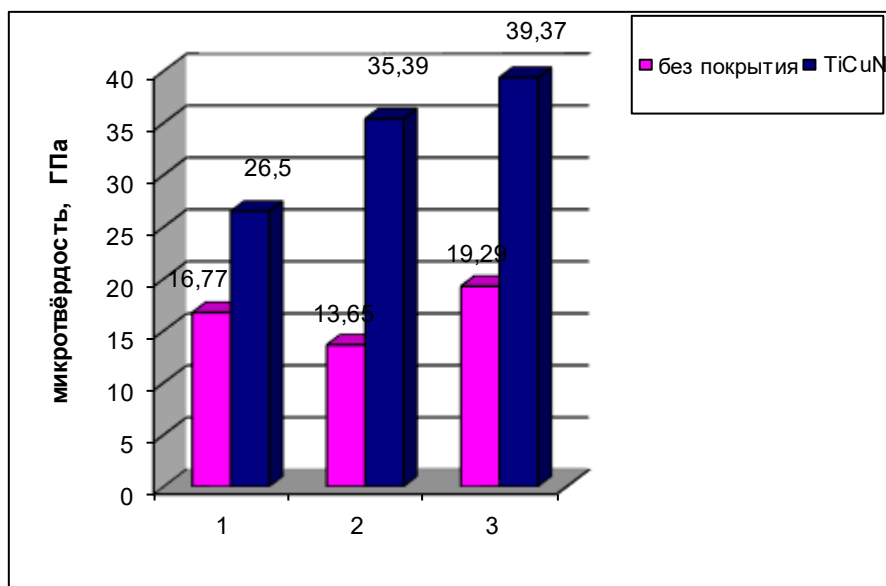


Рисунок 19. Микротвердость покрытия TiCuN

1. Исходный образец + покрытие
2. Образец, обработанный НСЭП в режиме с плавлением + покрытие
3. Образец, обработанный НСЭП в режиме без плавления + покрытие

Алмазный индентор воздействует на поверхность покрытия с непрерывно возрастающей нагрузкой $P = 0 - 10$ мН и $P = 0 - 50$ мН, при этом максимальная глубина проникновения индентора в материал покрытия (при $P = 10$ мН) может составлять всего $\sim 100-300$ нм. При таких глубинах внедрения возможна вероятность снижения влияния твердости подложки на измеренные значения для покрытий. Твердость определяется максимальной нагрузкой, P_{max} , разделенной на проецируемую площадь контакта после разгрузки:

$$H = \frac{P_{max}}{A_{PC}} \quad (5)$$

Твердость Викерса определяется максимальной нагрузкой P_{max} , разделенной на площадь контакта после разгрузки:

$$HV = \frac{P_{max}}{A_c * 9.81} \quad (6)$$

3.1.2 Рентгеноструктурный анализ

Проведённый рентген фазный анализ не выявил каких-либо отличий в составе подложек как исходной, так и обработанных по разным режимам электронным пучком (рисунок 20).

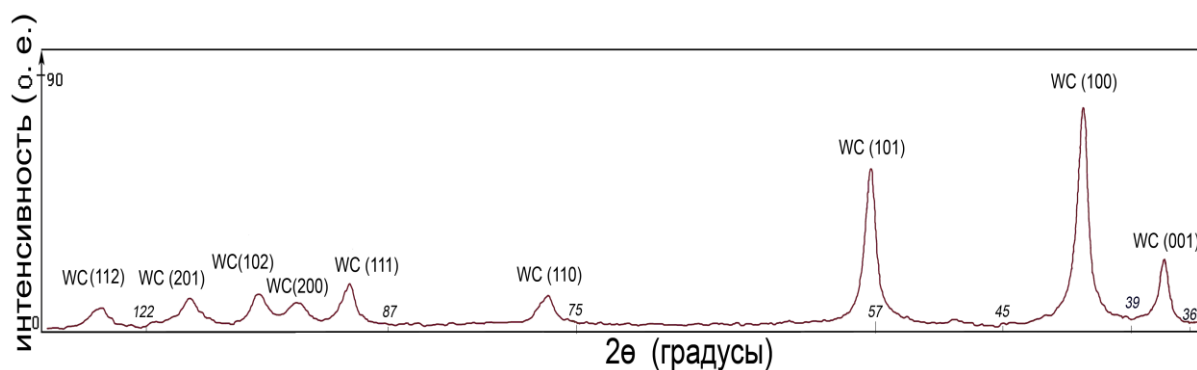


Рисунок 20. Дифрактограмма исходного образца

Это, скорее всего, свидетельствует о том, что зона модификации составляет не более 4 – 6 мкм.

На основании всего сказанного можно сделать вывод о том, что предварительная обработка электронным пучком существенно изменила такие свойства образцов, как твёрдость, упругие характеристики. Содержание кобальта в образце, обработанном при токе пучка $I = 100\text{A}$, снизилось с 8 до 5%. Но изменения произошли в небольшом приповерхностном слое $\sim 4 - 6$ мкм, о чём свидетельствуют данные рентгенофазного анализа.

3.2 Формирование покрытия

Покрyтия TiCuN наносили вакуумно-дуговым методом при ассистировании газоразрядной плазмой азота с двух типов катодов: сплав ВТ-1-0 и порошковый композиционный состава Ti-Cu(12%). Осаждение покрытий проходило в одинаковых условиях. Основные параметры напыления приведены в таблице 2.

Таблица 2 Параметры напыления покрытия

1) Очистка и нагрев		2) напыление	
P_{Ar} , Па	$1,2 \cdot 10^{-3}$	P_N , Тор	$2,8 \cdot 10^{-3}$
$U_{см}$, В	0-850	$U_{см}$, В	300
T , °С	300	I_p , А	8
I_p , А	10-20	$I_{дуг}$, А	50
t , мин	60	t , мин	60

Данные измерения толщины покрытия методом “калотест” для TiCuN покрытий, нанесённых на исходную подложку, и подложки, обработанные электронным пучком по двум режимам, приведены в таблице 3.

Таблица 3. Толщина покрытия

Толщина покрытия, мкм			
Покрытие	Исходный	Обработанный НСЭП ($I=135$ А)	Обработанный НСЭП ($I=100$ А)
TiCuN	0,6	1,2	1,5
TiN	0,3	0,9	1,4

Покрытия TiCuN напыляемые с композиционного катода TiCu, нанесённые на исходную подложку, имеют меньшую толщину, по сравнению с покрытиями, нанесёнными на подложки, предварительно обработанные электронным пучком. Это можно объяснить тем, что покрытие, нанесённое на исходную подложку, в течение процесса откалывалось и напылялось вновь, о чём свидетельствуют трещины и отколы, наблюдаемые в оптический микроскоп.

3.2.1 Определение фазового состава

Для проведения фазового анализа на образец с композиционного катода TiCuN было напылено покрытие толщиной ~ 10мкм. На дифрактограмме (рисунок 21) присутствует только TiN – фаза, меди обнаружено не было.

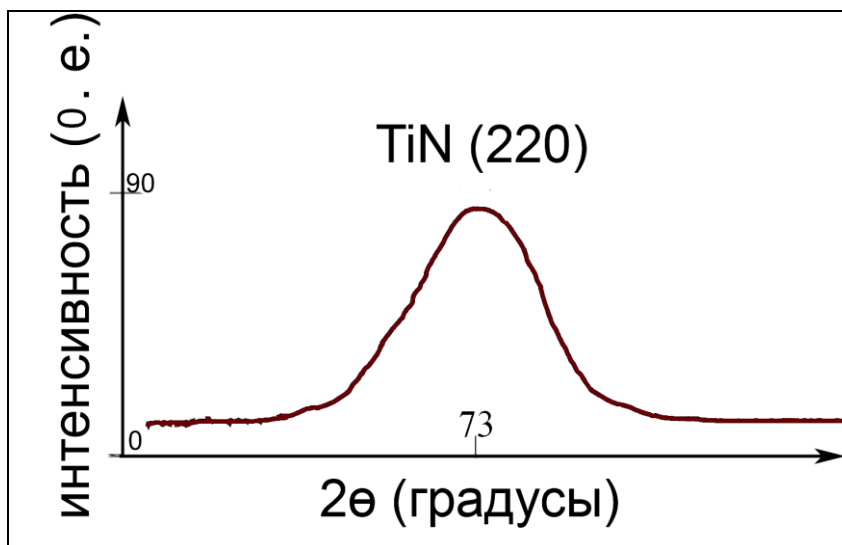


Рисунок 21. Фрагмент участка дифрактограммы образца с покрытием TiN

Размер рассчитанных областей когерентного рассеяния составил ~6,4нм. Также была выявлена преимущественная ориентация зёрен – параллельно поверхности образца.

3.2.2 Влияние комбинированной обработки на поверхностную твёрдость образцов

Результаты проведённых измерений микротвёрдости после нанесения покрытий приведены на рисунке 22. Сравним значения микротвёрдости покрытий, нанесённых на подложки, обработанные электронным пучком при токе пучка 100А. Они имеют наибольшую толщину, следовательно, дают

более точные значения. Для покрытия TiN микротвёрдость составляет ~ 29 ГПа, что соответствует обычному микрокристаллическому покрытию, а для покрытия TiCuN > 35 ГПа. Такая твёрдость косвенно свидетельствует о его кристаллической структуре.

