

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

Институт физики высоких технологий
Направление 15.04.01 подготовки машиностроение
Кафедра физики высоких технологий в машиностроении

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

| Тема работы |
|--|
| Вакуумно-плазменные процессы на основе магнетронной распылительной системы для повышения износостойкости контактных площадок режущего инструмента |

УДК 621.9.06:621.793.66.088

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------|---------|------|
| 4AM51 | Султанов Алмаз Сагинтайулы | | |

Руководитель

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|----------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Гончаренко И.М | К.т.н | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|----------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Черепанова Н.В | К.ф.н | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Штейнле .А.В | К.м.н | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Зав. кафедрой | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------|------------|----------------------------|---------|------|
| ФВТМ | Псахье Г.С | Профессор, доктор ф.м.н | | |

Томск – 2017г.

**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> | |
| P1 | Способность демонстрировать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания физико-химических и технологических основ получения деталей из порошков методом жидкофазное спекание, и применять их для решения научных и инженерных задач наукоемкого производства на мировом уровне |
| P2 | Способность планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования по своей специализации с использованием новейших достижения науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе, уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы, использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности. |
| P3 | Способность интегрировать знания различных и смежных видов деятельности и решать задачи, требующие абстрактного мышления и оригинальности анализа для концептуализации инженерных моделей выбранного технологического направления |
| P4 | 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»**

Институт физики высоких технологий

Направление 15.04.01 подготовки машиностроение

Кафедра физики высоких технологий в машиностроении

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой, профессор, доктор
ф.м.н., _____ С.Г. Псахье

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

| Группа | ФИО |
|---------------|----------------------------|
| 4AM51 | Султанов Алмаз Сагинтайулы |

Тема работы:

| | |
|--|-------------|
| ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ НА ОСНОВЕ МАГНЕТРОННОЙ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ КОНТАКТНЫХ ПЛОЩАДОК РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА | |
| Утверждена приказом директора (дата, номер) | |
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 16.06.17 г. |

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | | | |
|---|---|--|--|
| Исходные данные к работе . | Образцы твердого сплава ВК8, катоды Ti, | | |
| Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов | 1. Классификация, свойства и методы получения износостойких покрытий; 2. Экспериментальное оборудование и методы экспериментов; 3. Влияние скорости роста покрытий от расстояния при двух методах нанесения покрытия TiN на твёрдый сплав ВК8; 4. Сопоставление физико-механических свойств покрытий TiN нанесенных вакуумно-дуговым и магнетронным методом, на подложки твердого сплава ВК8 | | |
| Перечень графического материала | Презентация в формате Microsoft Power Point, 19 слайдов | | |
| Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы | | | |
| Раздел | Консультант | | |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Черепанова Н.В. | | |
| Социальная ответственность | Штейнле А.В | | |
| Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Экспериментальное оборудование и методы экспериментов | | | |
| 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 |
|--------|----------------------------|---------|------|
| 4AM51 | Султанов Алмаз Сагинтайулы | | |

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа представлена на 147 страницах, включает 26 иллюстраций, 44 таблиц, 44 источников литературы, 2 приложений.

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

Объектом исследования являлись сформированные, при помощи двух методов напыления вакуумно-дуговой и магнетронный метод на подложке из твёрдого инструментального сплава ВК8, тонкие (2-2.5 мкм) покрытия.

Целью работы является изучение влияния физико-механических характеристик материала подложки на свойства, формируемого при помощи двух методов нанесения износостойкого нитридного покрытия: 1) магнетронный метод, 2) вакуумно-дуговой метод. Проведение сравнительного анализа изменения значений твердости, модуля упругости и адгезии износостойких покрытий на основе нитрида титана.

На полученных покрытиях TiN, определяли толщину, твердость (H), модуль упругости (E), упругое восстановление (W_e), упругую деформацию разрушения (H/E), сопротивление пластической деформации (H^3/E^2) и адгезию.

Установлена связь между условиями формирования, упругопластическими характеристиками, свойствами материала подложки и механизмами разрушения износостойкого покрытия.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

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

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

магнетронный метод нанесения покрытий: это технология нанесения тонких пленок на подложку из разных сталей при помощи катодного распыления мишени в плазме магнетронного разряда

адгезия: сцепление поверхностей разнородных твёрдых или жидких тел.

В данной работе применены следующие обозначения и сокращения:

PVD – метод термического испарения;

ПИНК – плазменный источник с накалимым катодом;

ЭОС– электронная оже-спектроскопия.

Содержание

| | |
|--|----|
| ВЕДЕНИЕ..... | 10 |
| ГЛАВА 1. КЛАССИФИКАЦИЯ, СВОЙСТВА И МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ | 12 |
| 1.1 Классификация износостойких покрытий | 12 |
| 1.2 Методы модификации поверхностного слоя износостойких покрытий..... | 14 |
| 1.2.1 Вакуумные электродуговые генераторы плазмы | 14 |
| 1.2.2 Генераторы плазмы на основе магнетронного разряда | 16 |
| 1.3 Методы получения износостойких покрытий | 18 |
| 1.3.1 Метод физического осаждения покрытий | 18 |
| 1.4 Постановка задачи и цели работы | 21 |
| Глава 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ. | 23 |
| 2.1 Материал Исследования | 23 |
| 2.2. Подготовка экспериментальных образцов..... | 24 |
| 2.3. Состав оборудования для получения износостойких покрытий и особенности его рабочих параметров..... | 26 |
| 2.3.1 Экспериментальное оборудование для создания нитридных покрытий ННВ.6.6-И1. | 26 |
| 2.3.2. Магнетрон и источник питания магнетрона..... | 27 |
| 2.3.3 Источник питания магнетрона APPL-M-3BP-1000-2 | 29 |
| 2.3.4. Параметры катодов испарителя для получения покрытий..... | 31 |
| 2.3 Методы исследования физико-механических свойств покрытий | 31 |
| 2.3.1 Метод определения твердости | 31 |
| 2.3.1.2 Микро- и наноиндентация для определения твердости и упругих свойств материалов..... | 31 |
| 2.3.1.3 Метод определения толщины покрытия при помощи Calotest. | 34 |
| 2.4. Методики измерения адгезионных свойств пленки..... | 35 |
| 2.4.1 Методики измерения адгезионных свойств пленки, при помощи Scratch-test и Роквелл-тест..... | 35 |
| Выводы ко второму разделу | 37 |
| ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ РОСТА ПОКРЫТИЙ ОТ РАССТОЯНИЯ ПРИ ДВУХ МЕТОДАХ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ TiN НА ТВЕРДЫЙ СПЛАВ ВК8..... | 38 |
| 3.1 Этапы и параметры нанесения TiN при двух методах нанесения покрытия вакуумно-дуговой и магнетронный метод | 38 |

| | |
|--|-----------|
| 3.1.2 Загрузка и откачка | 41 |
| 3.1.4 Конденсация нитридного покрытия | 41 |
| 3.2. Особенности процессов напыления TiN на твердый сплав ВК8 при помощи вакуумно-дугового метода | 41 |
| 3.3 Морфология поверхности образцов покрытием TiN, при двух методах нанесения покрытий. | 44 |
| 3.3.1 Исследование шероховатости поверхности подложки твердого сплава ВК8, при двух методах нанесения покрытия TiN, вакуумно-дуговой метод и магнетронный метод напыления..... | 45 |
| 3.4 Нанесение покрытия TiN на поверхности твердого сплава ВК8 при помощи магнетронного метода нанесения покрытий. | 49 |
| 3.4.1 Этапы и параметры нанесения покрытия TiN на твердый сплав ВК8 при помощи двух методов напыления..... | 49 |
| 3.4.1.1 Исследование шероховатости поверхности подложки твердого сплава ВК8, при двух методах нанесения покрытия TiN, вакуумно-дуговой метод и магнетронный метод напыления..... | 51 |
| ГЛАВА 4 СОПОСТАВЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ TiN НАНЕСЕННЫХ ВАКУУМНО-ДУГОВЫМ И МАГНЕТРОННЫМ МЕТОДОМ, НА ПОДЛОЖКИ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК8 | 57 |
| 4.1 Исследовательские результаты физико-механических свойств поверхности TiN исходного твердого сплава ВК8 и после проведения напыления двумя методами..... | 57 |
| 4.2 Сравнение микро-твердости покрытия TiN, на подложке твердого сплава ВК8, при вакуумно-дуговом и магнетронном методах нанесения покрытий..... | 57 |
| 4.3 Сравнительный анализ адгезионных свойств поверхности TiN исходного твердого сплава ВК8, и после проведения напыления двумя методами | 60 |
| ВЫВОДЫ | 64 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ | 66 |
| 1. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и..... | 68 |
| ресурсосбережение..... | 68 |
| 1.1 Предпроектный анализ. Потенциальные потребители результатов..... | 68 |
| исследования..... | 68 |
| 1.1.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции..... | 70 |
| ресурсоэффективности и ресурсосбережения | 70 |
| 1.1.2 SWOT-анализ | 72 |
| 1.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации | 75 |
| 1.1.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического..... | 77 |

| | |
|--|-----------|
| исследования | 77 |
| 1.2 Инициация проекта | 78 |
| 1.3 Планирование управления научно-техническим проектом | 82 |
| 1.3.1 Иерархическая структура работ проекта..... | 82 |
| 1.3.2 Контрольные события проекта..... | 83 |
| 1.3.3 План проекта | 84 |
| 1.3.4 Бюджет научного исследования..... | 88 |
| 1.3.5 Матрица ответственности..... | 92 |
| 1.3.6 Реестр рисков проекта..... | 92 |
| 1.3.7 Оценка сравнительной эффективности исследования..... | 93 |
| ГЛАВА 2 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ | 97 |
| 2.1 Техногенная безопасность | 98 |
| 2.1.1 Анализ вредных факторов производственной среды | 98 |
| 2.1.1.1 Метеоусловия..... | 99 |
| 2.1.1.2 Вредные вещества | 101 |
| 2.1.1.3 Производственный шум..... | 102 |
| 2.1.1.4 Расчет уровня шума..... | 104 |
| 2.1.1.5 Освещенность | 106 |
| 2.1.2 Анализ опасных факторов производственной среды | 109 |
| 2.1.2.1 Факторы электрической природы..... | 109 |
| 2.1.2.2 Электробезопасность | 111 |
| 2.1.2.3 Давление | 114 |
| 2.2 Региональная безопасность | 118 |
| 2.2.1 Защита атмосферы..... | 119 |
| 2.3 Организационные мероприятия обеспечения безопасности | 119 |
| 2.4 Особенности законодательного регулирования проектных решений. | 121 |
| 2.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях | 122 |
| 2.5.1 Факторы пожарной и взрывной природы | 123 |
| Приложение №2..... | 131 |
| Список литературы..... | 143 |

ВЕДЕНИЕ

Существуют различные способы упрочнения материалов. Среди них выделяется наиболее 2 развитых метода — это вакуумно-дуговой метод и магнетронный метод нанесения покрытий.

В современном машиностроении существует проблема повышения механических свойств изделия. Поэтому для повышения эксплуатационных и функциональных свойств изделий существует большое количество методов позволяющие улучшить эти свойства за счет увеличения твердости, прочности, износостойкости и т.д. Одним из перспективных методов являются вакуумные методы нанесения покрытий такие как: метод осаждения покрытий из вакуумной дуги и за счёт катодного распыления магнетронный метод. Дуговой и магнетронный методы они позволяют формировать тонкие износостойкие покрытия в частности нитридов переходных металлов но принцип получения этих двух покрытий отличается т.е в вакуумно дуговом методе в качестве испарителя используется катодное пятно в катором температура достигает 1000 градусов а во втором случае распыление материала который потом входит в состав покрытия металла идет катодным распылением т.е расплавление метала не происходит. В связи с этим при нанесений покрытий на острые кромки инструмента возникает вопрос, а какой же метод целесообразней и рациональней применить. Например

Для режущего инструмента с кромкой скругления порядка 2-х микронов необходимо нанести покрытие толщиной 2 микрона, но в вакуумно-дуговом методе продукты эрозии катода в которые по мимо ионов и электронов входят микро капли которые могут достигать размеров более 2-х микрометров они могут быть и 8,10,6 микрометров. Если такой объект попадает на режущую кромку, то режущая кромка перестает быть функциональной, это является явным дефектом.

Альтернативой дугового метода нанесения покрытия может служить магнетронный метод, но у магнетронного метода гораздо ниже ионная

энергетика чем у дугового. По литературе известно, что магнетронный метод используется так, как и дуговой используется для нитридных покрытий таких как нитрид титана нитрид циркония нитрид ванадия и т д. Но напыление производится вблизи мишени. В дуговом методе плазма распространяется практически по всей камере. В связи с этим Цель моей работы состоит в том, чтобы сопоставить два метода ионно-плазменного получения покрытий и дать рекомендации о предпочтении какой из методов нужно применить для обработки режущих инструментов с тонкой пленкой порядка 2-х микрон. Здесь будет проведено сравнение как скорости напыления, в зависимости от расстояния напыляемого объекта от испарителя или источника плазмы. Здесь так же будут проведены сравнения этих 2-х методов по твердости адгезии применительно твердым сплавам ВК8.

В связи с этим в задачу исследования входили: оценить и измерить толщины пленок, измерить твердость поверхности покрытий толщиной порядка 2 микрон измерить адгезию и сопоставить полученные результаты между двумя методами.

ГЛАВА 1. КЛАССИФИКАЦИЯ, СВОЙСТВА И МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

1.1 Классификация износостойких покрытий

Эффективность работы металлорежущего оборудования в немалой мере зависит от способности режущего инструмента. В процессе работы режущий инструмент подвергается абразивному, диффузионному и адгезионно-усталостному износу. Наиболее эффективным путем повышения работоспособности является нанесение на рабочую поверхность износостойких покрытий.

Нанесение износостойких покрытий, в отличие от других методов повышения работоспособности режущего инструмента, позволяет регулировать свойства рабочей поверхности при сохранении свойств в объеме твердого тела.