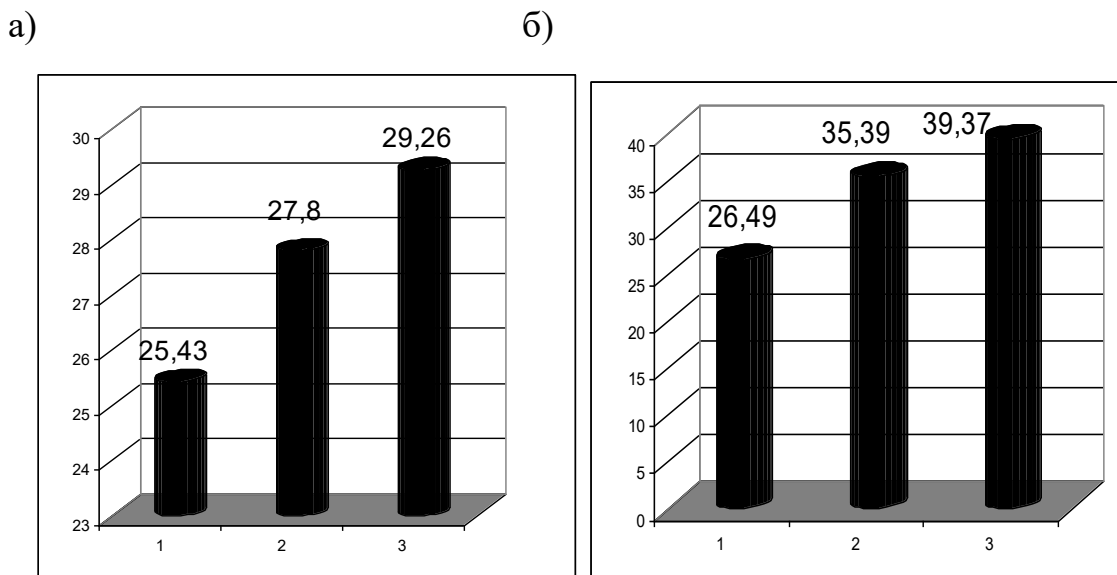


Рисунок 22. микротвёрдость образцов (а) с TiN покрытием, нанесённым с катода ВТ-1-0, (б) с TiN покрытием, нанесённым с композиционного катода: 1-нанесённое на исходную подложку, 2-нанесённое на подложку, обработанную при токе пучка 135 А, 3-нанесённое на подложку, обработанную при токе пучка 100 А.

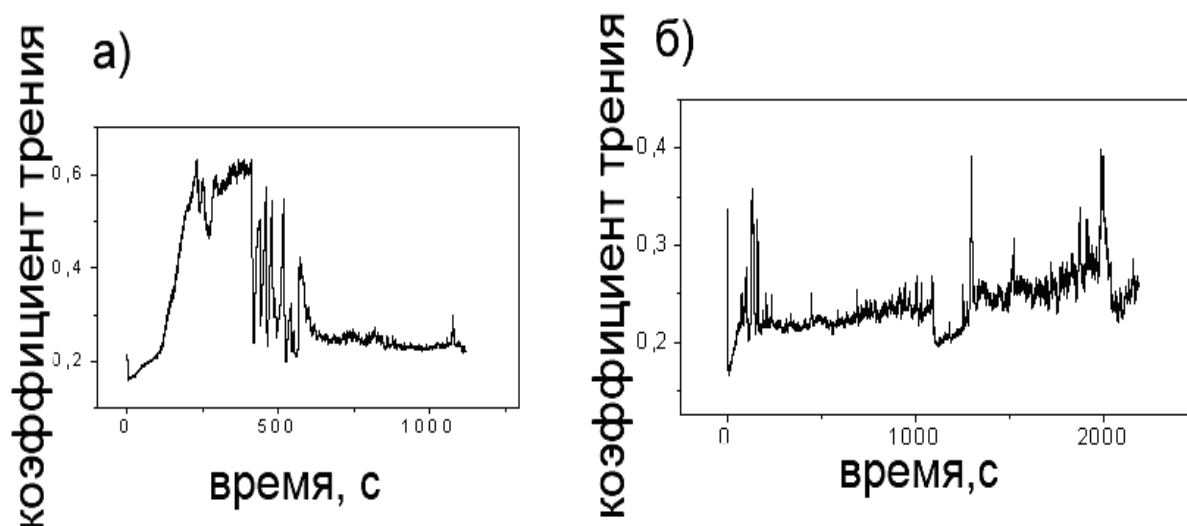
Так как толщина TiN покрытий составила менее 2мкм, что необходимо для точного измерения микротвёрдости, считается, что полученные данные отражают твёрдость всего комплекса - покрытие + подложка.

Для уточнения значений твёрдости была проведена наноиндентация поверхности. Полученные данные подтвердили отличие в твёрдости обычного TiN покрытия, и TiN покрытия, нанесённого с композиционного катода. Она составила ~ 26 ГПа и более 35 ГПа соответственно. Также были выявлены отличия в упругих характеристиках. Модуль Юнга, E составляет ~

320 ГПа для TiN покрытия, нанесённого с катода ВТ-1-0, и $E \sim 350$ ГПа для TiN покрытия, нанесённого с композиционного катода.

3.2.3 Влияние комбинированной обработки на износостойкость TiN покрытий

Для оценки прочности сцепления покрытия с подложкой в зависимости от её состава были проведены стойкостные испытания на трибометре. Характеристикой начала разрушения покрытия была выбрана величина изменения коэффициента трения. Анализ зависимости коэффициента трения от времени для TiN покрытий, нанесённых с композиционного катода, показал, что на образцах, не обработанных НСЭП, разрушение начинается уже на девятой минуте, в то время как на обработанных пучком при токе $I = 135$ А на 20-й минуты, а при токе пучка $I = 100$ А на 25-й минуте (рисунок 23). Также изменился характер разрушения покрытия. На необработанных ЭП образцах наблюдаются сколы участков покрытия, а на обработанных разрушение происходит только вдоль границы воздействия индентера.



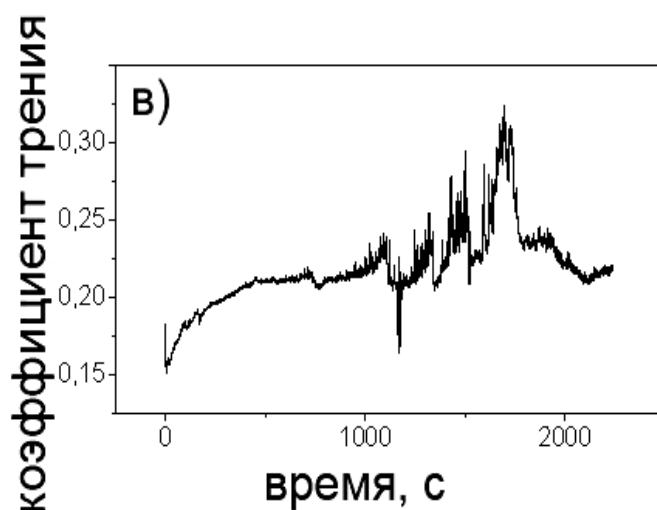
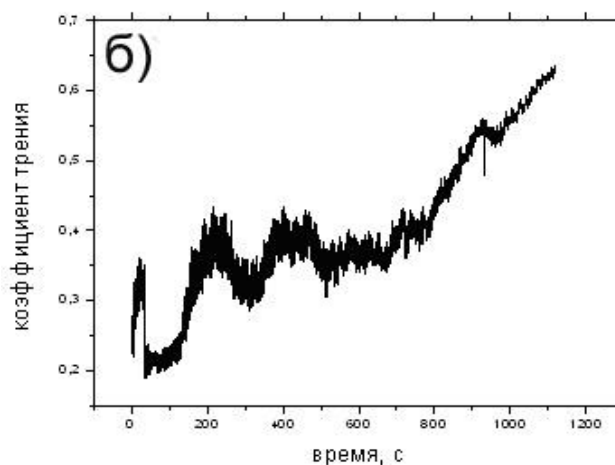
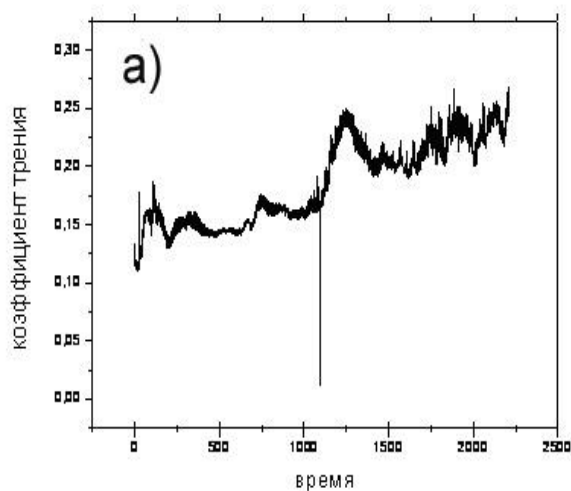


Рисунок 23. а) исходный образец + покрытие TiN, б) образец, обработанный НСЭП при токе пучка 135 А + покрытие TiN, в) образец, обработанный при токе пучка 100 А + покрытие TiN.

Для образцов с TiCuN покрытием, нанесённым с катода ВТ-1-0, наблюдается другая зависимость износостойкости от обработки НСЭП (рис. 24). Быстрее всего началось разрушения покрытия на образце, предварительно обработанном электронным пучком при токе 135 А – на пятнадцатой минуте, а у образца без предварительной обработки электронным пучком и образца, обработанного пучком при токе 100 А – на двадцать четвёртой минуте.



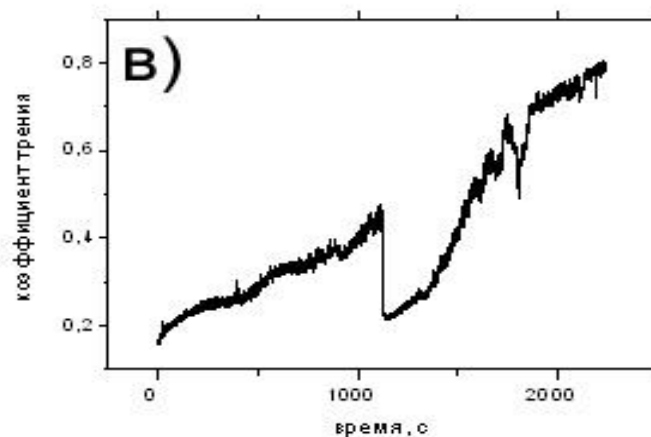


Рисунок 24. а) исходный образец + покрытие TiCuN, б) образец, обработанный НСЭП при токе пучка 135 А + покрытие TiCuN, в) образец, обработанный при токе пучка 100 А + покрытие TiCuN.

Трибологические испытания показали, что предварительная обработка электронным пучком по-разному влияет на износостойкость различных покрытий. Для покрытий, нанесённых с катода ВТ-1-0, предварительная обработка не приводит к улучшению адгезионных характеристик образцов. При обработке с током пучка 135 А износостойкость покрытия падает, разрушение начинается практически в 2 раза быстрее по сравнению с исходным. А при предварительной обработке с током пучка 100 А износостойкость остаётся такой же, как и в случае необработанной подложки.