Повышенные требования предъявлены в современном производстве к износостойким покрытиям для режущего инструмента, которые имеют непосредственное влияние на качество нанесения износостойкого покрытия и прочность металлорежущего инструмента, которое им покрывается. Эти требования зависят от композиции «покрытие – инструментальный материал» и с улучшением условий работы инструмента.

При выборе износостойких покрытий для металлорежущего инструмента необходимо соблюдать следующие требования:

- Требования, учитывающие критерий работы инструмента. Покрытие необходимо обладать: высокой твердостью, превышающей твердость обрабатываемого материала инструмента; устойчивостью к коррозии, возникающей при высоких температурах; отсутствием схватываемости с обрабатываемым материалом; устойчивостью к разрушению при изменении значений температур и напряжений.
- Требование совместимости свойств материала покрытия с материалом инструмента: сходство кристаллохимического строения материала покрытия и инструмента; оптимальное соотношение по модулям упругости, коэффициентам

Пуассона, линейного расширения, теплопроводности; малая склонность к образованию хрупких вторичных соединений.

- Требования к технологическим особенностям метода нанесения покрытий: соблюдение при нанесении покрытия условий, не оказывающий влияния на изменение свойства материала инструмента.
- Требования к покрытиям. Оно должно быть сплошным; иметь постоянную плотность; иметь стабильность свойств во времени.

Процесс нанесения покрытия на поверхность режущего инструмента определяется как свойствами материала покрытия и инструмента, так и спецификой протекания процессов формирования покрытия. Среди большого числа существующих методик, наибольшее применение получили покрытия, получаемые методом конденсации вещества в вакууме с ионной бомбардировкой.

Данный метод позволяет наносить разные виды покрытий, с широким набором физико-механических свойств, как на твердосплавный, так и на быстрорежущий инструмент. В ряде случаев эффективность износостойких покрытий не значительна. Анализ работ, посвященных исследованию механизмов изнашивания режущего инструмента с покрытиями [2, 3], позволяет в качестве основных причин разрушения покрытия определить их недостаточную когезионную прочность и трещин стойкость, а также адгезионную прочность сцепления покрытия с инструментальной основой.

Следовательно, становится необходимо проведения контроля значений полученных покрытий. Полный контроль качества покрытий проводят в следующем порядке:

- Визуальный осмотр. Покрытия должны иметь сплошную поверхность. Наличие сколов, шелушение не допускаются.
- Контроль на микротвёрдость. Осуществляется на микротвердомере ПМТ-3.

- Контроль толщины покрытия. Толщина покрытия измеряется на поперечных микрошлифах после травления в реактивах для основного материала.
- Контроль адгезионных свойств покрытия. Адгезия проверяется методом нанесения царапин алмазным наконечником с интервалом в 0,5 мм. Наличие сколов хотя бы в одном из углов квадратов сетки свидетельствует о некачественном покрытии.
- Контроль на хрупкость. Оценивается по виду отпечатка твердости по Кнупу при нагрузке 5 кгс или при нагрузке 200 гс на микротвердомере ПМТ-3.

1.2 Методы модификации поверхностного слоя износостойких покрытий

1.2.1 Вакуумные электродуговые генераторы плазмы

В основе работы электродугового плазмогенератора лежит процесс генерации металлической плазмы вакуумной дугой – сильноточным низковольтным разрядом, горящим в парах материала катода [4, 5].

На охлаждаемом катоде электродугового генератора плазмы реализуется катодная форма дуги, развивающаяся в парах материала катода, эродирующего за счет образования катодных пятен. На аноде разряд распределен диффузно. Напряжение в зависимости от материала катода изменяется в пределах 10÷30 В [5, 4]. В катодных пятнах, число которых пропорционально току разряда и которые хаотически перемещаются по поверхности катода со скоростью от нескольких десятых до единиц метров в секунду, плотность тока составляет $10^6 \div 10^7$ А/см² при величине тока в пятне от единиц до сотен ампер (в зависимости от материала катода), а необходимая для существования разряда среда образуется в результате испарения материала катода из области катодных пятен, в которых плотность мощности составляет $10^6 \div 10^7$ Вт/см² [5, 4, 5]. Продукты эрозии, разлетающиеся приблизительно изотропно в пределах полусферы над

поверхностью катода, содержат макрочастицы (капли и твердые осколки материала катода), паровую и ионизованную (ионы с различной кратностью заряда) фазы.

Электродуговые испарители являются эффективными генераторами плазменных потоков. Для поддержания их работы не требуется дополнительный газ, такие генераторы могут испарять металл катода и в высоком вакууме. Основное преимущество этих систем генерации плазмы – простое аппаратурно-техническое исполнение, а также надежность работы. Вакуумная дуга является одним из самых эффективных по энергозатратам источников ионов металла. Она обеспечивает достаточно высокую плотность тока ионов из её плазмы в больших вакуумных объёмах. Например, в литературе приводятся данные, что при работе вакуумно-дугового генератора плазмы с титановым катодом в непрерывном режиме с током дуги 90 А, плотность тока ионов составляла ≈ 2 мА/см² при измерениях её на расстоянии 400 мм от поверхности эрозии катода. Благодаря данному свойству электродуговые испарители могут также использоваться и для травления поверхности металлических образцов и изделий с целью получения химически чистой поверхности, на которую впоследствии будет наноситься функциональное покрытие. Для этого на деталь, находящуюся в плазме вакуумного дугового разряда, подают высокий (сотни вольт) отрицательный потенциал, обеспечивающий ускорение положительных ионов металла генерируемых с катода. В этом случае происходят одновременно два процесса: стравливание поверхностного слоя необходимой толщины и нагрев детали до нужной температуры за счёт бомбардировки её ускоренными ионами.

Благодаря высокой плотности объёмной плазмы металлов электродуговых испарителей был разработан метод синтеза покрытий КИБ (конденсации с ионной бомбардировкой), применявшийся на серийно выпускаемых отечественных вакуумных установках ННВ-6.6, «Булат», «Пуск» и др.

Основным недостатком вакуумно-дугового разряда и генераторов плазмы на его основе, существенно ограничивающим область их применения, является наличие в их плазме значительного количества микрочастиц (микрокапель),

появляющихся при взрыве микроострий на катоде [9]. Осаждающиеся на подложку микрокапли имеют размеры от 0,1 до 100 мкм при скоростях от 1 до 250 м/с [10]. Наличие в потоке металлической плазмы микрокапель приводит при формировании покрытий к появлению пор, ухудшению однородности покрытий, существенному увеличению их шероховатости [11].

Число и размер микрокапель в плазменно-капельном потоке, генерируемом вакуумной дугой, увеличиваются с уменьшением температуры плавления материала катода, с увеличением тока дуги и, соответственно, температуры катода. Их количество может быть уменьшено за счет снижения тока дуги, увеличения расстояния между источником плазмы и подложкой, увеличения давления рабочего газа и использования коаксиального магнитного поля для увеличения плотности плазмы.

В последнее время интенсивно проводятся исследования по уменьшению микрокапельной фракции, осаждающейся на поверхности подложек, погружённых в плазму либо самого вакуумно-дугового разряда, либо в плазму, специально создаваемую с помощью дополнительного источника газоразрядной плазмы.

1.2.2 Генераторы плазмы на основе магнетронного разряда

Магнетронные системы относятся к низковольтным системам распыления материалов. Их рабочее напряжение составляет 300÷700 В [12, 13]. При подаче постоянного напряжения между мишенью (катодом) и анодом возникает неоднородное электрическое поле, и возбуждается аномальный тлеющий разряд. Важнейшими параметрами, определяющими характер разряда, являются геометрия и величина магнитного поля, индукция которого у поверхности мишени составляет 0,03 ÷ 0,1 Тл. Наличие замкнутого магнитного поля у распыляемой мишени позволяет локализовать плазму разряда непосредственно у распыляемой мишени. Эмитированные с катода под действием ионной бомбардировки электроны совершают движение по замкнутым траекториям у поверхности мишени. Форма плазмы определяется геометрией и величиной

магнитного поля. В зависимости от величины этого поля магнетронная система может работать в диапазоне давлений от 10^{-1} до 1 Па. Магнетронный разряд позволяет использовать протяженные мишени и получать покрытия на подложках большой площади. Плазма магнетронной системы сильно неоднородна, ее плотность очень быстро падает с увеличением расстояния от мишени, поэтому для того, чтобы активировать подложки ионной бомбардировкой и увеличить скорость осаждения покрытий методом обычного магнетронного осаждения, подложки располагают на небольших (5÷6 см) расстояниях от мишени. Ионы в плазме магнетрона сразу после образования ускоряются на мишень. Поэтому концентрация ионов в прианодной области и в области подложек мала и обычный магнетронный распылитель нельзя рассматривать как ионный или плазменный источник. На подложку воздействует только поток атомарного вещества с энергиями от 1 до 20 эВ в зависимости от материала катода и параметров магнетрона. Частично увеличить ионную бомбардировку подложки и повысить энергетическое воздействие на нее можно с использованием несбалансированного магнетронного распыления [14]. В этом случае концентрация плазмы вблизи подложки увеличивается за счет применения несбалансированной системы магнитного поля, силовые линии которого направлены от мишени к подложке. Увеличение тока в электромагнитной катушке сопровождается значительным увеличением плотности ионного тока, наиболее выраженным на оси системы. Это объясняется увеличением степени несбалансированности магнитного поля, силовые линии которого, направляясь в сторону подложки, ограничивают поперечную подвижность электронов и заставляют их двигаться по оси системы. При этом электроны перемещаются совместно с ионами из-за необходимости поддержания электронейтральности плазмы. В работе [15] приведены данные, свидетельствующие о том, что при максимальном токе в электромагнитной катушке равном 1 А, что степень несбалансированности силовых линий магнитного поля была увеличена до максимальной величины и соответствовала максимальной величине индукции магнитного поля на оси магнетрона равной 0,018 Тл. При этом плотность ионного

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

1.3 Методы получения износостойких покрытий

Характеристика процесса нанесения покрытия на поверхность определяется с одной стороны свойствами материала покрытия и подложки, и с другой – спецификой протекания процессов нанесения покрытия. В зависимости от этого все методы нанесения покрытий разделяются на две группы:

1. Методы химического осаждения покрытий из парогазовой фазы (ХОП).
2. Методы физического осаждения покрытий (ФОП, PVD).

Внутри этих двух основных групп существует довольно большое количество разновидностей. Кроме того, применяются комбинированные методы или методы с поддержкой или активацией от других источников энергии. [27]. Как следует из названия используемых процессов (PVD и CVD), они основаны на различных, по сути, явлениях. Конечный же результат и в том и в другом случае – осаждение из газовой фазы материала покрытия на подложку.

В последние годы, в технологии тонких пленок достигнут значительный прогресс. Могут применяться различные методики получения образцов, гарантирующие воспроизводимые и стабильные характеристики конечного продукта в зависимости от решаемой задачи.

1.3.1 Метод физического осаждения покрытий

Метод термического испарения представляет собой процесс перехода молекул из жидкости или твердого тела в пар вследствие разрыва связей между поверхностными атомами испаряемого вещества. Различают резистивное испарение, электронно-лучевое испарение и способ активации испаряемых потоков веществ с помощью электрического разряда [16].

Вероятность испарения поверхностного атома зависит от величины энергии разрыва межатомных связей E_C , а атомная удельная скорость испарения (т.е. количество атомов вещества, испаряющихся с единицы площади в единицу времени) определяется соотношением[16]:

$$N_{И} = N^{2/3} \nu \cdot \exp \left[-\frac{E_C}{kT_{И}} \right], \quad (1.3.1)$$

где N – концентрация атомов в объеме испаряемого вещества, см^{-3} ; $N^{2/3}$ – концентрация атомов на поверхности испаряемого вещества ($N^{2/3} \approx 1015 \text{ см}^{-2}$); ν – частота колебаний атомов кристаллической решетки, с^{-1} ; $T_{И}$ – температура испарения, К; k – постоянная Больцмана; $(kT_{И})$ – величина, пропорциональная средней кинетической энергии атомов вещества, Дж.

При отличной от абсолютного нуля температуре всегда имеется вероятность того, что мгновенная кинетическая энергия отдельных поверхностных атомов превысит E_C . Поэтому испарение вещества происходит практически при любой температуре. Скорость испарения G зависит от давления насыщенных паров и температуры и описывается уравнением Ленгмюра:

$$G = 7,76 P_s \sqrt{\frac{M_{И}}{T_u}}, \quad (1.3.2)$$

где P_s – давление насыщенного пара, Па; $M_{И}$ – молярная масса испаряемого вещества, $\text{г} \cdot \text{моль}^{-1}$; T_u – температура испаряемого вещества, К.

Если ввести коэффициент испарения $\alpha_{И}$ (для чистой поверхности испаряемого вещества $\alpha_{И} = 1$), то для скорости свободного испарения $N_{И}$ в вакууме можно записать:

$$N_{И} = 4,66 \cdot 10^{24} \frac{\alpha_{И} P_s}{\sqrt{M_{И} T_u}}, \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \quad (1.4.2.3)$$

Следует отметить, что формула (1.4.2.3) справедлива только для так называемых молекулярных режимов, при которых испарившийся атом попадает

на подложку без соударений, а упругость паров материала не превышает $1,33 \cdot 10^2$ Па. При большей упругости пара длина свободного пробега его атомов уменьшается из-за скопления паров над расплавом, и процесс испарения начинает зависеть от скорости рассасывания этого облака, т.е. от диффузии атомов из пограничного слоя в окружающий объем, что не учитывается формулой (1.4.2.3).

Скорость испарения нелинейно зависит от температуры. Зависимость давления насыщенного пара от температуры описывается уравнением Клаузиуса-Клапейрона:

$$\lg P_s = \frac{L_0}{2,303R} \frac{1}{T} + \frac{y_1}{R} \lg T + \frac{y_2}{2,303R} T + \dots + I, \quad (1.3.3)$$

где L_0 – скрытая теплота испарения; y_1, y_2 – температурные коэффициенты; I – постоянная интегрирования; R – универсальная газовая постоянная. Следствием такой зависимости является то, что повышение температуры вещества на 10 – 15% (в диапазоне температур, превышающих температуру испарения) приводит почти к десяти кратному увеличению давления его насыщенных паров P_s .