В случае TiCuN покрытия, нанесённого с композиционного катода, предварительная обработка НСЭП существенно улучшает адгезионные свойства образцов. Износостойкость предварительно обработанных образцов увеличивается в 2-3 раза, по сравнению с исходной. Также изменяется характер разрушения покрытия. Отсутствие сколов свидетельствует об изменении переходного слоя покрытие-подложка и значительном увеличении адгезии покрытия при его нанесении на предварительно обработанную электронным пучком поверхность твёрдого сплава.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проделанной работы были получены следующие экспериментальные данные:

- Предварительная обработка НСЭП при длительности импульса 150 мкс и токе пучка 100 А даёт изменение фазового состава поверхности без плавления. Количество связующего кобальта изменилось с 8% до 5%. При токе пучка 135 А наблюдается застывший расплав без явного выявления зёрен WC и Co.

- Данные РСА не показали отличия подложек, обработанных электронным пучком, от исходной

- Твёрдый сплав в исходном состоянии имеет твёрдость ~ 15 ГПа, обработанный ЭП при токе пучка 100 А ~ 13 ГПа, а при токе пучка 135 А ~ 19 ГПа.

- Материал катода дугового испарителя влияет на твёрдость получаемого нитридного покрытия. Микротвёрдость комплекса покрытие + подложка, полученного с композиционного катода, достигает 35 ГПа, а микротвёрдость TiCuN покрытия, полученного с титанового катода ВТ-1-0 ~ 25 ГПа.

- Рентгеноструктурный анализ выявил фазу WC, других фаз обнаружено не было. Средний размер ОКР, рассчитанный для TiCuN покрытия, полученного с композиционного катода, составил ~ 6,4 нм

- Наблюдаются отколы покрытия, нанесённого с композиционного катода, после его осаждения на исходную подложку

- Стойкость TiCuN покрытия, нанесённого с композиционного катода, в результате предварительного импульсного высокотемпературного нагрева его поверхности увеличивается в 2,2 раза при токе пучка 135 А и в 2,8 раза при токе пучка 100 А.

- На обработанных образцах изменяется характер разрушения покрытия. На необработанных НСЭП образцах наблюдаются сколы участков

покрытия, тогда как на обработанных разрушение происходит только вдоль границы воздействия индентера.

В случае покрытия, нанесённого с титанового катода, предварительной импульсный высокотемпературный нагрев не приводит к увеличению износостойкости. При предварительной обработке НСЭП с током 135 А разрушение покрытия начинается даже раньше, чем на необработанных образцах

На основании полученных экспериментальных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Толщина модифицированного слоя, в случае предварительного импульсного высокотемпературного нагрева при токе пучка 100 А и 135 А, по данным рентгеноструктурного анализа, не превышает 4 – 5 мкм.

2. Обработка твёрдого сплава ВК-8 без плавления приводит к увеличению объёмной доли фазы основного карбида WC в тонком поверхностном слое

3. Нитридные покрытия, получаемые с композиционного катода, в отличие от покрытий, получаемых с катода ВТ-1-0, имеют признаки нанокристаллического материала.

4. На адгезию оказывает влияние не только параметры импульсного высокотемпературного нагрева, но и структура формируемых покрытий (нано либо микро).

5. Формирование на поверхности твёрдого сплава ВК-8 слоя 3-4 мкм с повышенным содержанием фазы WC обеспечивает уменьшение коэффициента линейного расширения. В процессе остывания образцов, после осаждения покрытия TiCuN с композиционного катода, линейные размеры площади, контактирующей с покрытием, изменяются незначительно, что, безусловно, приводит к лучшему сцеплению конденсата с подложкой.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ61	Рахымтай Нурсая Нургаликызы

Школа	ИШНПТ	Отделение	материаловедения
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	машиностроение

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

<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i> 3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i> 	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах</i>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i> 2. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i> 3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Потенциальные потребители результатов исследования;</i> 2. <i>Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;</i> 3. <i>SWOT-анализ;</i> 4. <i>Инициация проекта.</i> <p><i>Оценка сравнительной эффективности исследования. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта</i></p>
--	---

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	Рахымтай Н. Н		

ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРС ЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

4.1 Пред проектный анализ. Потенциальные потребители результатов исследования

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурс эффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта.

В ходе написания дипломной работы решались следующие задачи:

- изучить теоретические основы процесса использования ресурсов;
- проанализировать целевой рынок и произвести сегментирование рынка вакуумно дугового оборудования;
- составить итоговая матрица SWOT-анализа;
- определить матрица ответственности;
- произвести анализ и нормирование расхода материальных ресурсов в институте сильноточной электроники (ИСЭ СО РАН);
- планирование план проекта и рассчитать бюджет научного исследования;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурс эффективности и ресурсосбережения

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками. **Сегментирование** – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

Потенциальными потребителями данного научно технического исследования являются научные сотрудники, студенты.

Таблица 4 – Карта сегментирования рынка

		Отрасли, занимающиеся вакуумно дуговым оборудованием		
		Институт Сильноточной электроники СО РАН	Научно-исследовательские лаборатории	Сибирский завод электротермического оборудования
Сфера деятельности по применению контактных материалов	Изучение материалов оборудования	x	x	x
	Изучение свойств контактных материалов	x	x	
	Анализ характеристик оборудования	x	x	
	Использование вакуумно дуговой оборудования в промышленных целях	x		x

Исходя из таблицы, мы видим три ключевых организаций, занимающиеся вакуумно-дуговыми устройствами. Среди них по сфере

применения контактных материалов лидирующую позицию занимает «Институт Сильноточной электроники» СО РАН, так как в отличие от ОАО «Сибирского завода электротермических оборудовании» изучает свойств контактных материалов и проводить анализ характеристик оборудования. А что касается "научно исследовательских лаборатории" по отношению «Института Сильноточной электроники» СО РАН, конкурентным преимуществом последнего является, собственно говоря, использования вакуумно-дуговых оборудовании в промышленных целях.

Таблица 5 Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,2	4	4	3	4	0,8	0,6
2. Простота технологии нанесения покрытия	0,15	4	4	3	3	0,4	0,3
3. Энергоэкономичность	0,05	3	3	3	3	0,15	0,13
4. Надежность	0,05	4	4	4	4	0,2	0,14
5. Безопасность	0,1	4	3	3	4	0,3	0,3
6. Широта области применения покрытия	0,15	5	5	3	4	0,4	0,3
Экономические критерии оценки эффективности							
7. Цена	0,15	4	4	4	4	0,45	0,45
6. Финансирование научной разработки	0,05	4	4	4	4	0,3	0,3
Итого	1	32	31	27	30	3	2,52

К1 – методы комбинированная обработки поверхности металлов

К2 – традиционные методы нанесения износостойких покрытий

Таким образом, конкурентоспособность разработки составила 30. Результаты показывают, что данная научно-исследовательская разработка

является конкурентоспособной и имеет преимущества по таким показателям, как удобство в эксплуатации, надежность, цена, безопасность.

Диаграмма Исикавы

Для определения причин проблемы организации и последующего графического представления применена диаграмма причины-следствия Исикавы, которая является отличным графическим методом анализа и формирования причинно-следственных связей. Диаграмма Исикавы представлена на рисунке 25.



Рисунок 25. Диаграмма Исикавы

4.1.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ позволяет выявить и структурировать сильные и слабые стороны проекта, а также потенциальные возможности и угрозы. Достигается это за счет сравнения внутренних сил и слабостей своей компании с возможностями, которые дает им рынок. Матрица SWOT для данной разработки представлена в таблице 6.

Таблица 6. Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Применение вакуумно-плазменной технологии повышает эксплуатационные показатели изделия, (точность, себестоимость).</p> <p>С2. Повышение производительности.</p> <p>С3. Увеличение срока службы инструмента.</p> <p>С4. Прочность, вязкость и теплостойкость режущего инструмента.</p> <p>С5. Высокая твердость режущей кромки.</p> <p>С6. Высокая адгезия и абразивная износостойкость.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Наличие в плазменном потоке и на поверхности конденсации капельной фракции.</p> <p>Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой</p> <p>Сл3. Вероятность получения брака.</p> <p>Сл4. Большие затраты на комплексное оборудование</p> <p>Сл5. Неоходимость разработки нового оборудования.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ и ИСЭ СО РАН (т.е использование научного оборудования)</p> <p>В2. Возможность внедрения технологии</p>	<p>С1В1 – расширение возможности оборудования в производстве.</p> <p>С2В2 – высокий спрос на износостойкость покрытия.</p> <p>С2В3 - возможность увеличения расстояния от</p>	<p>В1Сл1 –новейшее оборудование, позволит на ранних стадиях исследование, выявить и предотвратить появление брака.</p>

<p>в производство В3. Так как группа имеет знания и опыт в данном направлении, то если возможность расширить номенклатуру обрабатываемых изделий. В4. Использование консультаций специалистов</p>	<p>мишени до подложки. С4В4- качество и стоимость изделия с упрочнённым поверхностным слоем в результате комбинированной обработки будет являться конкурентным преимуществом на российском рынке.</p>	
<p>Угрозы: У1. Угроза появления новых конкурентов У2. Задержка финансирования проекта У3. Невысокие качество услуг У4. Относительно низкие допустимые токи номинальных и аварийных режимов У5. Низкая доступность финансов. У6. Отсутствие спроса на научную разработку</p>	<p>С1У7-возможность применение вакуумно - дугового метода, позволяет создавать новые и более качественные конкурентоспособные изделия. С2У8 – Снижение времени вакуумно - дуговой обработке.</p>	<p>Сл1У1 – осаждение на поверхности подложки покрытия титана.</p>

На основе приведенного выше анализа можно сделать выводы о потенциале применения вакуумно-дугового оборудования. Таким образом, в целях нанесения покрытия с вакуумно-дуговым оборудованием возможны следующие рекомендации:

- 1) Усилить слабые стороны:
 - Применить новые методы для нанесения покрытия TiCuN;
 - Сотрудников следует направить на повышение квалификации.

- Модернизировать новые оборудования.

2) Использовать возможности:

- Наиболее качественнее использовать возможность установки вакуумно - дугового оборудования для привлечения клиентов;

- Снизить численность брака.

3) Устранить угрозы:

- Устранить конкуренцию по нанесению покрытий на режущий инструмент, путем производства качественных покрытий.

- Финансировать научную разработку.

По проведенному SWOT - анализу, можно сделать вывод, что предприятие ИСЭ СО РАН занимает высокое место на данном рынке, имеет сильные стороны и стремиться устранить все виды угроз.

4.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Таблица 7. Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научнотехнический задел	4	3
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	3
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	3	3
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	2
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	2
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	4
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	2
8.	Разработан бизнес-план	2	1

	коммерциализации научной разработки		
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	2
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	2
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	2
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	2
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	3
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	4
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
	ИТОГО БАЛЛОВ	46	39

Исходя из расчетов уровня имеющихся знаний у разработчика и степени проработанности научного проекта можно сказать, что готовность разрабатываемого проекта к коммерциализации средняя. Таким образом, перспективность данного проекта выше среднего.

4.1.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

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

4.2 Инициация проекта

В данном разделе приведена информация о заинтересованных сторонах проекта и их ожиданий от реализации проекта. Заинтересованными сторонами проекта является высшее руководство организации, отдел по управлению качеством и рабочий персонал. В получении результата заинтересованы следующие стороны, представленные в таблице 8.

Таблица 8. Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Университет	Наличие НИОКР
Студент	Защита магистерской диссертации. Получение высшего образования.
Предприятия, занимающиеся изготовлением деталей и механизмов	Большая производительность. Расширить номенклатуру обрабатываемых изделий. Высокий спрос
Потребители	Низкая стоимость изделий по сравнению, с изделиями полученными стандартными методами. Качество покрытий.
Государство	Возможность импорт замещение.

В таблице 9 представлена информация об иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 9. Цели и результат проекта

Цели проекта:	Получить и исследовать стойкость нано кристаллического TiCuN покрытия на поверхности твердого сплава ВК8 в зависимости от режимов предварительной обработки электронным пучком. Определение влияние параметров технологических процессов на основные функциональные свойства износостойких нитридных покрытий, получаемых вакуумно-дуговым методом.
Ожидаемые результаты проекта:	Определение влияние параметров технологических процессов на основные функциональные свойства износостойких нитридных покрытий, получаемых вакуумно-дуговым методом.
Критерии приемки результата проекта:	Отсутствует методики описания, которая бы внесла ясность и четкость.
Требования к результату проекта:	Требование:
	Результат проекта должен иметь актуальное теоретическое и практическое значение.
	Наглядные иллюстрации (графики и диаграммы).
	Выполнения проекта в срок.

Организационная структура проекта

Таблица 10 Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
-------	---------------------------------------	----------------	---------	--------------------

1	Гончаренко Игорь Михайлович	Руководитель проекта	Отвечает за реализацию проекта, координирует деятельность участников проекта	1024
2	Рахымтай Нурсая Нурғалиқызы	Исполнитель по проекту	Отвечает за работу оборудования, выполняет технологические работы	1624

Ограничения и допущения проекта

Таблица 11 Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1 Источник финансирования	ИСЭ СО РАН
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

В этом разделе определены ключевые вехи проекта, а также их даты и результаты, которые должны быть достигнуты.





Таблица 12. Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Обсуждение плана проект	11.09.17	Утверждение участников исследования
2	Обзор литературы	18.09.17	Отчет по изученной литературе.
3	Изучение состава и устройства экспериментального оборудования.	2.10.17	Теоретические методички, книги
4	Провести подготовку образцов из сплава ВК8.	26.10.17	Обработанные образцы
5	Провести измерения микротвердости поверхности образцов с покрытием на приборе ПМТ-3.	10.11.17	Исследуемые образцы, иллюстрации (графики, картинки)
6	Проанализировать полученные экспериментальные результаты.	20.12.17	Отчет
7	Оценить толщину покрытий на основе данных, полученных методом КАЛОТЕСТ	5.01.18	Исследуемые образцы, иллюстрации (графики, картинки)
8	Тестирование адгезионной прочности покрытий с помощью скретч теста	9.01.18	Исследуемые образцы, иллюстрации (графики, картинки)

9	Описание результатов	29.01.18	Отчет
10	Исследование	28.02.18	Исследуемые образцы, иллюстрации (графики, картинки)
11	Описание результатов	12.03.18	Отчет
12	Сделать заключение	18.04.18	Отчет
13	Защита диплома	15.06.18	диплом

4.3.2 План проекта

В рамках планирования научного проекта построен календарный график проекта.

Таблица 13. Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, рабочие дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Обзор литературы (сбор необходимой информации). Обсуждение плана проект	15	11.09.17	2.10.17	Гончаренко И.М. Рахымтай Н.Н.
2	Подготовка необходимого оборудования для исследований.	20	2.10.17	25.10.17	Гончаренко И.М. Рахымтай Н.Н.
3	Подготовка образцов для проведения экспериментов по нанесения покрытий.	7	26.10.17	3.11.17	Гончаренко И.М. Рахымтай Н.Н.
4	Проведение техпроцесса напыления покрытия TiCuN на поверхность образцов из твердой сплав ВК8.	4	3.11.17	10.11.17	Гончаренко И.М. Рахымтай Н.Н.

5	Проведение измерение с помощью микро твердомера ПМТ – 3 при двух нагрузках индентирования (50 и 100 г) на поверхность образцов с покрытиями, полученными при разных режимах.	6	10.11.17	20.11.17	Гончаренко И.М. Рахымтай Н.Н
6	Описание результатов	6	20.11.17	27.11.17	Рахымтай Н.Н
7	Измерить толщину покрытий с методом КАЛОТЕСТ	6	27.11.17	5.01.18	Гончаренко И.М. Рахымтай Н.Н
8	Описание результатов	3	5.01.18	9.01.18	Рахымтай Н.Н
9	Тестирование адгезионной прочности покрытий с помощью скретч теста	5	9.01.18	15.01.18	Гончаренко И.М. Рахымтай Н.Н
10	Описание результатов	6	28.02.18	7.03.18	Рахымтай Н.Н
11	Отчет по исследовательской работе(написание статей, выступление на конференциях.)	19	7.03.18	4.04.18	Рахымтай Н.Н
12	Написание дипломного проекта.	37	4.04.18	25.05.18	Рахымтай Н.Н
	Итого баллов:	134			

Можно отметить, что перечень работ четко определены, они имеют ясный смысл и находятся в области допустимых решений проекта.

Результатом выполнения проекта будет допуск к защите диплома. В результате весь проект должен быть выполнен в 134 дни.

В таблице 14 отображается период времени выполнение научного проекта, ответственные исполнители и вид работы.

Таблица 14. Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Код работы (из ИСР)	Вид работ	Исполнители	Т.к.кал., дн.	Продолжительность выполнения работ														
				февр.		март			апрель			май		июнь				
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
1	Составление технического задания	Руководитель	7	■														
2	Изучение литературы	Инженер (дипломник)	15				■											
3	Выбор направления исследования	Руководитель, инженер	10						▨		■							
4	Проведение техпроцесса напыления покрытия	Руководитель, инженер	7						▨		■		▨					
5	Измерить толщину покрытий	Инженер (дипломник)	12	■														
6	Измерить твердость покрытий	Инженер (дипломник)	12	■														
7	Измерить адгезий покрытий	Инженер (дипломник)	11	■														

Таблица 16. Амортизационные отчисления

№ п/п	Наименование оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Кол – во единиц оборудования	Общая стоимость оборудования тыс.руб.
1.	Вакуумная ионно-плазменная установка типа ННВ 6.6-И1.	1300000	1	1300000
2.	Прибор Calotest	20000	2	40000
3.	Микротвердомер ПМТ-3М	56000	2	112000
4.	Прибор скретч тест	30000	1	30000

Зарботная плата рабочим рассчитана по тарифным ставкам и отработанному времени

Таблица 17. Расчет заработной платы

Исполнители	Кол-во	З.п, руб/мес	Кол – во отработ. дней	Всего запад, руб.	Дополн. З.п	Отчисл. На соц. нужды
Руководитель	1	25000	67	55823	6698	16746
Исполнитель	1	9000	123	36900	4428	11070
Итого баллов				92723	11124	27816

Таблица 18. Затраты на электроэнергию

№ п/п	Наименование оборудования	Мощность кВт	Время эксплуатации, (час)	Расход электроэнергии. Руб.
1.	Вакуумная установка типа ННВ 6.6-И1.	8	80	2790
2.	Прибор Calotest	0,2	120	104,6
3.	Микротвердомер ПМТ-3	0,02	80	6,9
	ИТОГО			2901,5

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

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 приведена в таблице 19.

Таблица 19. Полная смета затрат

Статьи	Затраты, руб
Основные и вспомогательные материалы	30157
Заработная плата	92723
Дополнительная заработная плата	11124
Отчисления на социальные нужды	27816
Затраты на электроэнергию	2901,5
Амортизация	3690
Затраты на водоотведение	267,6
Затраты на водоснабжение	392,8
Прочие расходы (2% от полной зарплаты)	1854,46
Итого	170923,4

Были рассчитаны затраты на водоснабжение, водоотведение и на электроэнергию, произведено расчет заработной платы. Затраты на реализацию НИР составили 170923,4 руб. Таким образом, ограничения по проекту соблюдены и по срокам, и по финансовым ресурсам.

4.3.4 Матрица ответственности

Матрица ответственности – это таблица, в строках которой перечислены имеющиеся действия, а в колонках – должности или роли сотрудников (таб. 20).

Таблица 20. Матрица ответственности

Этапы проекта	Руководитель	Исполнитель
Обзор литературы (сбор необходимой информации)	оиу	и
Проведение техпроцесса напыления покрытия TiCuN на поверхность образцов из твердой сплав ВК8.	ои	ои
Проведение измерение с помощью микро твердомера ПМТ – 3	оу	ои
Описание результатов	ус	ои
Измерить толщину покрытий с методом КАЛОТЕСТ	ус	и
Тестирование адгезионной прочности покрытий с помощью скретч теста	у	ои
Описание результатов	ус	ои
Отчет по исследовательской работе	у	ои
Защита диплома	у	ои

В реализации проекта принимают участие следующие заинтересованные лица: Руководитель – Гончаренко И.М, исполнитель – Рахымтай Н.Н.