Так как температурные зависимости скорости испарения разных материалов значительно различаются, это осложняет процесс формирования тонких пленок сплавов. Состав сплава не может оставаться одинаковым по толщине пленки, поскольку в первую очередь будет испаряться компонент, обладающий более высоким давлением насыщенного пара. Пленку с однородным по толщине составом можно получить, если компоненты сплава испаряются из двух независимых источников. Однако в этом случае очень сложно воспроизводить одинаковый состав пленки в каждом процессе ее нанесения.

Характерной особенностью процесса вакуум-термического испарения и конденсации является то, что даже при самых больших температурах испарения (2000 – 5000 К) средняя энергия испаренных атомов составляет всего лишь $(0,3 – 6,4) \cdot 10^{-19}$ Дж. Конденсация частиц с такими энергиями практически не приводит к их проникновению в глубину материала подложки.

Это определяет и достоинство, и недостатки метода вакуум-термического испарения и конденсации.

Покрытие неподвижной поверхности со сложным рельефом тонкой пленкой при вакуум-термическом испарении.

Достоинство состоит в том, что метод обеспечивает очень резкую межфазную границу между осажденной пленкой и подложкой. Это важно при формировании оптических покрытий или рисунка в слое путем его травления через маску.

Первый недостаток, обусловленный низкой энергией конденсирующихся частиц, заключается в более слабой адгезии тонких пленок, полученных вакуум-термическим испарением, по сравнению с другими методами формирования тонко пленочных покрытий. Вторым недостатком метода связан с задачей покрытия поверхностей со сложным рельефом. Без нагрева подложки энергия частиц оказывается недостаточной для реализации упругого отражения или конденсации с последующим испарением.

1.4 Постановка задачи и цели работы

В данной работе были поставлены следующие цели и задачи:

Цель работы- сопоставить два метода ионно-плазменного получения покрытий и дать рекомендации о предпочтении какой из методов нужно применить для обработки режущих инструментов с тонкой пленкой порядка 2-х микрон. Здесь будет проведено сравнение как скорости напыления, в зависимости от расстояния напыляемого объекта от испарителя или источника плазмы. Так же будут проведены сравнения этих 2-х методов по твердости адгезии применительно твердым сплавам ВК8.

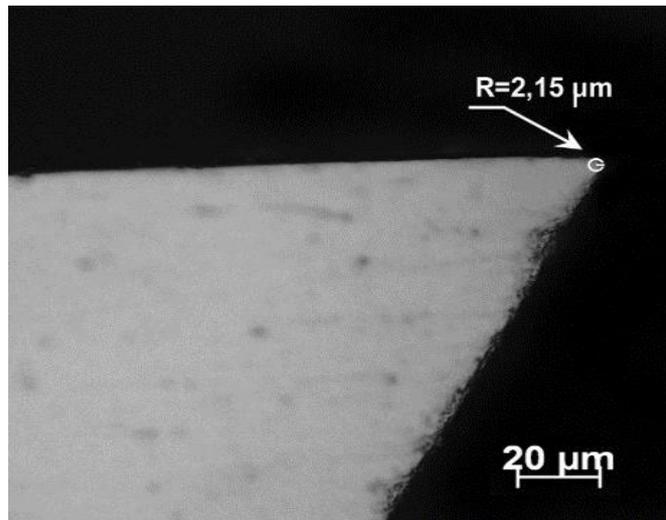


Рисунок 1. Исходная режущая кромка, до обработки её поверхности ионно-плазменными методами

Для достижения поставленной цели было необходимо выполнить следующие задачи:

- 1) Подготовить серию образцов в качестве исходных: пластины твердого сплава ВК8
- 2) Исследовать твердость и упругопластические характеристики исходных образцов без покрытий;
- 3) Нанести двумя методами вакуумно-дуговым и магнетронным методом напыления покрытий: TiN на исходные образцы;
- 4) Исследовать адгезионную прочность сцепления покрытий с подложками методом scratch-test, и Rocwell;
- 5) Проанализировать полученные результаты

Глава 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ.

В данной главе будут описаны методы измерения толщины пленки при помощи Calotest, метод измерения механических свойств пленки при помощи Скреч-Теста, Методика определения микротвердость пленки при помощи микротвердомера

Так же будет представлено оборудование, на котором производились эксперименты по нанесению покрытий TiN. Так же будут представлен материал исследования и его характеристики.

2.1 Материал Исследования

В качестве материала исследования для приготовления тестовых образцов, на которые планировалось наносить экспериментальные покрытия TiN, были применены твердый сплав ВК-8. Химический состав твердого сплава ВК представлен в Таблице 2.1.

Таблица 2.1 Химический состав стали ВК8

| Химический элемент | % |
|--------------------|----|
| Вольфрам (W) | 92 |
| Кобальт (С) | 8 |

Параметры твердого сплава ВК8:

- твёрдость ($H = 16-17$ ГПа),
- модуль Юнга ($E = 610$ ГПа),
- Сплав не подвергается деформации,
- Большая прочность при сжатии,
- Имеет повышенную теплостойкость до 1000°C .

Твердый сплав ВК8 широко распространённый инструментальный материал, сплав применяется в инструментальной промышленности. Так же для обработки резанием конструкционных материалов таки как:

1. Резцы
2. Фрезы
3. Сверла и т.д.

В ходе анализа литературы, было выяснено, что характеристики металлических материалов такие как:

1. Усталостная прочность
2. Износ
3. Трение, а также коррозия зависит от свойств и структуры поверхностных слоев материала.

Как известно, что при работе режущие инструменты сильно изнашиваются и разрушение начинает происходить с поверхности инструмента. Поэтому совершенствование поверхностей структуры играет большую роль для того чтобы улучшить срок эксплуатации изделия. Применение инструмента с предварительно нанесенным тонким (2-мкм) покрытием TiN, обеспечивает инструмент:

1. Повышением производительности при обработке резанием 20-200%;
2. Увеличивает срок службы инструмента в 1.5-10 раз

На данный момент времени, вследствие использования многокомнатных катодов, покрытия в основе TiN получило большое применение в качестве защитных и износостойких покрытий, за счет высокой твердости, выдерживанию больших температур, а также хороших адгезионных свойств.

В ходе исследования были использованы 6 видов полированных пластин размером 2x2 мм, которые были изготовлены из сплава ВК8. Средняя стоимость пластин твердого сплава ВК8 варьируется в цене от 90-109 рублей за штуку [29].

2.2. Подготовка экспериментальных образцов

При испытании физико-механических свойств поверхности полученных путем нанесения нитридных покрытий в вакуумно-дуговом разряде необходимо

провести мероприятия по подготовке места измерения. Предварительно необходимо провести полировку поверхности для максимально правильной интерпретации полученных результатов. Процесс подготовки образцов весьма трудоемок и занимает много времени

Подготовка образцов велась следующим образом:

1. Нарезка образцов из твердого сплава ВК8 на пластины размером 2x2,
2. Шлифование на кругло шлифовальном станке, с применением алмазного круга. Шлифовку необходимо выполнять возвратно-поступательными движениями, после смены очередной шкурки необходимо сменить направление шлифа на 90° относительно предыдущего. Шлифовать до момента полного исчезновения рисок, оставшихся от предыдущей шкурки
3. Промывка и обезжиривание образцов при помощи спирта
4. Полировка образцов на алмазных пастах двух типах: 1. Алмазная паста АСМ28/20 параметр шероховатости обработанной поверхности (0,32-0,05 мкм)
5. Алмазная паста АСМ1/0 параметр шероховатости обработанной поверхности (0,25-0,02 мкм)

Для полировки образцов на алмазной пасте нужно было нанести немного пасты на ткань (бязь), которая располагалась на ровной поверхности (стекло). После нанесения на ткань (бязь) пасты добавить бензин и полировать согласно последовательности при шлифовке. После полировки образцы обработать спиртом.

После прохождения механической обработки шероховатость поверхности составила (Ra~0,02 мкм)

Вышеперечисленные стадии подготовки поверхности образцов необходимы для получения корректных результатов измерения поверхностной твердости, определения величины шероховатости, толщины нитридной зоны.

2.3. Состав оборудования для получения износостойких покрытий и особенности его рабочих параметров

2.3.1 Экспериментальное оборудование для создания нитридных покрытий ННВ.6.6-И1

Эксперименты по формированию покрытий проводили на штатном оборудовании института сильно точной электроники на установке ННВ 6.6-И1. На которой были закреплены и магнетрон и дуговой испаритель.



Рис. 2.3.1 Общий вид экспериментальной установки.

- Основные параметры: объем вакуумной камеры – 0,25 м³;
- ток плазмодуговой системы «ПИНК» до 10 А; ток дугового испарителя до 150 А;
- напряжение отрицательного смещения до 1000 В; рабочее давление 0,1 – 1 Па; рабочий газ – азот-аргоновая смесь.

Смесь газов:

- парциальное давление азота ($P_{N_2} = 8 \times 10^{-4}$ Торр);
- давление в камере (Азот+Аргон) (Торр) – $1,8 \cdot 10^{-3}$
- ток дугового разряда (А) – 55-155;
- потенциал смещения (В) – от 0 до -1000;
- температура образцов достигает (°С) – 150-400;
- время напыления (мин) – 10-300.

2.3.2. Магнетрон и источник питания магнетрона



Рис.2.3.2.1 Общий вид Магнетрона

Магнетронное напыление является высокоэффективными, по сравнению с другими методами нанесения покрытий. устройствами для нанесения покрытий TiN. Схема магнетронной распылительной системы планарного типа, с круглым катодом представлена на (рис. 2.3.2.1) Магнетронный разряд зажигается между катодом 1 и анодом 9, которым также обычно являются заземленные стенки вакуумной камеры. Питание разряда осуществляется от источника постоянного либо импульсного напряжения ИП. Образующиеся в магнетронном разряде, ионы азота ускоряются в катодном падении потенциала и бомбардируют мишень, из напыляемого материала, в результате чего происходит распыление его поверхности и формирование потока распыленных атомов в сторону подложки. Электроны, эмитируемые с мишени под действием бомбардировки, захватываются магнитным полем и совершают сложное циклоидальное движение по замкнутым траекториям в скрещенных электрическом и магнитном полях. Двигаясь в магнитной ловушке у поверхности катода, электрон успевает многократно ионизовать атомы рабочего газа азота, прежде чем потеряет большую часть энергии и достигнет анода (крепёжного фланца). За счет локализации плазмы, у поверхности катода достигается высокая плотность ионного тока (на два порядка выше, чем в обычных диодных системах

распыления) и большая удельная мощность, рассеиваемая на мишени. Увеличение скорости распыления с одновременным снижением рабочего давления позволяет значительно снизить загрязнения пленок посторонними включениями. Локализация электронов вблизи мишени предотвращает бомбардировку ими подложек, что снижает температуру и радиационные дефекты в создаваемых структурах. Главными достоинствами магнетронных распылительных систем являются относительно высокие скорости осаждения (2,3 мкм/ч), и возможность получения равномерных по толщине пленок на подложках площади (2 мкм) [30].

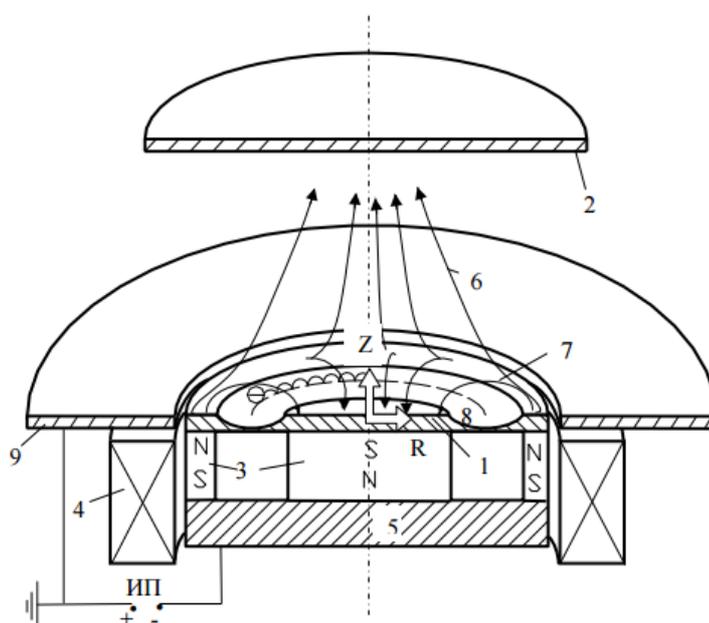


Рис.2.3.2.2 Упрощенная схема магнетронной распылительной системы.

1-распыляемый катод, 2-подложка, 3- постоянные магниты, 4- электромагнит, 5- магнитопровод, 6- несбалансированные линии магнитного поля, 7- сбалансированные линии магнитного поля, 8- зона распыления катода, 9- анод (крепежный фланец), ИП- источник питания.

Характеристики магнетрона представлены в таблице. 2.3.2

Таблица 2.3.2 Параметры магнетрона

| Параметры | Значения | | |
|--|--|---------|---------|
| Диаметр катода | | 75 мм | |
| Толщина катода | 5 мм | | |
| Магнитная система | Постоянные магниты (SmCo,NdFeB) | | |
| Магнитное поле на поверхности катода | 350-600 Гс | | |
| Тип охлаждения | Прямое/косвенное | | |
| Коэффициент использования катода | 30-45% | | |
| Рабочие газы | Ar, O ₂ , N ₂ и т.д. | | |
| Рабочее давление | 0,1-1 Па | | |
| Мощность распыления | 1 кВт | 1,5 кВт | 2,5 кВт |
| Плотность ионного тока на подложку | 0,01-1 мА/см ² | | |
| Отношение потока атомов к потоку ионов на подложку | 0,1-0,5 | | |

2.3.3 Источник питания магнетрона APeL-M-3BP-1000-2



Рис.2.3.3.1 Общий вид источника питания APeL-V-3BP-1000-2

Данный источник питания был разработан в компании «Прикладная Электроника» в городе Томск. [31]

Область применения данного источника предназначен для нанесения тонкопленочных покрытий в вакууме.