4.3.5 Реестр рисков проекта

Таблица 21. 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 есть риск не уложиться в бюджет проекта	2	4	средний	Планирование финансирования проекта с учетом повышения цен.	Повышение цен поставщиками
2	Нехватка квалифицированной рабочей силы	3	4	средний	Повышение квалификации кадров	При условии, если уволиться или заболит 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

Как видно из полученного реестра рисков для разработанной научной работы с использованием вакуумно - дугового оборудования существуют значимые риски. На данные риски было обращено большое внимание и были предложены способы смягчения и устранения данных рисков. Это позволяет сохранить стабильную работоспособность метода.

4.3.6 Оценка сравнительной эффективности исследования

Интегральный показатель ресурс эффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{\phi}^p = \Phi_{pi} / \Phi_{max} = 170923,4 / 200000 = 0,8$$

где I_{ϕ}^p - интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения проекта.

Таблица 22. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,2	5	3
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям)	0,2	4	2

потребителей			
Помехоустойчивость	0,15	5	3
Энергосбережение	0,1	4	3
Надежность	0,2	4	4
Материалоемкость	0,15	4	4
Итого баллов	1		

$$I_{\text{П}}=0,2*5+0,2*4+0,2*5+0,1*4+0,2*4+0,15*4=4,6$$

$$\text{Аналог 1} = 0,2*3+0,2*2 +0,15*3+0,1*3+0,2*4+0,15*4=3,15$$

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{\text{финр}}^P$) и аналога ($I_{\text{финр}}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурс эффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^P = I_m^P / I_{\phi}^P = 4,6 / 0,8 = 5,75$$

$$I_{\text{финр}}^a = I_m^a / I_{\phi}^a = 3,15 / 0,8 = 3,93$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\vartheta_{\text{ср}} = I_{\text{финр}}^P / I_{\text{финр}}^a = 5,75 / 3,93 = 1,46$$

Все рассчитанные параметры занесены в таблицу 23.

Таблица 23. Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Аналог	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,8
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	3,45
3	Интегральный показатель эффективности	5,75	3,93
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,46	

Из полученных расчетов видно, что разрабатываемый проект имеет небольшую эффективность по сравнению с существующим аналогом, близкого по характеристикам к данной работе.

ВЫВОД К ПЯТОМУ РАЗДЕЛУ

В результате выполнения поставленных задач по данному разделу, можно сделать следующие выводы:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны проекта, проведена оценка надежности и возможностей проекта. Было установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности и экономичности технологических процессов. Кроме того, низкие вероятности угроз обеспечивают высокую надежность для реализации проекта.

- составление план бюджета технического проекта позволило оценить первоначальный бюджет затрат на реализацию технического проекта, а также дать рекомендации по оптимизации этих затрат.

- при планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей, составлена контрольные события проекта, позволяющая оценить и лучше спланировать рабочее время исполнителей.

- оценка ресурс эффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат 5,75, что говорит об эффективности реализации технического проекта.

С учетом вышеотмеченного, можно заключить, что реализация данного технического проекта, позволяет увеличить эффективность производства, как ресурсосберегающую, путем внедрения вакуумно - дугового оборудования.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ61	Рахымтай Нурсая Нурғалиқызы

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	15.04.01 Машиностроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Технологические способы вакуумно-плазменной обработки изделий для увеличения адгезии износостойких покрытий

Рабочая зона – Институт сильноточной электроники ИСО СО РАН

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью;
- предлагаемые средства защиты.

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- механические опасности;
- термические опасности;
- электробезопасность.

1) Воздействие электрического тока при возникновении утечки на корпус и землю - проверка целостности изоляции и токоведущих частей электрооборудования перед началом работ;

2) Воздействие ультразвука и шума на органы слуха - выполнение персоналом требований инструкции по охране труда при проведении сварочных работ на стенде, использование средств индивидуальной защиты (наушники по ГОСТ Р 12.4.208-99);

3) Воздействие химических веществ на кожу и верхние дыхательные пути - выполнение работ при включенной вентиляции, использование средств индивидуальной защиты при подготовке кромок сварного шва (респиратор по ГОСТ 12.4.028, перчатки защитные по ГОСТ 12.4.171-86);

2. Экологическая безопасность:

- защита селитебной зоны
- анализ воздействия объекта на атмосферу;
- анализ воздействия объекта на гидросферу;
- анализ воздействия объекта на литосферу;
- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.

Технологический процесс сварки трением с перемешиванием не оказывает вреда на окружающую среду.

Отходы производства в виде стружки и обрезков листовых материалов подлежат утилизации согласно СНиП 2.01.08-85.

3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:

- перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;
- выбор наиболее типичной ЧС;
- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;
- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.

Типичная ЧС – возникновение пожара, так как используется электрическое оборудование. При работе с оборудованием необходимо придерживаться ТБ основанной на Тои Р-45-068-97.

Лаборатория оснащена средствами

	<i>электрической пожарной сигнализации и пожаротушения.</i>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>специальные правовые нормы трудового законодательства;</i> – <i>организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</i> 	<p><i>Требования к средствам коллективной и индивидуальной защиты работающих установлены в ГОСТ 12.4.011.</i></p> <p><i>Расположение и организация рабочих мест для безопасного выполнения технологических операций должны соответствовать по ГОСТ 12.2.003.</i></p> <p><i>Требования электробезопасности - по ГОСТ 12.2.007.0.</i></p> <p><i>Требования к защите от шума - по ГОСТ 12.1.003.</i></p> <p><i>Требования к средствам защиты рук - по ГОСТ 12.4.020.</i></p>
<i>5. Перечень расчетного и графического материала</i>	<i>Расчет вентиляции помещения.</i>

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	Рахымтай Нурсая Нургаликызы		

ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Производственная безопасность

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).

Нанесение покрытия TiCuN проводилось вакуумно-дуговым методом на экспериментальной установке, разработанной и изготовленной в ИСЭ. Она состоит из источника генерации электронного пучка, рабочей камеры с системой вакуумной откачки, стойки с блоком электропитания и управления параметрами всех систем энергетического комплекса. Рабочий газ – смесь аргона с азотом, давление газа в рабочей камере -10^{-3} мм рт.ст.

В ходе работы используется микро твердомер ПМТ-3, вакуумные электродуговые источники, метод Калотест.

Целью работы является исследование износостойкости нано кристаллического TiCuN покрытия на поверхности твердого сплава ВК8 в зависимости от режимов предварительной обработки электронным пучком.

5.1 Анализ производственных факторов, возникающих при проведении исследований

При выполнении исследовательской работы существует вероятность воздействия следующих производственных факторов: шума, вибраций, электромагнитного излучения, недостаточной освещенности, физические и эмоциональные перегрузки. Виды опасных факторов при выполнении технологического процесса СТП, а также содержание мер по предупреждению опасных ситуаций приведены в таблице 24.

Таблица 24. Опасные факторы и меры их предупреждения

Источник фактора, наименование видов работ	Опасные факторы	Нормативные документы
1.Вакуумная откачка	<p>1.Повышению, низкую температуру воздуха рабочей зоны;</p> <p>2.Повышение уровня вибрации и шума на рабочих местах;</p>	<p>1.Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха в рабочей зоне при производстве покрытий должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.005-88.</p> <p>2.Контроль за технологическим оборудованием, создающим шум в воздушной среде, должен проводиться по ГОСТ 12.1.012-78 и ГОСТ 20445 - 75.</p>
2.Отчистка в тлеющем разряде	<p>1.Повышенный уровень напряжение в электроцепи;</p> <p>2.Повышенная запыленность воздуха рабочей зоны мелкодисперсными частицами ржавчины, окалины, старых покрытий и пр. при подготовке поверхностей к нанесению покрытий</p>	<p>1.Все электроустановки на участке производства работ должны отвечать требованиям ДНАОП 0.00-1.21-84</p> <p>2. Предельно допустимая объемная доля диоксида углерода в воздухе рабочей зоны при производстве покрытий – 0,5% об.</p> <p>Предельно допустимые массовые концентрации пыли в воздухе рабочей зоны при производстве покрытий – по ГОСТ 12.1.005-88.</p>
3.Нанесение покрытия	<p>1.Химические вещества при любом пути поступления в организм человека могут вызывать острое или хроническое отравление</p>	<p>1.Применяемая технология нанесения покрытий – по ГОСТ 9.072-77.</p> <p>2. Спецодежда из плотной ткани, резиновые перчатки, нарукавники, фартуки, обувь, защитные мази.</p>
4.Ионная отчистка и нагрев	<p>1.Недостаточная освещенность рабочей</p> <p>2.Оборудование, инструмент и инвентарь, которые могут вызывать искрообразование</p>	<p>1.Освещенность на рабочих местах должна соответствовать требованиям СНиП 11-4-79.</p> <p>2.Оборудование, применяемое при производстве покрытий и окрасочных работах, должно соответствовать ГОСТ 12.2.003-91</p>

5.1.1 Микроклимат

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 санитарногигиенические требования к воздуху рабочей зоны").

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.

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 таблице 25.

Таблица 25. Допустимые параметры микроклимата на рабочем месте
(СанПиН 2.2.4.548-96)

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	средняя	19 – 24	15 - 75	≤ 0.1
Теплый	средняя	20 - 28	15 - 75	≤ 0.2

Одними из основных мероприятий по оптимизации микроклимата и состава воздуха в производственных помещениях являются обеспечение надлежащего воздухообмена и отопления, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования, воздухопроводов и гидротрубопроводов.

5.1.2 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 (Таблица 26).

Таблица 26. Перечень веществ используемых при работе [ГОСТ 12.1.007-76]

	ПДК мг/м ³	Класс опасности	Агрегатное состояние
Ar	2,4	2	газ
N ₂	2	2	газ

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.

Для защиты персонала используются индивидуальные средства защиты, представляющие собой респираторы со сменными фильтрами.

5.1.3 Производственный шум

Основными источниками шума при выполнении исследовательской работы в помещении являются вакуумно – дугового оборудования. Шум в лаборатории не должно превышать 80 дБА.

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

Если невозможно уменьшить шум, действующий на работников, до допустимых уровней, то необходимо использовать средства индивидуальной защиты (СИЗ) - противозумные вкладыши из ультратонкого волокна “Беруши” одноразового использования, а также противозумные 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.

5.1.4 Освещенность

Согласно СНиП 23-05-95 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 150 Лк.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

$$\text{Площадь помещения: } S = A \times B, \quad (1)$$

где A – длина, м; B – ширина, м.

$$S = 8 \times 6 = 48 \text{ м}^2$$

Выбираем лампу белую цветную ЛБ-30, световой поток которой равен $\Phi_{лд} = 1060$ Лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДО-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1230 мм, ширина – 266 мм, высота -158, КПД -75%.

Расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$H = H - h_{рп} - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2 \text{ м} \quad (2)$$

где H - 3,5 м высота помещения;

$h_{рп}$ - высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДО-2-40: $h_n = 3,5$ м.

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле: m

$$L = \lambda * h = 1.1 * 2 = 2.2 \text{ м} \quad (3)$$

Число рядов светильников в помещении:

$$N_b = B/L = 6/2,2 = 3 \quad (4)$$

Число светильников в ряду:

$$N_a = A/L = 8/2,2 = 4 \text{ м} \quad (5)$$

Общее число светильников:

$$N = N_a * N_b = 3 * 4 = 12 \quad (6)$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$l = L/3 = 2,2/3 = 0,7 \text{ м} \quad (7)$$

Размещаем светильники в два ряда. На рисунке изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

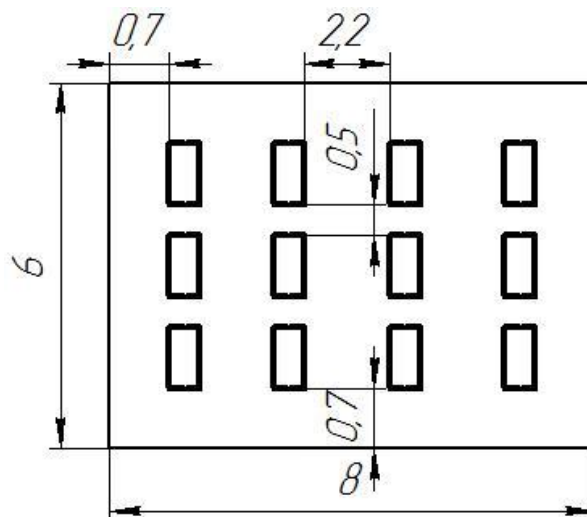


Рисунок 26. План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Для защиты от слепящей яркости видимого излучения (факел плазмы в камере с катализатором) применяют защитные очки, щитки, шлемы. Очки на должны ограничивать поле зрения, должны быть легкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой.

5.2 Электробезопасность

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от

вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статистического электричества.

Электроустановки классифицируют по напряжению: с номинальным напряжением до 1000 В (помещения без повышенной опасности), до 1000 В с присутствием агрессивной среды (помещения с повышенной опасностью) и свыше 1000 В (помещения особо опасные).

В отношении опасности поражения людей электрическим током различают:

1. Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

2. Помещения с повышенной опасностью, которые характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.) и высокая температура.

3. Особо опасные помещения, которые характеризуются наличием оборудования свыше 1000 В и одного из следующих условий, создающих особую опасность: особой сырости, химически активной или органической среды, одновременно двух или более условий повышенной опасности. Территории размещения наружных электроустановок в отношении опасности поражения людей электрическим током приравниваются к особо опасным помещениям.

Дополнительные электрозащитные средства в электроустановках.

К дополнительным изолирующим электрозащитным средствам относятся диэлектрические перчатки, боты, резиновые коврики и дорожки, изолирующие подставки на фарфоровых изоляторах и переносные заземления.

Освобождение пострадавшего от действия тока напряжением свыше 1000 В может быть произведено только одним способом. Это отключение

соответствующей части электрической установки специально обученными людьми. Пострадавшему следует оказать посильную доврачебную помощь.

5.3 Факторы пожарной и взрывной природы

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1 - В4, Г и Д, а здания - на категории А, Б, В, Г и Д. По пожарной опасности наружные установки подразделяются на категории A_n , B_n , V_n , G_n и D_n .

Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории Б - производства, связанные с применением жидкости с температурой вспышки паров 28 ... 120°C и горючих газов, нижний предел взрываемости которых более 10% к объему воздуха, применением этих газов и жидкостей в количествах, которые могут образовать с воздухом взрывоопасные смеси, а также производства, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие волокна или пыль в таком количестве, что они могут образовать с воздухом взрывоопасные смеси.

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 наличествуют легковоспламеняющиеся вещества (спирт, бензин и др.).

Средства индивидуальной защиты: защитные пластиковые каски, защитные очки, щиты ограждения, различные респираторы и противогазы, рукавицы, предохранительные пояса и страховочные канаты.

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Кроме того, порошковые применяют для тушения документов. Для тушения токоведущих частей и

электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например, ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

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.

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.).

-организовать противопожарную подготовку (противопожарный инструктаж, пожарно-технический минимум) подчиненных работников.

-не допускать к работе лиц, не прошедших противопожарного инструктажа.

В нашем случае наиболее вероятным источником 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.

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 питанию 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 27, предварительно плотно закрыв за собой дверь.



Рисунок 27. План эвакуации

5.4. Экологическая безопасность

5.4.1. Анализ влияния технологического процесса на окружающую среду

При организации деятельности по разработке документации СМБП могут возникнуть источники загрязнения литосферы путем образования твердых отходов в виде неисправных ПК, оргтехники, картона и другого мусора.

Работа по утилизации и захоронению отходов ведутся в соответствии с требованиями «Правил охраны окружающей среды от отходов производства и потребления в Российской Федерации». В процессе производства образуется большое количество отходов, которые при соответствующей обработке могут быть вновь использованы как сырье для промышленной продукции. Основными направлениями ликвидации твердых промышленных отходов является вывоз и захоронение на полигонах, сжигание, складирование и хранение на территории предприятия до появления новой технической переработки их в полезный продукт – сырье. Порядок сбора,

накопления, транспортировки, утилизации и захоронения отходов регламентируется приказами руководителя предприятия, главного инженера, инструкциями по эксплуатации оборудования.

Для перехода к безотходным производствам в лаборатории необходимо осуществлять сбор водорода в специальные емкости (в настоящее время он выпускается в воздух).

Подложки, которые имеют дефекты, то есть не пригодные для дальнейшей работы, отправляются на переплавку.

Так же необходимо позаботиться о отдельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, металлических частей, пластика.

5.4.2. Меры по снижению вредных воздействий на окружающую среду

Для обеспечения санитарных норм воздушной среды в производственных помещениях должна использоваться приточная, вытяжная и естественная вентиляция, отопление.

Отходы производства в виде стружки и обрезков листовых материалов подлежат утилизации согласно СНиП 2.01.08-85. На сегодняшний день корпус сотрудничает с компанией «Экорекс», которая организует централизованный сбор и переработку вторичного сырья в Томске и Томской области.

5.5. Безопасность в чрезвычайных аварийных ситуациях

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.

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

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

8. 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.

5.6. Организационно-правовые вопросы обеспечения безопасности

5.6.1. Правовые нормы трудового законодательства

Продолжительность рабочего дня не должна превышать 40 часов в неделю. Для инвалидов I и II возможно сокращение рабочего времени группы. Для работников, работающих на местах, отнесенных к вредным условиям труда 3 и 4 степени – не более 36 часов.

Работнику организации должен предоставляться ежегодный отпуск продолжительностью 28 календарных дней. Для работников, занятых на работах с опасными или вредными условиями, предусматривается дополнительный отпуск.

Рабочему персоналу в течение рабочего дня необходимо предоставлять, перерыв не более двух часов и не менее 30 минут, не включающийся в рабочее время. Всем работникам предоставляются выходные дни, работа в выходные дни производится только с письменного согласия работника.

Работники должны быть обеспечены спецодеждой и спец обувью соответствующего размера, по типовым отраслевым нормам.

Организация должна выплачивать заработную плату работникам два раза в месяц согласно ТК РФ. Возможно удержание заработной платы, в случаях предусмотренных ТК РФ ст. 137. При возникновении случаев задержки заработной платы более чем на 15 дней работник имеет право приостановить работу, письменно уведомив работодателя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Штанский Д.В., Кулинич С.А., Левашов Е.А., Moore J.J. Особенности структуры и физико-механических свойств наноструктурных тонких плёнок // Физика твёрдого тела. – 2003. – Т.45, вып.6. – С.1122 - 1129
2. Тарбоков В.А., Ремнев Г.Е. Увеличение адгезии TiN покрытия на твердосплавном инструменте, предварительно обработанном мощным ионным пучком. // ФХОМ. - 2003. - №6. - С. 40-43.
3. Иванов Ю.Ф., Панин В.Е., Теплоухов В.Л., Клыков О.А. Поверхностное модифицирование металлов и металлических покрытий путем высокоэнергетических воздействий// Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 1990. – №10. – С.88-89.
4. Rotshtein V.P., Markov A.B., Ivanov Yu.F., Karlik K.V., Uglov B.V., Kuleshov A.K., Novitskaya M.V., Dub S.N., Pauleau Y., Thiery F., Shulepov I.A. Pulsed Electron-Beams Melting of Cu-Steel 316 System: Evolution of Chemical Composition and Properties// Proc. 7th Intern. Conf. on Modification of Materials with Particle Beams and Plasma Flows. – Tomsk. – 2004. – P.258-262.
5. J.Musil, J.Vlcek. Physical and mechanical properties of hard nanocomposite films prepared by magnetron sputtering.//Oral Session 5. Coating deposition, p.393-398.
6. Погребняк А.Д., Шпак А.П., Азаренков Н.А., Береснев В.М. Структура и свойства твёрдых и сверхтвёрдых нанокompозитных покрытий// Успехи физических наук. – 2009. – Т.179. - №1. – С.35 – 64.
7. J.Musil. Hard and superhard nanocomposite coatings. // Surface and Coating Technology 125 (2000) 322-330.
8. Барвинок В.А., Богданович В.И. Физические основы и математическое моделирование процессов вакуумного ионно – плазменного напыления / М.: Машиностроение , 1999. – 309с.