Источник питания предназначен для электропитания регулируемым напряжением постоянного тока магнетронных распылительных системах (МРС) с помощью до 3,00 кВт, используемые в процессах вакуумного нанесения тонкопленочных покрытий.

Отличительной особенностью данного источника является то, что магнетрон запитывается не отрицательным постоянным током, а биполярным асимметричным током. То есть, отрицательный ток по-прежнему питает магнетрон в моменты распыления материала мишени, а положительный ток в моменты дугообразования или паузах между импульсами, в зависимости от режима работы источника питания, что приводит к снятию зарядов с поверхности мишени реактивных процессах и уменьшает вероятность образования дуг.

Технические параметры представлены в таблице 2.3.3.1.

Таблица 2.3.3.1. Технические параметры источника питания магнетрона.

| | |
|------------------------------|----------------------------------|
| Напряжение питания | 3-х фазная сеть 380/220 В, 50 Гц |
| Максимальная мощность | 25кВт |
| Выходное напряжение | До 750 В |
| Тип выходного напряжения | Импульсно-периодическое |
| Частота следования импульсов | До 1 кГц |
| Тип охлаждения | воздушный |

Эксперимент был проведен при следующих параметрах. Параметры эксперимента были приведены в таблице № 2.3.3.2

Таблица № 2.3.3.2 Параметры эксперимента

| | |
|------------------------------|---------------------------------------|
| Рабочее давление P, мм,рт,ст | $1 \times 10^{-3} - 2 \times 10^{-3}$ |
| Ток разряда, А | 1,8, 2,4, 3 |
| Напряжение смещения, В | 100-300 |
| Время обработки, t, мин | 30-180 |
| Смесь газов 50% | Ar, N ₂ |

2.3.4. Параметры катодов испарителя для получения покрытий

В данной работе обсуждаются варианты синтеза тонких нитридных покрытий из многокомпонентной плазмы, генерируемой вакуумно-дуговым распылением катодов системы TiN.

В нашем эксперименте использовался титановый катод. Плотность титана 4.506-4.516 г/см³, точка плавления 1668 °С, температура кипения 3535°С. В соответствующей окислительной среде имеет превосходную устойчивость к коррозии. Таким образом, продукция широко используется в конструкционных материалах, титан имеет твердость по Бринеллю 175 МПа.

Катод изготавливается путем точения из титанового прутка. Он применяется для нанесения покрытий на основе титана.

2.3 Методы исследования физико-механических свойств покрытий

2.3.1 Метод определения твердости

Для определения твердости использовался Динамический и Статистический

2.3.1.2 Микро- и наноиндентация для определения твердости и упругих свойств материалов

Твердость – свойство поверхности слоя оказывать сопротивление упругой и пластической деформации при местных контактных воздействиях со стороны другого, более твердого тела (индентора), имеющего определенную форму и

размер. Государственный эталон твердости по шкалам Виккерса – ГЭТ 31-06.

[10]

Наноиндентирование осуществлялось при нагрузках 50 мН и 10 мН, скорости нагружения 10 мН/мин и 50 мН/мин с помощью предварительно откалиброванного на кварце алмазного индентора Виккерса с известным модулем упругости $E=72$ ГПа, $H=9,5$ ГПа. В качестве индентора используется алмазная пирамида с углом при вершине 120 градусов

Испытание состоит в измерении и записи на жесткий диск управляющего компьютера кривой «нагружение-разгрузка», которая в дальнейшем математически обрабатывается.

В данном методе размер отпечатка определяют по максимальной глубине погружения алмазного индентора h_m , принимая, что алмазный индентор совершенно не деформируется при индентировании. Таким образом, в методе ИИ твердость определяется исходя из глубины восстановленного отпечатка как в методе Роквелла, но без предварительного нагружения индентора. В этом состоит основное отличие ИИ от методов измерения твердости, предложенных Виккерсом и Бринелем, в которых визуально измеряются параметры восстановленного отпечатка: диагональ или диаметр, соответственно

Метод Оливера-Фарра состоит в подборе параметров степенной функции, описывающей экспериментальную зависимость глубины погружения индентора (h) и площади контакта (A) от приложенной нагрузки (P), и расчете твердости (H) и модуля Юнга (E) по этим данным. Значения твердости рассчитывают как отношение максимальной нагрузки к площади проекции восстановленного отпечатка, а модуль упругости определяют исходя из площади проекции отпечатка, контактной жесткости $S=dP/dh$, рассчитываемой согласно кривой разгрузки, задаваемого коэффициента Пуассона, а также параметров

индентора. Начальный участок разгрузочной кривой аппроксимируют степенной функцией P_{max} , где P_{max} – максимальная нагрузка, h – глубина проникновения индентора, h_f – глубина проникновения индентора после снятия нагрузки.

Коэффициент упругого восстановления – степень восстановления материала после снятия нагрузки с индентора. Восстанавливается та часть, которая приходилась на упругую деформацию. Рассчитывается исходя из кривой

нагружения – разгрузки:
$$= \frac{h_{max} - h_{сн}}{h_{max}}$$

Для предварительного определения отличий в свойствах у покрытий с НС и МС одним из лучших и недорогостоящих методов является измерение микротвердости. Этот метод дает довольно точные результаты измеренной микротвердости с погрешностью ± 30 кг/мм², по которым можно увидеть, что покрытия с различной структурой имеют иногда существенные различные значения микротвердости.

В данной работе проводились предварительные измерения твердости подложек перед напылением и образцов с покрытиями с предполагаемой различной структурой на микротвердомере ПМТ-3, путем вдавливания алмазной пирамиды Виккерса под действием постоянной нагрузки (в нашем случае $P=50$ и 100 гр). По длине диагонали отпечатка можно вычислить микротвердость по Виккерсу H_v , используя источник [8]:

$$H_v = 1,8544 \frac{P}{d^2}, \quad (2.4.2.1)$$

где P – нагрузка на алмазную пирамидку,

d – диагональ отпечатка.

При этом глубина проникновения индентера в образец составляет $h = \frac{d}{7}$.

Вследствие этого, данный метод не применим для покрытий толщиной менее 2 мкм, так как тогда сильное влияние на значения микротвердости покрытия оказывают значения микротвердости подложки.

Для уточнения значений твердости полученных покрытий и определения их упругих свойств (т.е. соотношения между упругой и пластической деформации по снимаемым кривым нагружения и разгружения индентера), образцы исследовались методом наноиндентации на нанотвердомере ННТ-S-АХ-000Х фирмы CSEM Instruments.

Алмазный индентер воздействовал на поверхность покрытия с непрерывно возрастающей нагрузкой $P = 0 - 100$ мН, при этом максимальная глубина проникновения индентера в материал покрытия составила ≈ 380 нм для покрытия с НС и ≈ 510 нм для покрытия с МС. При таких глубинах внедрения было снижено влияние подложки на измерение нанотвердости покрытий.

2.3.1.3 Метод определения толщины покрытия при помощи Calotest.

Оценка толщины покрытия проводилась при помощи метода калотеста на приборе CSEM Calotest.

Прибор предназначен для измерения толщины в диапазоне (0,1-50) микрон, в том числе и многослойных. Определение толщины осуществляется по результатам измерения геометрических параметров лунки износа, оставленной после вращения стального шара диаметром 25,4мм по поверхности на одном выбранном участке образца с использованием алмазной суспензии. После такого механического воздействия на образец остается характерный сферический отпечаток видимой границей между слоем покрытия и фрагментом подложки. По параметрам, таким как диаметры отпечатков на подложке и в покрытии, а также, зная диаметр шара, могут быть определены глубина внедрения в субстрат t , общая глубина внедрения T и толщина покрытия s .

Важно подобрать скорость и время вращения стального шара таким образом, чтобы в процессе истирания произошел износ части материала подложки. Устройство для шарового шлифования обеспечивает измерение толщины пленок в диапазоне от 100 нм до 50 мкм за короткое время (1-5 минут) покрытием.

По параметрам отпечатка, таким как диаметры отпечатков на подложке и в покрытии, а также, зная диаметр шара, могут быть определены глубина внедрения в субстрат t [2.3.1.3.1], общая глубина внедрения T [2.3.1.3.2] и толщина покрытия s [2.3.1.3.3].

$$t = R - \frac{1}{2} \sqrt{4R^2 - d^2} \quad (2.3.1.3.1)$$

$$T = R - \frac{1}{2} \sqrt{4R^2 - D^2} \quad (2.3.1.3.2)$$

$$s = T - t \quad (2.3.1.3.3)$$

2.4. Методики измерения адгезионных свойств пленки

Наиболее известные методы по оценки адгезионных свойств покрытия, за счет высокой точности определения адгезионной прочности сцепления являются скретч-тест и метод Роквелла.

2.4.1 Методики измерения адгезионных свойств пленки, при помощи Scratch-test и Роквелл-тест

Метод Роквелл-тест производится путем исследования отпечатка, полученного с помощью прибора типа 2140 TP, для измерения твердости по методу Роквелла, при вдавливании в композицию покрытие-основа алмазного конуса с углом при вершине 120° и радиусом закругления 0,02 мм. При твердости материала подложки от 54 HRC до 65 HRC нагрузка, с которой проводят вдавливание алмазного индентора должна составлять 150 кг (1471 Н). В случае тестирования более твердых материалов (с твердостью более 70 HRC, например, твердые

сплавы типа ВК8), испытательная нагрузка должна быть снижена до 60 кг. В противном случае алмазный конус потеряет работоспособность, т.е. разрушится.

Результат адгезионной стойкости анализируется при визуальном сопоставлении при увеличении микроскопа $\times 200$ (раз) полученных отпечатков с 6-ти бальной шкалой, приведенной в стандарте [???] (рисунок 2.4.2.1)

Определение адгезионных свойств по методу Роквелла является качественным, и позволяет оценить свойства покрытия лишь визуально. Для более детально (количественной) оценки адгезионных свойств полученных покрытий применялся скретч-тест.

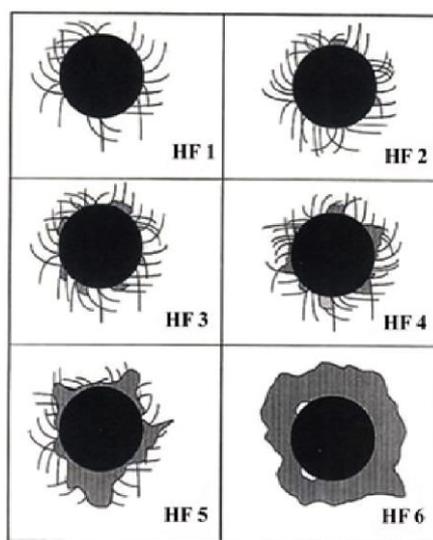


Рис.2.4.2.1 Шкала градации качества адгезионной прочности, определяемой методом Роквелл – тест: HF1 HF2 - отличная (превосходная) адгезия; HF5 HF6 – недопустимо к применению

Для определения адгезионной прочности покрытий методом скретч-тест проводилось на приборе CSEM Micro Scratch Tester.

Принцип работы скретч-тестирования состоит в следующем: на границе раздела покрытие - подложка создается напряжение путем вдавливания в поверхность образца твердого наконечника с действующей по нормали силой FN напряжения вызывают появление трещин, сколов и отслаивания покрытий. В

ходе перемещения индентора с заданной скоростью и с увеличивающейся нагрузкой, проходит запись на компьютер показаний нескольких датчиков, а именно: силы нагружения, интенсивности акустической эмиссии, силы трения, коэффициента трения, глубины царапины. Наименьшая величина нагрузки, при которой происходит разрушение, называется критической нагрузкой. Значение критической нагрузки фиксировалось по изменению акустической эмиссии и с помощью визуального наблюдения разрушения в микроскоп с увеличением $\times 200$ и в микроскоп ММП-4 с увеличением $\times 333$. Испытания были проведены при следующих условиях: нагрузка нарастала от 0,9 до 50 Н со скоростью 10 мм/мин, длина царапины составляла 10 мм. Радиус закругления алмазного индентора был взят 20 мкм.

Таким образом, при использовании данного метода, может быть определена не только адгезионная прочность, но и сделан вывод о механизме разрушения

Выводы ко второму разделу

1. Обоснован выбор материала в качестве объекта исследования для реализации цели поставленных задач.
2. Установлено, что использованное для экспериментов вакуумное электрофизическое оборудование обладает нужными рабочими параметрами, с возможностью их регулирования в нужном диапазоне и обеспечивает достаточную производительность.
3. Условия в рабочей зоне для обработки образцов, являются достаточными для обеспечения модификации поверхности материалов свободных от загрязнений органического и окислительного происхождения.
4. Предложены и обоснованы методы и приборы, позволяющие провести исследования, и сравнить физико-механические характеристики поверхности экспериментальных образцов, такие как твердость, модуль упругости, адгезию пленок TiN.

ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ РОСТА ПОКРЫТИЙ ОТ РАССТОЯНИЯ ПРИ ДВУХ МЕТОДАХ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ TiN НА ТВЕРДЫЙ СПЛАВ ВК8

В данном разделе диссертации рассматриваются вопросы, связанные с режимами получения покрытий TiN, при двух методах напыления: 1. Вакуумно-дуговой метод, 2. Магнетронный метод. На режущую кромку инструмента, изготовленных из твердого сплава ВК8. Подробно изложены этапы и параметры процессов. В начале главы, представлена информация об особенностях процессов напыления двумя методами, а также сравнения результатов. Далее приводятся параметры технологических процессов, которые присутствовали при формировании непосредственно самих нитридных покрытий.