9. Ширяев С.А., Атоманов М.В., Гусева М.И. Получение композитных покрытий магнетронным распылением. // ФХОМ. – 2002. - №3. – С.33 - 37
10. Погребняк А.Д., Василюк В.В., Алонцева Д.Л., Кравченко Ю.А., Рузимов Ш.М., Тюрин Ю.Н. Структура и свойства покрытий из никелевого сплава после плавления электронным пучком. // Письма в ЖТФ, 2004, том 30, вып. 4, С. 78-86
11. Крапошин В. С. Термическая обработка стали сплавов с применением лазерного луча и прочих прогрессивных видов нагрева // Итоги науки и техн. Сер. Metalловед. и терм. обраб. / ВИНТИ. – 1987. – 21. – С. 144 – 206.
12. Поболь И. Л. Электронно-лучевая термообработка металлических материалов // Итоги науки и техн. Сер. Metalловед. и терм. обраб. / ВИНТИ. – 1989. – 24. – С. 99 - 162
13. Ягодкин Ю. Д. Ионно-лучевая обработка металлов и сплавов // Итоги науки и техн. Сер. Metalловед. и терм. обраб. / ВИНТИ. – 1990. – 24. – С. 167 – 214
14. Metalлообрабатывающий твердосплавный инструмент: Справочник/ В.С. Самойлов, Э.Ф. Эйхманс, В.А. Фальковский и др.– М.: Машиностроение, 1988.– 368 с.
15. Савицкая Л.К. Методы рентгеноструктурных исследований / Л.К. Савицкая. – Томск: Томский государственный университет, 2003. –258с.
16. Ю.А.Геллер, А.Г.Рахштадт. Материаловедение // М.: «Металлургия», 1989. - 455 с.
17. Избранные методы исследования в металловедении // М: Metalлургия, 1985. – 416с.
18. Коваль Н. Н., Девятков В. Н., Григорьев С. В., Сочугов Н. С., Плазменный источник электронов “СОЛО”//Труды II Международного Крейнделевского семинара, 17 – 24 июня, 2006, Улан Удэ: Бурятский НЦ СО РАН , с. 79-85

20. Арзамасов, В. Н. Химико-термическая обработка металлов в активированных средах / В. Н. Арзамасов. - М. : Машиностроение, 1979. - 224 с.
21. Верхотуров, А. Д. Электродные материалы для электроискрового легирования / А. Д. Верхотуров, И. М. Муха. - М. : Наука, 1988. - 224 с.
22. Ионная имплантация / под ред. Дж. К. Хирвонена. - М. : Металлургия, 1985. - 392 с.
23. Коваленко, В. С. Лазерное и электроискровое упрочнение материалов / В. С. Коваленко, А. Д. Верхотуров. - М. :- Наука, 1986. - 276 с.
24. Колосветов, Ю. П. Борирование карбидных составляющих твердосплавного режущего инструмента / Ю. П. Колосветов, Б. С. Невроцкий, Г. Л. Жунковский // Порошковая металлургия. - 1972. № 12. - С. 84 -86.
25. 62. Комаров, Ф. Ф. Ионная имплантация в металлы / Ф. Ф. Комаров. М. : Металлургия, 1990. 216 с.
26. Лазерная поверхностная обработка металлов и сплавов / П. А. Леонтьев, Н. Т. Чеканова, М. Г. Хан. - М.: Металлургия, 1986. - 142 с.
27. Лахтин, Ю. М. Металловедение и термическая обработка металлов / Ю. М.Лахтин. - М. : Металлургия, 1983 . - 360 с.
28. Лахтин, Ю. М. Химико-термическая обработка металлов / Ю. М. Лахтин, В.Н. Арзамасов. - М. : Металлургия, 1984. - 256 с.
29. Марков, Г. В. Оптимизация структуры износостойких двухслойных покрытий TiC-TiN / Г. В. Марков, А. А. Миневич // Высокоэффективное оборудование и технологические процессы упрочнения режущего инструмента и деталей машин: тез докл. - Минск, 1990. - С. 94.

Список публикаций студента

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

Н.Н. Рахымтай, студент, Е.А. Кайролла, студент, И.М. Гончаренко к.т.н., доц.

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ С. 166-168.

Инновационные технологии получения и обработки материалов в машиностроении: сборник трудов IX Международной научно-практической конференции / Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – 295 с

Приложение А

Раздел на иностранном языке

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Рахымтай Н.Н.		

Консультант школы ИШНПТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Коростелева Е.Н.	к.т.н.		

Консультант школы ШБИП:

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

CHAPTER 1. WEAR-RESISTANT COATINGS BASED ON TITANIUM NITRIDE. EXPERIENCE OF PRODUCTION AND INCREASE OF OPERATING CHARACTERISTICS

In modern materials science, the fastest growing field of research is the production and application of functional coatings for a wide range of purposes, created with the help of vacuum electro technologies. Advances in this direction are largely due to the development and creation in the late sixties of various ion-plasma vacuum installations and sources of charged particles. One of the most successful examples of the use of carbon, oxygen, nitrogen, and certain types of metals as charged particles was the production of carbides, oxides and nitrides of these metals. In parallel, it was founding that the properties of the resulting film materials directly depend on the methods of their production. In particular, this also applies to the adhesion of coatings based on titanium nitride on substrates of various compositions. When adjusting the deposition parameters, it is possible how to enhance the interrelation of the condensing nitride film with the substrate, and to weaken this interaction. A large number of publications have been devoted to this issue in connection with the fact that coatings of titanium nitride are widely used as protective and decorative in such areas as the production of cutting tools, automotive industry and other branches of machine building.

1.1 Classification of wear-resistant coatings

Depending on the type of chemical bond, all materials of wear-resistant coatings can be dividing into three groups [9, 10]:

- 1) Metal bond: nitrides, transition metal carbides Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Mo, Cr.
- 2) Covalent bond: carbides, nitrides of Al, Si, Fe.
- 3) Ionic bond: oxides of Al, Ti, Zr.

Today, higher demands are madding on wear-resistant coatings for the cutting tool. These requirements depend on the composition of the coating - the tool material, with the improvement of the working conditions of the tool.

The main solutions for improving the operability of cutting tools with wear-resistant coatings are [3, 12]:

- Structural hardening of wear-resistant coating material.
- Increasing the strength of the border "coatings - tool material";
- A change in the physical-chemical interaction at the boundary "coating-treated material."

Influence the strength of the adhesive bond between the coating and the substrate [9]: the state of the substrate; purity of the initial components of the coating material; cleanliness of the equipment used; the formation of a bond between the substrate and the initial condensate; condensate growth. In addition, the surface roughness of the substrate and the binding energy of the coating atom with the substrate material.

1.2 Methods of applying protective coatings to modern cutting tools

Among the existing methods of hardening the cutting tool, the methods of chemical (CVD) and physical (PVD) coating are most widely used. Particularly many opportunities to control the properties of coatings and their use on various instrumental substrates have FOP methods. For this reason, these methods are most intensively studying and introducing into production.

CVD methods, known worldwide as CVD (Chemical Vapor Deposition Deposition), are basing on the interaction of gaseous metal halides with other components of a vapor-gas medium (hydrogen, ammonia, carbon monoxide, etc.). The process temperature (1000 - 1100 ° C) has the greatest effect on the quality of the coating, the change of which is reflecting in the deposition rate, structure and properties of the coatings. A mixed adhesive-diffusion bonding type with the tool material characterizes CVD methods.

During the coating process with the substrate, a brittle phase (W_3Co_3C) formed at the coating boundary using a tool base is formed. Negatively affects the strength properties of hard alloys. Despite this, wear-resistant coatings obtained by CVD methods have good adhesion to the carbide substrate and allow a 2-5-fold increase in the service life of the cutting tool [7, 30].

FOP methods, which in the world practice are calling PVD (Physical Vapor Deposition), are basing on the evaporation of matter in the vacuum chamber space with the supply of reaction gas [21]. FOP methods have a number of advantages: the ability to control the condensation temperature in a wide range (200-800 ° C), allows to strengthen the cutting tool from steel and hard alloy; possibility of deposition of multilayer and composite coatings based on nitrides, oxides, borides of refractory metals, etc.

The most characteristic feature of the formation of coatings with the help of these methods is the absence of a transition zone between the coating and the tool base. Consequently, the weak influence of the coating structure on the properties of the coating and such properties of the composition of the tool coating material in the form of viscosity, strength. FOP methods have wide technological capabilities and allow changing composition and properties of the composition "coating material - tool".

Coatings obtained by FOP methods due to their high strength properties are effective for roughing and intermittent machining [19, 21].

1.3 Methods for determining adhesion

One of the problems arising in the synthesis of thin coatings is to ensure good adhesion of the coating to the substrate. In connection with this, the important task is to increase it. There are various ways to increase adhesion, such as spraying multilayer coatings, diffusion of alloying elements in the substrate material, ion surface cleaning, pre-treatment of the substrate with concentrated energy flows -

laser, electron, ion beams, and others. These methods can be attributed to combined processes of surface hardening [2-4].

Adhesion is the relationship between the different surfaces brought into contact. The causes of the emergence of an adhesive bond are the actions of intermolecular forces or forces of chemical interaction. Adhesion causes the adhesion of solids with adhesive, as well as the bonding of the protective coating to the substrate. Adhesion also plays an important role in the dry friction process. With prolonged contact of identical surfaces and the establishment in the contact zone of a structure characteristic of any point in the body's volume, the force of the autohesion joint approaches the cohesive strength of the material.

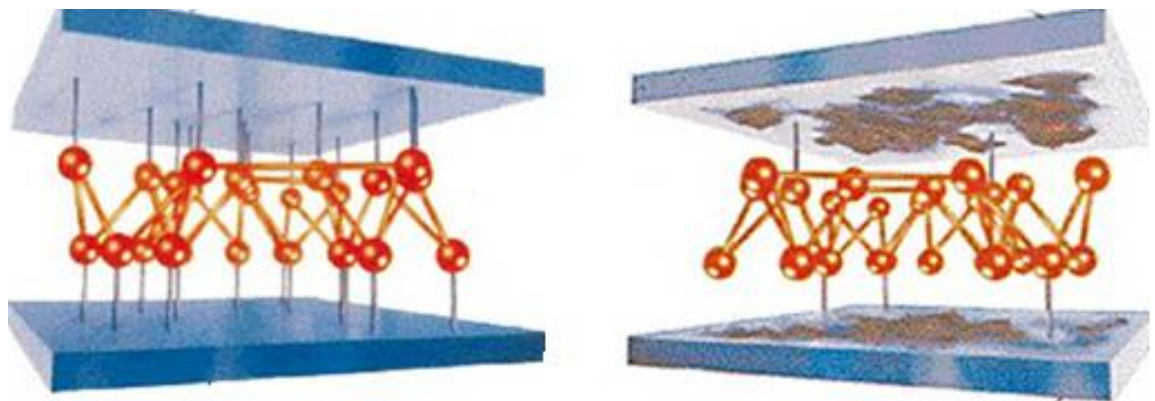


Figure 1. Adhesion

The sequence of operations "application - melting" can be carried out in any order and cyclically.