3.1 Этапы и параметры нанесения TiN при двух методах нанесения покрытия вакуумно-дуговой и магнетронный метод

В начале было принято решение провести напыления покрытия TiN вакуумно-дуговым и магнетронным методом для качественного сравнения физико-механических свойств пленок на твердом сплаве ВК8, и исследование степеней осаждения продуктов эрозии катода при вакуумно-дуговом методе. Кроме того существует необходимость построения зависимостей свойств полученных покрытий от расположения образцов в камере (таблица №).

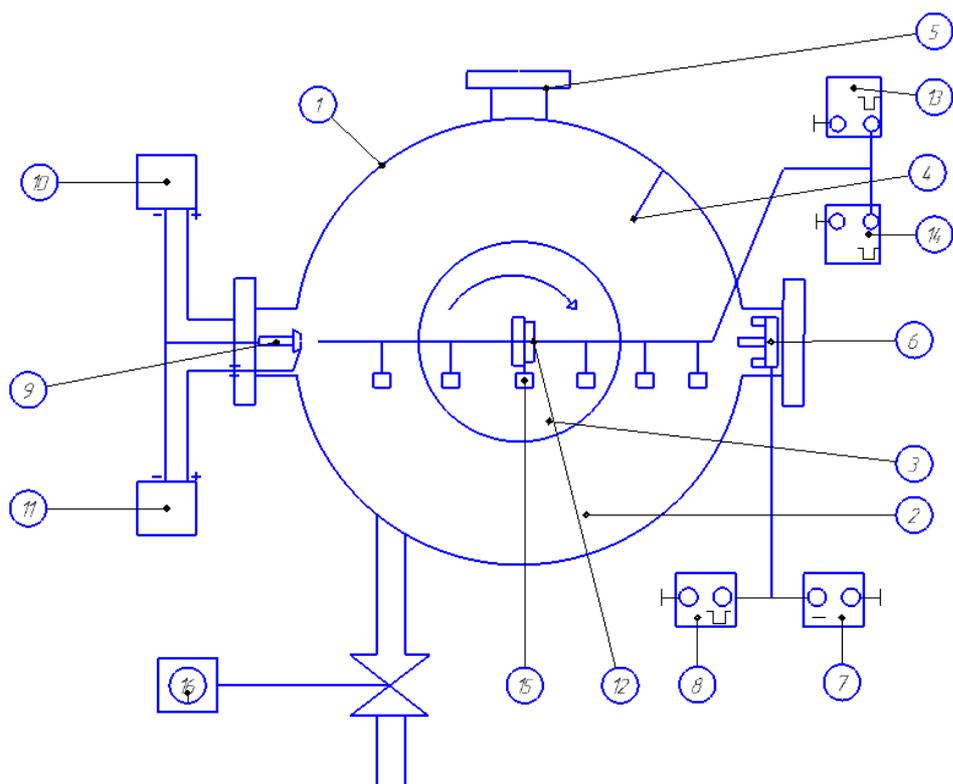


Рисунок 3.1.1 Блок-схема экспериментальной установки: 1.Водоохлаждаемый корпус камера, 2. Вакуумная-камера, 3. Вращающийся стол, 4. Термопара, 5. Дифференциальный насос, 6. Магнетрон, 7. Источник питания магнетрона постоянного тока, 8. Импульсный источник питания магнетрона, 9. Дуговой испаритель, 10. Источник питания дугового испарителя, 11. Источник питания поджига дугового разряда испарителя, 12. Подложкодержатель, 13. Генератор низковольтных импульсов напряжения смещения, 14. Генератор высоковольтных импульсов напряжения смещения, 15. Образцы, 16. Вакуумметр

В камеру, на разном расстоянии от плазменного источника с накаливаемым катодом «ПИНК», на рабочем столе были помещены 6 образцов из твердого сплава ВК8. Первый образце располагался на расстоянии (5 см), от испарителя, остальные образцы через каждые 5 см. Образцы были закреплены к штоку при помощи хомута из фольги. Фольга крепилась к образцу точечной сваркой.

Вокруг обрабатываемой детали, находящейся под отрицательным смещением, не превышающем -600 В, при токе разряда генератора газовых ионов 50 А, 100А, 150А, плотности ионного тока насыщения $j = 1 \div 2$ мА/см² и давлении в рабочей камере порядка $\sim 10^{-3}$ мм рт.ст. Рост величины

отрицательного смещения выше 600 В может привести к травлению полированной поверхности вследствие катодного распыления. Основные параметры этапа плазменно-ассистированного нанесения нитридного покрытия могут находиться в следующих диапазонах: ток разряда дугового испарителя – 50-150 А; ток разряда плазмогенератора – 5-20 А; отрицательное смещение –200 В; давление в камере – $1 \cdot 10^{-3}$ – $2 \cdot 10^{-3}$ мм рт.ст, время напыления – 30-180 мин. Скорость роста покрытия зависит от тока разряда и отрицательного потенциала смещения, но не превышает $\sim 2 \div 3$ мкм/ч. После завершения процесса разряд, газовое питание отключают и остывание происходит в вакууме при работающей системе вакуумной откачки в течение $\sim 60-90$ минут. Затем отключается вакуумная система и дальнейшее остывание деталей до комнатной температуры происходит при остаточном вакууме выключенной установки.

Режимы обработки поверхности образцов вакуумно-дуговым методом напыления приведены в таблице 3.1.2.

Таблица 3.1.2 Параметры процесса нанесения покрытия TiN вакуумно-дуговым методом

| | |
|------------------------------|--------------------|
| Рабочее давление P, мм,рт,ст | 2×10^{-3} |
| Ток разряда, А | 50,100,150 |
| Напряжение смещения, В | 200 |
| Время обработки, t, мин | 30 |
| Смесь газов 50% | Ar,N ₂ |

Весь процесс нанесения покрытий TiN можно разделить на три основные стадии: загрузка и откачка, очистка и нагрев, конденсация покрытия TiN, охлаждение и выгрузка

3.1.2 Загрузка и откачка

После загрузки чистых деталей на рабочий стол и закрытия крышки камеры производится откачка камеры при помощи форвакуумного насоса, до остаточного давления не ниже $1,33 \times 10^{-3}$ Па (1×10^{-5} мм рт. ст.).

3.1.4 Конденсация нитридного покрытия

После ионной очистки и нагрева деталей до температуры $T=300 \pm 10$ °С рабочий газ с аргона (Ar) заменяется на азот (N_2), при продолжении работы генератора газоразрядной плазмы включается питание электродугового испарителя, и устанавливается режим горения дуги. Рабочее давление азота устанавливается на уровне $P = 0,133$ Па (1×10^{-3} мм рт. ст.). Вместе с ионами на поверхность конденсации покрытия поступают также ионизированные молекулы газа и металла, нейтральные атомы и микрокапельная фракция расплавленного металла. Основные параметры процесса на этапе напыления: ток разряда дугового испарителя металлов $I_d=50-150$ А, отрицательное напряжение смещения, прикладываемое к деталям $U_{см} = -200$ В. Длительность данного этапа зависит от толщины пленочного покрытия, которое требуется получить в рамках технического задания. Толщина, в свою очередь, зависит от скорости эрозии металлического катода при различных значениях тока разряда. Например, при формировании износостойких покрытий состава TiN по экспериментальным данным известно, что скорость конденсации при токе разряда 50А-100А и 1 мкм/ч и 0,8 мкм/ч.

3.2. Особенности процессов напыления TiN на твердый сплав ВК8 при помощи вакуумно-дугового метода

Напыление TiN на образцы из сплава ВК8 выполнялась на оборудовании ННВ 6.6-И1, об особенностях конструкции которого подробно рассказано во 2-разделе данной диссертации. Разработано и изготовлено большое количество напылительных установок, предназначенных для нанесения защитных,

декоративных, теплоизолирующих покрытий на металлы, стекло, пластмассу, керамику и т.д.

После напыления при помощи вакуумно-дугового метода нанесения покрытий на твердом сплаве ВК8 была изучена скорость роста покрытий в зависимости от расстояния. методом Calotest. В таблицах № 3.2.1 И №.... Представлены данные о твердости полученных покрытий TiN на подложке из твердого сплава ВК8 для вакуумно-дугового и магнетронного метода соответственно.

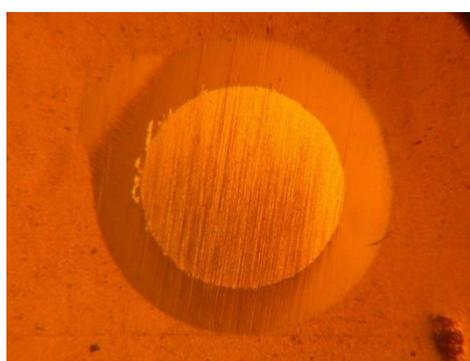


Рисунок 3.1.4.3 Внешний вид поверхности образца с кратером износа, полученным по методу КАЛОТЕСТ. Пленка – покрытие TiN, подложка – твердый сплав ВК8, расстояние от испарителя-18 см

Таблица 3.2.1 Толщина покрытия TiN на образцах при разных токах разряда дугового испарителя, вакуумно-дуговой метод

| Ток разряда дугового испарителя 50 А | | | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|--|--|------------------------------|
| № образца | Расстояние до пов-ти испарителя, см | Размер большего отпечатка КАЛОТЕСТА, мкм | Размер меньшего отпечатка после КАЛОТЕСТА, мкм | Толщина покрытия титана, мкм |
| 1 | 5 | - | - | - |
| 2 | 18 | 7,2 | 7,4 | 0,71 |
| 3 | 31 | 7,5 | 7,8 | 0,52 |
| 4 | 44 | 7,8 | 7,5 | 0,46 |
| 5 | 57 | 8,2 | 7,7 | 0,33 |

| 6 | 70 | 8,5 | 8,0 | 0,22 |
|------------------------------|-------------------------------------|--|--|--|
| Ток разряда испарителя 100 А | | | | |
| № образца | Расстояние до пов-ти испарителя, см | Размер большего отпечатка после КАЛОТЕСТА, мкм | Размер меньшего отпечатка после КАЛОТЕСТА, мкм | Толщина полученного покрытия титана, мкм |
| 1 | 5 | - | - | - |
| 2 | 18 | 6,9 | 6,3 | 0,95 |
| 3 | 31 | 7,4 | 6,8 | 0,67 |
| 4 | 44 | 7,7 | 7 | 0,52 |
| 5 | 57 | 7,9 | 7,3 | 0,43 |
| 6 | 70 | 8 | 7,6 | 0,37 |
| Ток разряда испарителя 150 А | | | | |
| № образца | Расстояние до пов-ти испарителя, см | Размер большего отпечатка после КАЛОТЕСТА, мкм | Размер меньшего отпечатка после КАЛОТЕСТА, мкм | Толщина покрытия титана, мкм |
| 1 | 5 | - | - | - |
| 2 | 18 | - | - | - |
| 3 | 31 | 7 | 6,7 | 1,14 |
| 4 | 44 | 6,6 | 6,2 | 0,92 |
| 5 | 57 | 7,2 | 5,7 | 0,83 |
| 6 | 70 | 7,5 | 6,4 | 0,51 |

3.3 Морфология поверхности образцов покрытием TiN, при двух методах нанесения покрытий.

Одними из главных характеристик покрытий являются их адгезионные свойства, которые с использованием современного оборудования могут быть описаны рядом параметров - силой трения и коэффициентом трения, силой сцепления с подложкой, магнитудами акустической эмиссии. Регистрация значений последнего параметра позволяет точно определить положение первых трещин на царапине, а также начало различных стадий разрушения. Особенно важным это становится тогда, когда анализируемые покрытия имеют малую толщину, а ширину царапины трудно измерить без привлечения прецизионных методов исследования.

После нанесения покрытия TiN при помощи вакуумно-дугового метода (Рисунок 3.3.1), наши образцы были исследованы на растровом микроскопе. При вакуумно-дуговом методе нанесения покрытия отчетливо видна капельная фракция на поверхности образца твердого сплава ВК8. Так же видно, что при расстоянии 5 сантиметров от испарителя покрытие не образуется, из-за большой температуры капли не успевают остывать и начинают плавиться. Однако не зависимо от расстояния (Рисунок 3.3.2) капельная фракция все равно присутствует на подложках образца ВК8

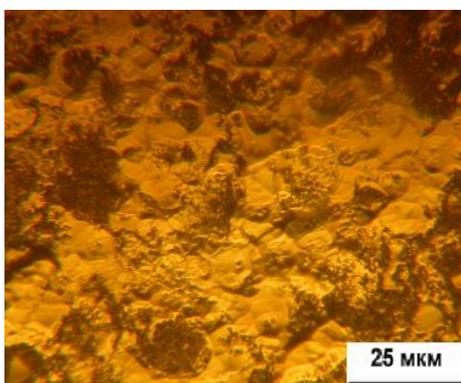


Рисунок 3.3.1 Фотография оптического микроскопа, морфология поверхности твердого сплава ВК8 после нанесения покрытия TiN при помощи вакуумно-дугового метода на расстоянии 5 см;

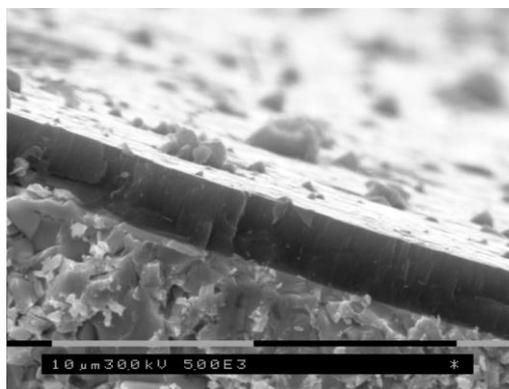


Рисунок 3.3.2 Фотография растрового микроскопа, морфология поверхности твердого сплава ВК8 после нанесения покрытия TiN при помощи вакуумно-дугового метода на расстоянии 30 см;

3.3.1 Исследование шероховатости поверхности подложки твердого сплава ВК8, при двух методах нанесения покрытия TiN, вакуумно-дуговой метод и магнетронный метод напыления.

Исследования шероховатости поверхности проводили путем сравнения результатов на приборе Micro Measure 3D station напыления при вакуумно-дуговом методе и магнетронном методе нанесения покрытий TiN (Рисунок 3.3.1.1)

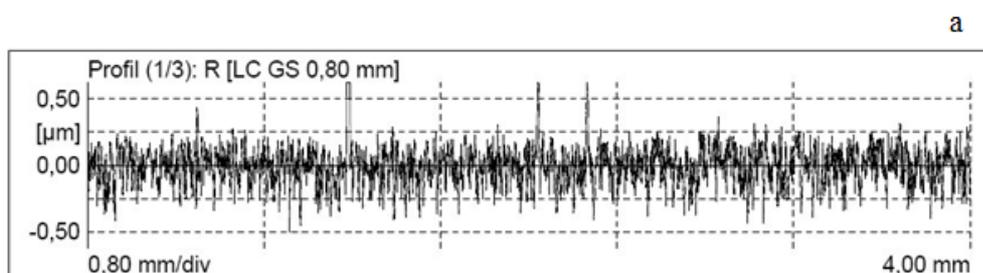


Рисунок 3.3.3.1 Поверхность образца ВК8 после напыления TiN при помощи вакуумно-дугового метода, при расстоянии 40 см, ток разряда 50 А

Поверхность образца твердого сплава ВК8 после нанесения покрытия TiN при помощи вакуумно-дугового метода.

$R_a = 0.11 \mu\text{m}$

$R_p = 0.5 \mu\text{m}$

Покрытие, полученное при помощи вакуумно-дугового метода (Рисунок 3.3.3.1) имеет большую шероховатость из-за образования капельной фракции.

Измерения шероховатости показало, что она существенно увеличивается, и в данном случае параметр R_a может превышать в 10 раз по сравнению с магнетронным методом

Таблица 3.2.1 Шероховатость покрытия TiN на образцах при разных токах разряда дугового испарителя

| Ток разряда испарителя 50 А | | | |
|------------------------------|-------------------------------------|-------------|-------------|
| № образца | Расстояние до пов-ти испарителя, см | R_a , мкм | R_p , мкм |
| 1 | 5 | 1,52 | 2,34 |
| 2 | 18 | 0,46 | 0,85 |
| 3 | 31 | 0,23 | 0,69 |
| 4 | 44 | 0,11 | 0,51 |
| 5 | 57 | 0,08 | 0,32 |
| 6 | 70 | 0,06 | 0,25 |
| Ток разряда испарителя 100 А | | | |
| № образца | Расстояние до пов-ти испарителя, см | R_a , мкм | R_p , мкм |
| 1 | 5 | 1,73 | 2,64 |
| 2 | 18 | 0,68 | 1,15 |
| 3 | 31 | 0,43 | 0,97 |
| 4 | 44 | 0,31 | 0,83 |
| 5 | 57 | 0,28 | 0,68 |
| 6 | 70 | 0,19 | 0,52 |
| Ток разряда испарителя 150 А | | | |
| № образца | Расстояние до пов-ти испарителя, см | R_a , мкм | R_p , мкм |
| 1 | 5 | 1,91 | 2,93 |

| | | | |
|---|----|------|------|
| 2 | 18 | 0,87 | 1,45 |
| 3 | 31 | 0,65 | 1,23 |
| 4 | 44 | 0,54 | 1,14 |
| 5 | 57 | 0,49 | 0,96 |
| 6 | 70 | 0,33 | 0,87 |

Параметры получения покрытий TiN при вакуумно-дуговом методе представлены в таблице 3.2.1

Таблица 3.2.1 Режимы получения покрытия TiN

| Параметры | Вакуумно-дуговой метод |
|------------------------------|------------------------|
| Рабочее давление P, мм.рт.ст | 2×10^{-3} |
| Ток разряда I_d , А | 50,100,150 |
| Напряжение смещения U_B В | 200 В |
| Длительность процесса t, мин | 30-180 |
| Смесь газов 50% | Ar, N ₂ |

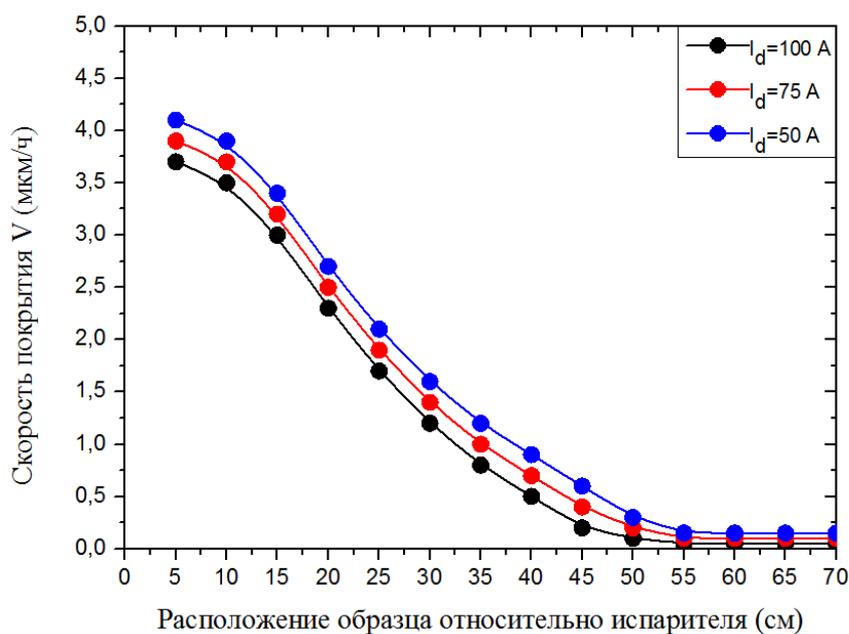


Рисунок 3.2.2 График зависимости скорости роста покрытия от расстояния; $I_d=50$ А, 75А, 100А, $U_B=-200$ В

После нанесения покрытия TiN на образец из твердого сплава ВК8, был проведен метод Calotest для определения толщины покрытия. При токе разряда $I_d=50$ А и напряжением смещения $U_B=-200$ В, определили, что рост покрытия не сильно зависит от расстояния.

В ходе исследования было принято решение изменять диапазон тока разряда $I_d=100$ А, $U_B=-200$ В. Для определения капельной фракции от изменения тока разряда

Как показали исследования в плазменном потоке вакуумной дуги

основную долю (примерно 88 % капельной фракции) составляют капли с диаметром до 1 мкм, 8 % – капли диаметром до 2 мкм, остальное – капли с диаметром свыше 3 мкм.

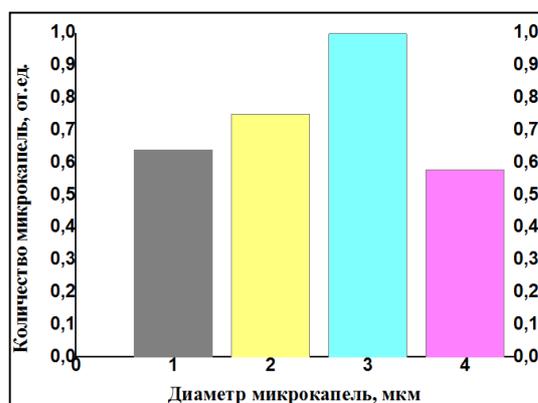


Рисунок 3.3.1.1. Гистограммы распределения микрокапель по размеру на поверхностях $I_d=50$, расстояние от испарителя- 18 см, вакуумно-дуговой метод

При снижении тока вакуумной дуги в три раза (от 150 до 50 А) общее количество капель уменьшается на порядок (Рисунок 3.3.3.1)

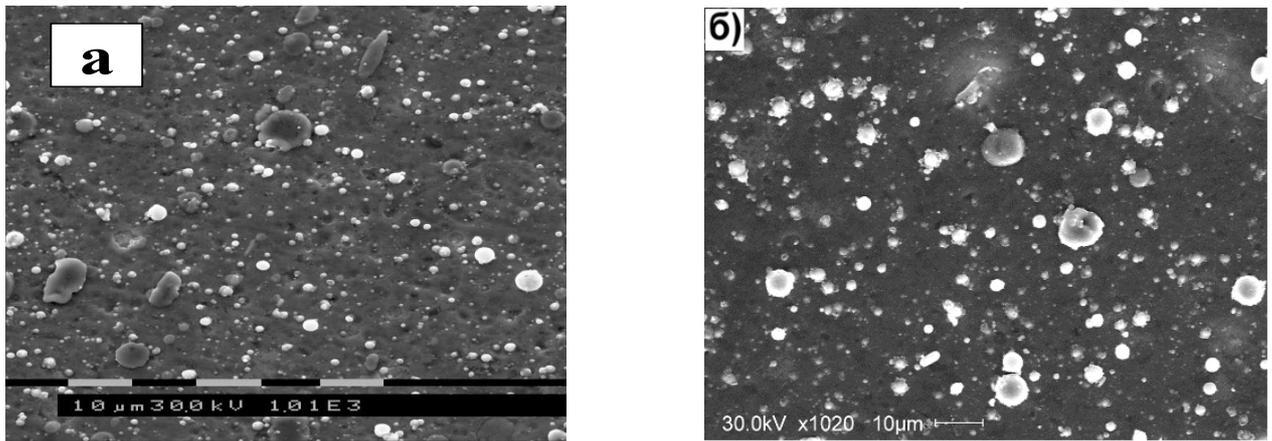


Рисунок 3.3.3.1 Морфология поверхностей образцов, а) при токе 50А, б) при токе 150А

В ходе проведенных экспериментов мы выяснили, что при вакуумно-дуговом методе скорость роста покрытия не сильно зависит от расстояния. Однако при близком расположении образца (5 см) от испарителя, на образце образуется очень большое скопление капельной фракции разного диаметра. При больших температурах капли не успевают остывать и плавятся, портя поверхность образца. Исходя из этого на подложке при близком расстоянии (5 см), покрытие не образуется. Однако даже если расположение образца находится дальше от испарителя, в любом случае капельная фракция присутствует. Это является большим минусом данного метода. Данный метод не подходит для напыления TiN на режущую кромку инструмента с радиусом скругления 2-мкм.

3.4 Нанесение покрытия TiN на поверхности твердого сплава ВК8 при помощи магнетронного метода нанесения покрытий.

3.4.1 Этапы и параметры нанесения покрытия TiN на твердый сплав ВК8 при помощи двух методов напыления

При нанесении покрытия TiN при помощи магнетронного метода напыления, наши образцы были исследованы на растровом оптическом микроскопе (Рисунок 3.3.1а). При магнетронном методе нанесения покрытия капельная фракция на поверхности образца твердого сплава ВК8 полностью отсутствует. Так же исходя из проведенных экспериментов было выявлено, что при расстоянии 5 сантиметров от испарителя покрытие образуется отличное, когда при вакуумно-дуговом (Рисунок 3.3.1б) методе на расстоянии 5

сантиметров покрытие не образуется. Параметры режимов напыления представлены в таблице № 3.3.1

После напыления при помощи магнетронного метода нанесения покрытий на твердом сплаве ВК8 была изучена скорость роста покрытий в зависимости от расстояния. методом Calotest. В таблице № 3.4.1 Представлены данные о твердости полученных покрытий TiN на подложке из твердого сплава ВК8 для магнетронного метода.

Таблица 3.4.1 Толщина покрытия TiN на образцах при разных токах разряда дугового испарителя, магнетронный метод

| № образца | Расстояние до пов-ти испарителя, см | Размер большего отпечатка после КАЛОТЕСТА, мкм | Размер меньшего отпечатка после КАЛОТЕСТА, мкм | Толщина покрытия титана, мкм |
|-----------|-------------------------------------|--|--|--|
| 1 | 5 | 3,2 | 2,4 | 1,26 |
| 2 | 18 | 3 | 2 | 0,68 |
| 3 | 31 | 2,4 | 2,5 | 0,17 |
| 4 | 44 | - | - | - |
| 5 | 57 | - | - | - |
| 6 | 70 | - | - | - |
| № образца | Расстояние до пов-ти испарителя, см | Размер большего отпечатка после КАЛОТЕСТА, мкм | Размер меньшего отпечатка после КАЛОТЕСТА, мкм | Толщина полученного покрытия титана, мкм |
| 1 | 5 | 3,6 | 2,6 | 1,39 |
| 2 | 18 | 3,2 | 2,2 | 0,78 |
| 3 | 31 | 2,6 | 2,7 | 0,22 |
| 4 | 44 | - | - | - |
| 5 | 57 | - | - | - |

| 6 | 70 | - | - | - |
|-----------|-------------------------------------|--|--|------------------------------|
| № образца | Расстояние до пов-ти испарителя, см | Размер большего отпечатка после КАЛОТЕСТА, мкм | Размер меньшего отпечатка после КАЛОТЕСТА, мкм | Толщина покрытия титана, мкм |
| 1 | 5 | 3,8 | 2,7 | 1,56 |
| 2 | 18 | 3,3 | 2,3 | 0,84 |
| 3 | 31 | 2,7 | 2,8 | 0,28 |
| 4 | 44 | - | - | - |
| 5 | 57 | - | - | - |
| 6 | 70 | - | - | - |

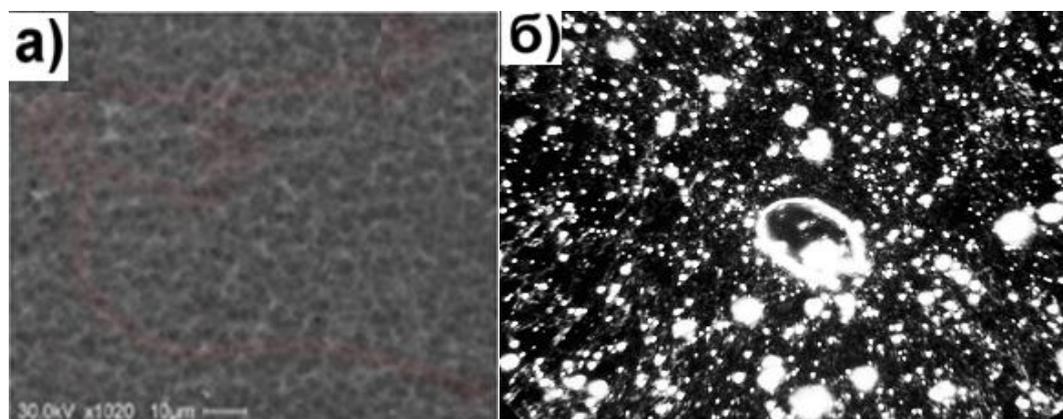


Рисунок 3.4.1 Фотографии растрового микроскопа, морфология поверхности твердого сплава ВК8 после нанесения покрытия TiN при помощи магнетронного (а) и вакуумно-дуговым (б) методе на расстоянии 5 см

3.4.1.1 Исследование шероховатости поверхности подложки твердого сплава ВК8, при двух методах нанесения покрытия TiN, вакуумно-дуговой метод и магнетронный метод напыления.