For example, to form new alloys on the surface of products made from a base material, a layer of material several microns thick with predetermined properties is preliminarily applied in any way. After that, a pulsed electron beam processes the surface. Because of rapid melting, mixing and recrystallization of the surface layer, a compound of the precipitated material with the base material is formed [10]. Corrosion resistance and wear resistance of the formed alloy can be significantly higher than the resistance of the initial material of the article. The thickness of the modified layer can significantly exceed the thickness of the

applied coating. Due to the high cooling rate of the molten layer, it is possible to form compounds that do not form under normal conditions. The application of multilayer coatings from various elements allows the formation of multicomponent alloys.

The Nano hardness and tribological characteristics of a Cu system (film, 512 nm) and stainless steel (substrate), subjected to pulsed melting of a low-energy (20-30 keV) high-current electron beam (2-3 μ s, 2-10 J / cm²) were investigated in [4]) (NSEEP). It is establishing that preliminary treatment of the NSEP substrate sharply reduces the probability of film peeling during pulsed melting due to crater formation and, consequently, increases its thermal stability.

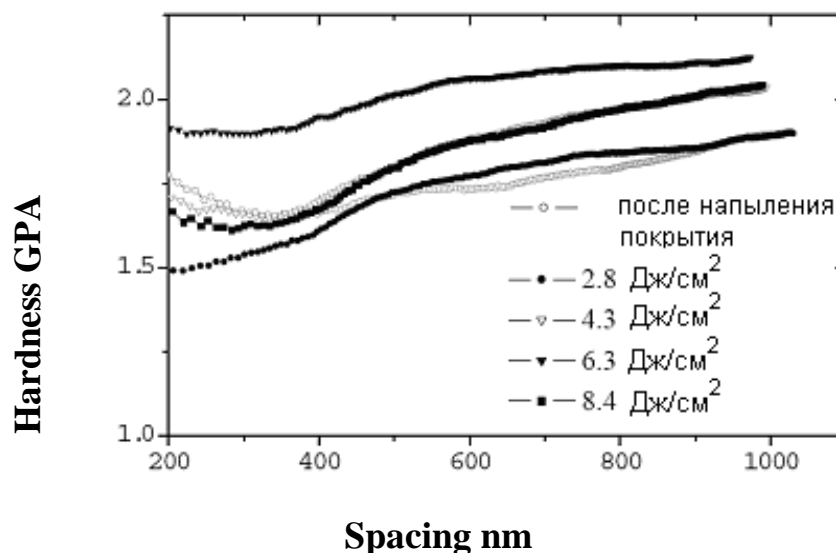


Figure 2. Nano hardness profiles for the Cu / SS316 system with pre-coated and after pulsed melting (N = 1) [4]

It was found that in the surface layer 0.5-1 μ m thick, including the Cu film, the diffusion layer, the nano hardness and the average wear rate are monotonically independent of the energy density, reaching a maximum, and a minimum, in the range 4.3-3.3 J / cm² (Figure 2).

1.4. A method for increasing the adhesive strength of wear-resistant coatings

To increase the adhesion strength of the lower TiCuN layer to the tool base, it is necessary to reduce the voltage drop at their boundary (Figure 4), which can be achieved by reducing the difference in the hardness values of this layer and the tool material. As follows from the work, a change in the composition of the gaseous medium during the condensation of a coating based on TiCuN allows directly changing their structural parameters and mechanical properties. As the lower layer, a coating of TiCuN15percentage precipitated with an acetylene content of 15% in the gas mixture can be used. This coating has a lower micro hardness (by 20%) and a slightly lower value of σ_0 as compared to TiCuN used in two-layer coatings. At the same time, the irradiation coefficient K_0 for it is half that. Thus, the use of the TiCuN15percentage layer should increase the adhesion strength of the layer with the tool base. For the same purpose, a TiN coating obtained at a high condensation temperature (TiN) and having greater adhesion to the tool base and lower residual stresses can be used as the lower layer.

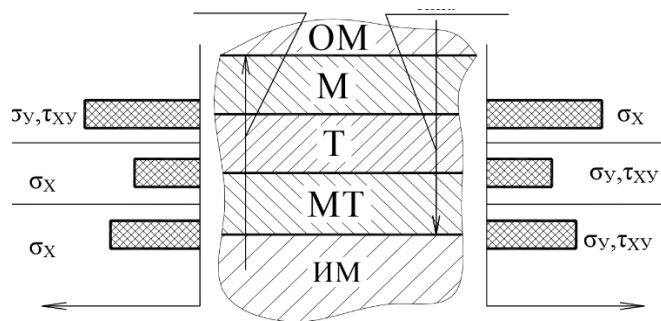


Figure 4. Physical models of the stress state at the boundaries of the multilayer coating with increased strength of the bonding of the layers when cracks of the first and second types move through them

It has been found that coatings of complex composition have a high yield strength and crack resistance in comparison with TiN. Therefore, to generate or grow an already formed crack in complex coatings, it is necessary to use more energy. The effect of the coating composition on its yield strength can be judged

by the example of coatings TiCuN and TiCuN15percentage. Reduction of the content of acetylene in the gas mixture during the condensation of the coating from 32% to 15.1% leads to a decrease in the yield strength from 10.42 GPA to 9 GPA. The composition of the coating also affects the surface energy γ_{111} .

As an option for enhancing adhesion, pre-treatment of the substrate in the area of contacting with the coating can be applying. These can be diffusion layers, implanted alloying atoms, and thermal heating of various intensities.

In particular, Tarbokov [2] used a powerful ion beam to pre-modify the surface. The task was to investigate the change in adhesion because of pretreatment, and to determine the influence of the ion beam on the adhesion of the energy density. Samples from hard alloys VK-8 and T5K10, which were treating with a high-power pulsed ion beam prior to coating with TiN, were investigating. The results of scratch tests showed that the destruction of the coating on MIP-treated samples begins later than on untreated plates. (Table 2).

Table 2 [2]

The results of processing fracture curves for VK-8 and T5K10 alloys

Pre-treatment of VK-8, (J / cm ²)	Witho ut treatment	2.0	3.0	4. 1
The onset of failure, F _H , H	2,8	3,0	3,3	2, 7
Total destruction, F _o , H	4,3	4,8	5,3	6, 2
Pre-treatment T5K10 , (J / cm ²)	Witho ut treatment	1	1,5	2, 25
The onset of failure, F _H , H	3,3	3,8	4,0	4, 1
Total destruction, F _o , H	5,2	6,3	6,5	6, 8

The greatest increase in the coating resistance is observed for samples pretreated with MIP with an energy density of 2-3 J / cm². When pre-treated with an energy density of 3.8 J / cm², the destruction begins even earlier than in the untreated, but the slope of the wear curve is minimal, which is most likely due to a significant increase in adhesion.

1.5 Pulsed high-temperature surface heating

An electron beam can be used to place the ion beam. The main types of electron-beam processing are processes associated with the release of heat in the zone of interaction of the electron beam with the work piece [2].

The electron beam is produced in a vacuum by means of an electron gun and is focused by magnetic lenses. The operating voltage between the cathode and the anode is 30 ... 150 kV.

The main technological operations of electron beam processing:

- melting;
- evaporation;
- heat treatment without changing the aggregate state of the substance.

The dimensional error in the dimensional processing does not exceed ± 5 μm , the roughness $R_a = 1, 25$ μm . Firmware receive up to 500 holes on a circle with a diameter of 30 mm, with a circle thickness of 1 ... 3 mm.

Advantages of electron beam processing:

- the possibility, due to the focusing of the beam, to smoothly vary within a wide range the specific energy in the heating zone;
- high power (from tens of watts to units of megawatts);
- Simplicity of spatial beam control;
- the presence of a vacuum, as a working medium;

Disadvantages of electron beam technology:

- the need for a high vacuum;
- complexity of manufacturing and operation of electron beam equipment.

Before applying the coating, the samples were processed by a pulsed electron beam in two modes-at a beam current of 100 A and at a beam current of 135 A.

1.6 Formation of nanostructures in films and their stability

When vacuum-arc deposition of nanoscale coatings, the size limitation of growing grains is necessary. This limitation is achieved in several ways: - deposition of multilayer films with layer thickness on the order of nanometers; - deposition of single-layer films when bombarded with high-energy ions (hundreds of electron volts); - doping with additives that limit grain growth; - formation of multiphase nanocomposite films. Particular attention should be pairing to reducing the thickness of the layers to nanosize. This leads to an improvement in the mechanical properties of the coating, moreover, it has a strong effect on the thermal and temporal stability of the compositions. [8].

Low stability is also characteristic of single-layer nanostructured condensates obtained under ion bombardment conditions. The instability of these substances is because an ionic bombardment creates a complex of synergistic effects. This includes not only grinding grain, but also increasing the density of defects (Frank pairs, dislocations, etc.), as well as the appearance of compressive stresses. The deposition of multicomponent films provides great opportunities for obtaining nanostructures [5, 6]. One of the methods is the introduction of a doping agent into the base coating material. The components should not form a solid solution. Certain conditions cause segregation of the insoluble alloying component, taking it to the surface of the nascent crystallites. This limits the size of the crystallites at the nanoscale. For example, doping with metallic impurities (Cu, Ni,) of nitride films (TiN) leads to a decrease in the grain size to 10.0 nm, however, such structures can also exhibit low stability.

1.7 Mechanical properties of nanocomposite coatings

Nanocomposite coatings are characterized by their hardness H , the effective Young modulus $E^* = E / 2(1-\nu)$ and the elastic recovery w_e , where E is the Young's modulus, and ν is the Poisson's ratio [1, 6]. These values can be calculating from the loading curves - the unloading measured by the nano hardness meter. The values of H and E^* are proportional to the resistance of the plastic deformation material. The dependences $H = f(E)$, $H / F = f(H)$, $w_e = f(H)$ are the main relations determining the mechanical properties of thin films. They depend on the elements forming phases, on the relative content of phases and their microstructure.