Исследования шероховатости поверхности проводили путем сравнения результатов на приборе Micro Measure 3D station напыления при вакуумно-

дуговом методе и магнетронном методе нанесения покрытий TiN (Рисунок 3.4.1.1)

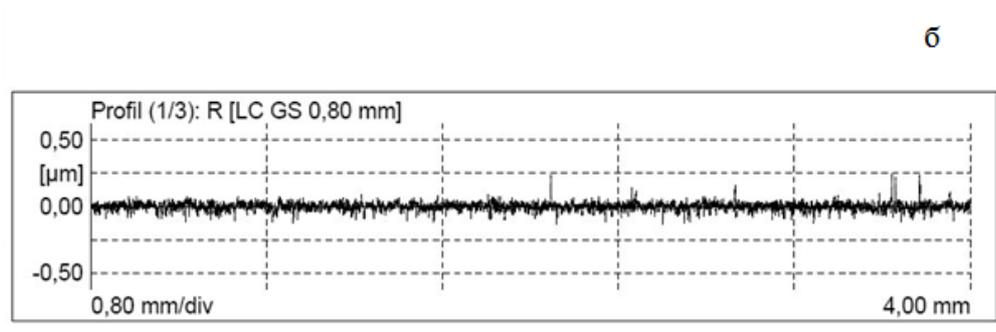


Рисунок 3.4.1.1 Поверхность образца ВК8 после напыления TiN при помощи магнетронного метода

В то время как при использовании магнетронного метода нанесения покрытия (Рисунок 3.4.1.1б) микронеровностей практически нет, и не изменяет геометрию поверхности с высоким классом точности. В результате применения магнетронного метода наблюдается формирование гладкой однородной поверхности, с отсутствием капельной фракции.

Поверхность образца твердого сплава ВК8 после нанесения покрытия TiN при помощи вакуумно-дугового метода.

$$Ra = 0.02 \mu\text{m}$$

$$Rp = 0.2 \mu\text{m}$$

Для более детального изучения адгезионных свойств покрытий, был проведен, скретч тест. Результаты, которого показаны в следующем разделе.

Таблица 3.4.2.1 Шероховатость покрытия TiN на образцах при разных токах разряда дугового испарителя

| № образца | Расстояние до пов-ти испарителя, см | Ra, мкм | Rp, мкм |
|-----------|-------------------------------------|---------|---------|
| 1 | 5 | 0.02 | 0.23 |
| 2 | 18 | 0.03 | 0.29 |
| 3 | 31 | 0.02 | 0.19 |

| 4 | 44 | - | - |
|-----------|-------------------------------------|---------|---------|
| 5 | 57 | - | - |
| 6 | 70 | - | - |
| № образца | Расстояние до пов-ти испарителя, см | Ra, мкм | Rp, мкм |
| 1 | 5 | 0.03 | 0.26 |
| 2 | 18 | 0.02 | 0.28 |
| 3 | 31 | 0.02 | 0.17 |
| 4 | 44 | - | - |
| 5 | 57 | - | - |
| 6 | 70 | - | - |
| № образца | Расстояние до пов-ти испарителя, см | Ra, мкм | Rp, мкм |
| 1 | 5 | 0.02 | 0.27 |
| 2 | 18 | 0.03 | 0.25 |
| 3 | 31 | 0.03 | 0.15 |
| 4 | 44 | - | - |
| 5 | 57 | - | - |
| 6 | 70 | - | - |

После напыления при помощи магнетронного метода нанесения покрытий на твердом сплаве ВК8 была изучена скорость роста покрытий в зависимости от расстояния методом Calotest.

Таблица 3.3.1 Рабочие параметры

| Параметры | Магнетронный метод |
|---------------------------------|--------------------|
| Рабочее давление P, мм.рт.ст | 2×10^{-3} |

| | |
|---------------------------------|--------------------|
| Ток разряда I_d , А | 1,8, 2,4, 3 |
| Напряжение смещения U_B В | 200 В |
| Длительность процесса t , мин | 30-180 |
| Смесь газов 50% | Ar, N ₂ |

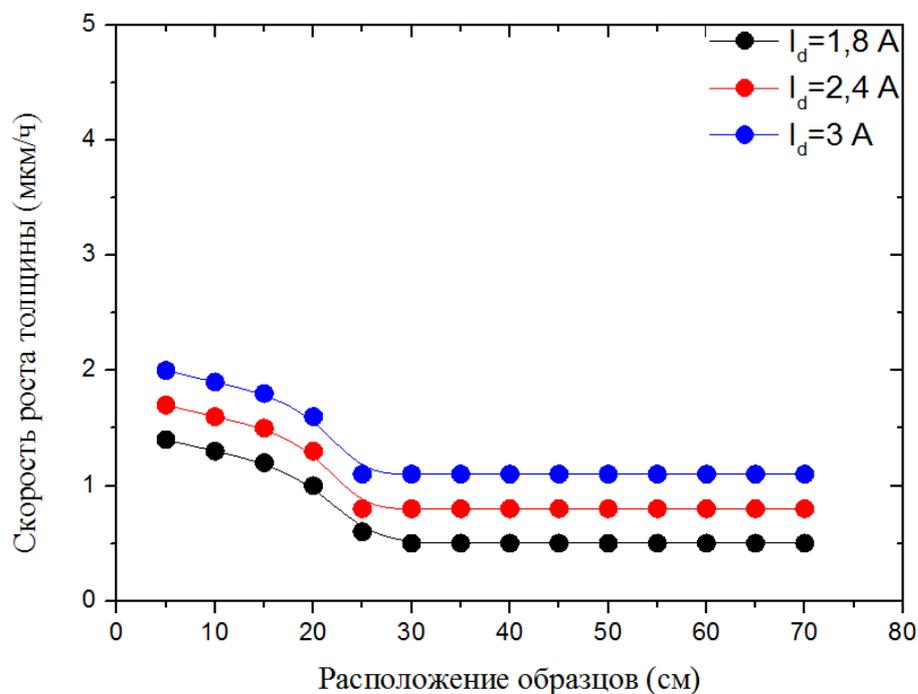


Рисунок 3.3.1 График зависимости скорости роста покрытия от расстояния; $I_d=1,8$ А, 2,4 А, 3 А, $U_B=-200$ В

Образцы твердого сплава прошедший напыление TiN при помощи магнетронного метода, при токах разряда $I_d=1,8$ А, $I_d=2,4$ А, $I_d=3$ А, $U_B= -200$ В, так же был исследован на приборе Calotest. Так же исходя из графика видно, что при напылении 5 см от испарителя покрытие будет образовываться, однако уже при 25 см от испарителя покрытие не образуется. Когда при вакуумно-дуговом

методе при расстоянии 25 см покрытие будет образовываться но с формированием капельной фракции.

Увеличение тока в электромагнитной катушке сопровождается значительным увеличением плотности ионного тока. Это объясняется увеличением степени несбалансированности магнитного поля, силовые линии которого, направляясь в сторону подложки, ограничивают поперечную подвижность электронов и заставляют их двигаться по оси системы

В ходе экспериментов было принято решение повышать ток разряда, для определения скорости роста толщины покрытия. При повышении тока разряда, и не изменении напряжения смещения $U_B = -200$ В, толщина покрытия будет увеличиваться на порядок.

В ходе исследовательской работе было выяснено что при магнетронном методе скорость роста покрытия существенно зависит от расстояния. Приведены данные, свидетельствующие о том, что при максимальном токе в электромагнитной катушке равном 3 А, степень несбалансированности силовых линий магнитного поля была увеличена до максимальной величины и соответствовала максимальной величине индукции магнитного поля на оси магнетрона равной 0,018 Тл. При этом плотность ионного тока на коллекторе-подложке достигала значений $\geq 2,5$ мА/см². При такой плотности тока ионов из плазмы магнетрона становилось возможным осуществлять очистку и травление поверхности и влиять на свойства осаждаемых покрытий. Но фокусирование ионизированного потока в узком пучке является недостатком таких систем.

Таким образом был сделан вывод что при магнетронном методе напыления TiN на твердый сплав ВК8, капельная фракция полностью отсутствует (Рисунок 3.3.3.1). Что является большим преимуществом перед вакуумно-дуговым методом нанесения покрытий TiN, на режущую кромку инструмента. Исходя из этого, для нанесения покрытия TiN на режущую кромку инструмента с радиусом 2-мкм целесообразней будет выбрать магнетронный метод.

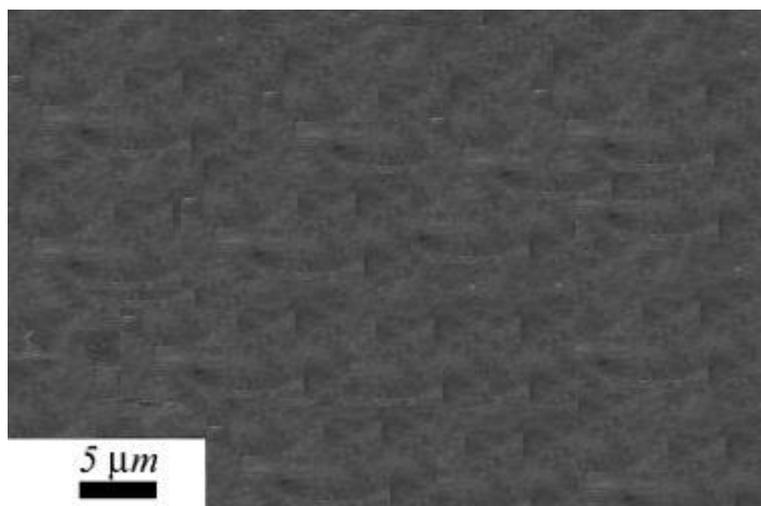


Рисунок 3.3.3.1 Поверхность твердого сплава ВК8 при магнетронном методе напыления TiN

В следующей главе будет рассмотрена морфология и физико-механические характеристики полученных покрытий от основных параметров процесса.

ГЛАВА.4 СОПОСТАВЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ TiN НАНЕСЕННЫХ ВАКУУМНО-ДУГОВЫМ И МАГНЕТРОННЫМ МЕТОДОМ, НА ПОДЛОЖКИ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК8

4.1 Исследовательские результаты физико-механических свойств поверхности TiN исходного твердого сплава ВК8 и после проведения напыления двумя методами

Одной из важнейших физико-механических характеристик приповерхностных слоев, тонких пленок и покрытий является твердость.

В данной главе будут сопоставлены результаты экспериментов при двух методах напыления такие как: 1. Микротвердость, 2. Нанотвердость, 3. Адгезионные свойства

4.2 Сравнение микро-твердости покрытия TiN, на подложке твердого сплава ВК8, при вакуумно-дуговом и магнетронном методах нанесения покрытий

Механические свойства покрытия контролировали путем определения микротвердость. Приведено сравнение средних значений микротвердость при нормальной нагрузке $P_n = 200$ мН (20 грамм), $P_n = 500$ мН (50 грамм), $P_n = 1000$ мН (100 грамм) для покрытий, сформированных при двух методах напыления TiN. Измерение микротвердости производилось на оборудовании ПМТ-3. При испытательных нагрузках 20, 50 и 100 г. с расстоянием от испарителей толщина уменьшается, следовательно, микротвердость поверхности у образцов, расположенных на разных расстояниях будет снижаться вплоть до значений, соответствующих твердости сплава ВК8 без покрытия вдали от испарителя. Данные приведены в таблице №4.1

Таблица 4.1 Значения микротвердости от расстояния до испарителя (манетрона) покрытия TiN от нагрузки

| Нагрузка, P, mN | Без покрытия, HV, ГПа | Микротвердость покрытия TiN на поверхности BK8, HV, ГПа, вакуумно-дуговой метод | | | | | | Микротвердость покрытия TiN на поверхности стали BK8, HV, ГПа, магнетронный метод | | | | | |
|--------------------|--------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Расстояние до испарителя, см | | | | | | Расстояние до испарителя, см | | | | | |
| | | 70 | 57 | 44 | 31 | 18 | 5 | 70 | 57 | 44 | 31 | 18 | 5 |
| 200 | 20,13 | 23,76 | 30,79 | 50,86 | 41,20 | 62,30 | 75,45 | 11,85 | 23,54 | 34,48 | 30,42 | 23,54 | 32,56 |
| 500 | 17,42 | 23,36 | 30,70 | 44,70 | 33,72 | 57,35 | 65,25 | 6,67 | 14,58 | 19,02 | 24,15 | 14,58 | 27,28 |
| 1000 | 17,85 | 20,56 | 23,96 | 32,13 | 26,94 | 45,64 | 55,85 | 4,83 | 8,73 | 9,97 | 14,53 | 8,73 | 15,20 |

Для уточнения значений твердости полученных покрытий и определения их упругих свойств (т.е. соотношения между упругой и пластической деформации по снимаемым кривым нагружения и разгружения индентера), образцы исследовались методом наноиндентации на нанотвердомере NHT-S-AX-000X фирмы CSEM Instruments

Износостойкие покрытия для металлорежущего инструмента должны обладать малым абразивным износом и высокой усталостной прочностью, а также стойкостью к деформации и разрушению.

Согласно классической теории износа, низкий абразивный износ обычно связан с высокой твердостью, а высокая усталостная прочность соответствует большим значениям модуля Юнга E (упругости). На практике обычно измеряется твердость материала H , которая, однако, не является независимой характеристикой, а связана с упругими и пластическими свойствами материала.

Для большинства объемных материалов высокой твердости характерно большое значение модуля упругости E , поэтому такие материалы являются

хрупкими. Для оценки стойкости материалов к упругой деформации разрушения используют величину отношения твердости к модулю упругости H/E , называемую также **индексом пластичности материала**, а для оценки сопротивления материала пластической деформации применяется параметр H^3/E .

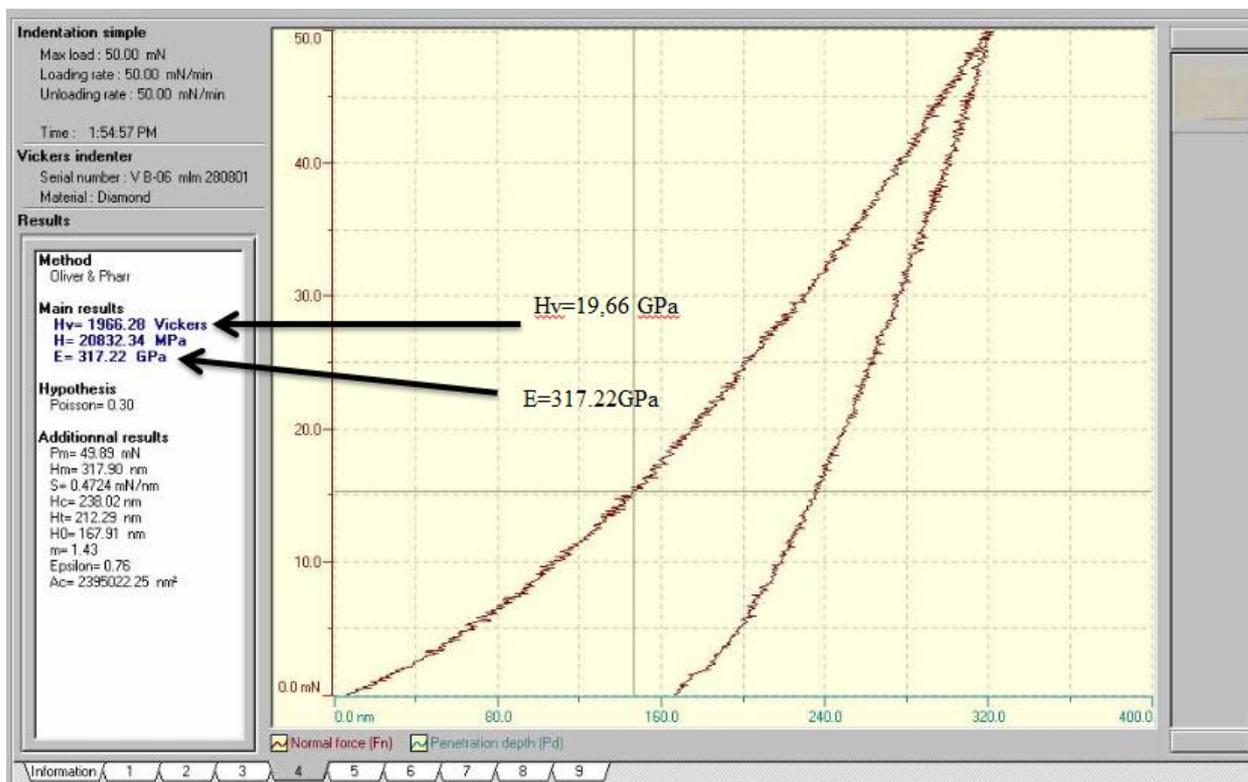


Рисунок 4.2.1 фотография интерфейса нанотвердомера с экспериментальной кривой «нагрузка-разгрузка». Подложка VK8

При динамическом нагружении в зависимости от материала подложки нанотвердость, модуль упругости (E) и упругое восстановление (W_e) с увеличением толщины покрытия изменяются по-разному данные представлены в таблице № 4.2.1

Таблица №4.2.1 Физико-механические свойства наноструктурных тонких пленок TiN

| N | Расстояние, см | H_v GPa | | E GPa | | W_B % | |
|---|----------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|
| | | Вакуумно-дуговой метод | Магнетронный метод | Вакуумно-дуговой метод | Магнетронный метод | Вакуумно-дуговой метод | Магнетронный метод |
| 1 | 5 | 3463.62 | 1966.28 | 562.74 | 317.22 | 50,8 | 47,3 |

| | | | | | | | |
|---|----|---------|---------|--------|--------|------|------|
| 2 | 18 | 3167,03 | 1878,36 | 322,16 | 298,24 | 52,6 | 43,3 |
| 3 | 31 | 2834,08 | 1623,42 | 302,66 | 254,12 | 48,1 | 44,6 |
| 4 | 44 | 2376,42 | 1623,42 | 249,96 | 254,12 | 49,2 | 41,2 |
| 5 | 57 | 1726,68 | 1623,42 | 140,82 | 254,12 | 46,8 | 38,7 |
| 6 | 70 | 1523,33 | 1623,42 | 116,51 | 254,12 | 44,6 | 35,6 |

4.3 Сравнительный анализ адгезионных свойств поверхности TiN исходного твердого сплава ВК8, и после проведения напыления двумя методами

Адгезионные свойства являются важной характеристикой покрытий. Они могут быть описаны рядом параметров - силой трения и коэффициентом трения, силой сцепления с подложкой, магнитудами акустической эмиссии. Регистрация значений последнего параметра позволяет точно определить положение первых трещин на царапине, а также начало различных стадий разрушения. Особенно важным это становится тогда, когда анализируемые покрытия имеют малую толщину, а ширину царапины трудно измерить без привлечения прецизионных методов исследования.

В некоторых случаях полученное покрытие имеет настолько плохую адгезию, что невозможно описать и измерить ни один вышеприведенный параметр.

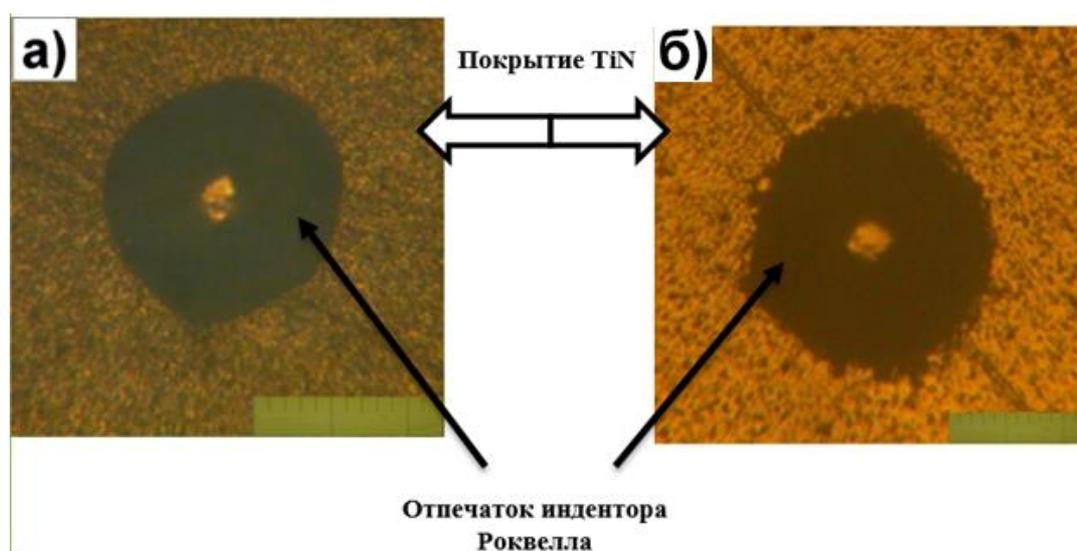


Рисунок 4.3.1 Оценка адгезии покрытия TiN полученного вакуумно-дуговым (б) и магнетронным методами (а)

На фото наглядно видно что покрытие полученное при помощи магнетронного метода (рисунок 4.3.1а), обладает более высокой адгезионными свойствами чем вакуумно-дугового метода (Рисунок 4.3.1.б). Граница отпечатка у магнетронного метода являются более четкими чем у дугового метода. Исходя из этого можно предположить что покрытие при магнетронном методе подходит под класс стандарта HF1 т.е покрытие отличное, а покрытие при вакуумно-дуговом методе подходит под класс HF2

Результаты измерения адгезионных свойств представлены в таблице №4.3.1

Таблица 4.3.1 Результаты измерения адгезионных свойств

| № Образца | Расстояние, см | Шкала градации качества | |
|-----------|----------------|-------------------------|--------------------|
| | | Вакуумно-дуговой метод | Магнетронный метод |
| 1 | 5 | HF6 | HF1 |
| 2 | 18 | HF5 | HF2 |
| 3 | 31 | HF3 | - |
| 4 | 44 | HF4 | - |
| 5 | 57 | HF2 | - |
| 6 | 70 | HF2 | - |

При сравнении адгезионных свойств методом Роквелла двумя методами видно, что адгезионные свойства у магнетронного метода превосходит вакуумно-дуговой метод. Однако Роквелл тест позволяет определить адгезионные свойства лишь качественно. Для более детального анализа был проведен скретч-тест.

Для сравнения адгезионных свойств покрытия TiN на твердом сплаве BK8, при помощи двух методов напыления был проведен скретч-тест, по результатам

которых были показаны кривые зависимости акустической эмиссии от силы нормального нагружения. Скретч-тест проводился на приборе CSEM Instruments Micro-Scratch-Tester. Были измерены акустическая эмиссия и сила трения индентора. Данные по экспериментальным кривым акустических сигналов от тензодатчика установленного на индентора, были построены с помощью программы Scratch Software, а также на редакторе Origin Graph v 8.5.1 и приведены в таблице №....

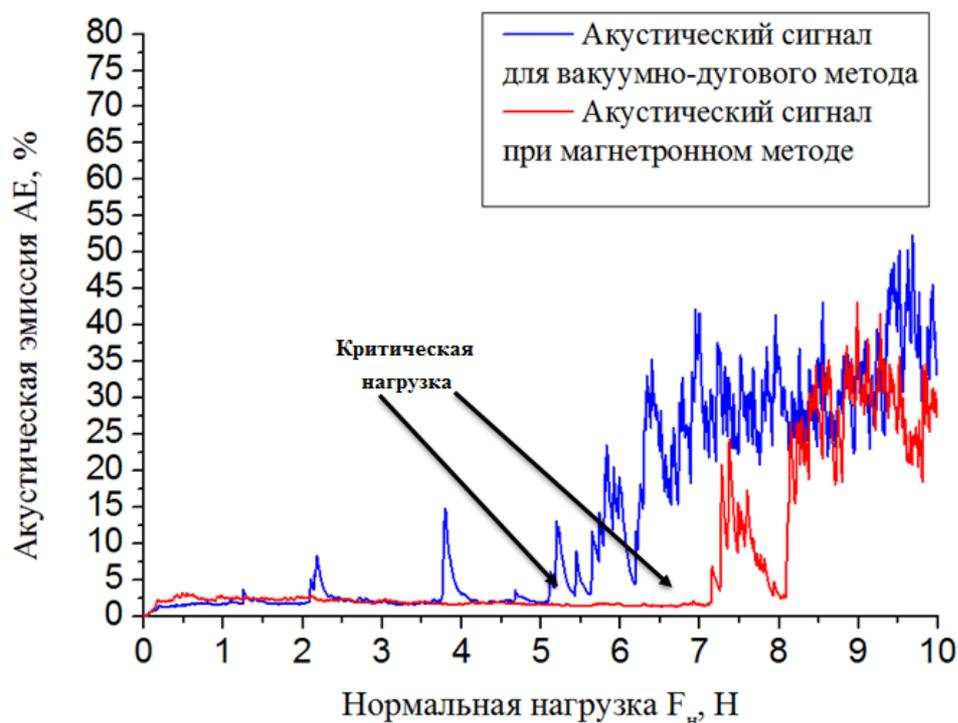


Рисунок 4.3.2 Зависимость акустической эмиссии АЕ(%) от силы нагружения F_n , (Н) для покрытия TiN для образца ВК8 при помощи двух методов напыления, на расстоянии 30 см от испарителя. I_d - 50 А при вакуумно-дуговом методе, при магнетронном методе ток накала I_d -1.8

Из результатов скретч-теста видно, что адгезионные свойства при вакуумно-дуговом данном нанесении покрытия TiN, являются не лучшими. Покрытие практически сразу начало отходить от подложки из твердого сплава ВК8 при нагрузке 4Н. При нагрузке 6,3Н покрытие разрушилось. Когда при проведении скретч-теста для покрытия TiN при магнетронном методе напыления, по кривым акустической эмиссии можно наблюдать, что разрушение покрытия

данного образца происходит при нагрузке 7Н. Исходя из данных сделанных скретч тестом напрашивается вывод что адгезионные свойства при магнетронном методе на 10% будут лучше, чем при вакуумно-дуговом методе нанесения покрытия TiN. Результаты образцов при скрет-тесте представлены в таблице № 4.3.2

Таблица 4.3.2 Данные образцов при двух методах напыления TiN

| № образца | Расстояние, см | Критическая нагрузка, Fп | |
|-----------|----------------|--------------------------|--------------------|
| | | Вакуумно-дуговой метод | Магнетронный метод |
| 1 | 5 | 1,5 | 1,69 |
| 2 | 18 | 2 | 2,2 |
| 3 | 30 | 4 | - |
| 4 | 44 | 5 | - |
| 5 | 57 | 5.5 | - |
| 6 | 70 | 6.3 | - |

ВЫВОДЫ

В данной работе содержатся анализ необходимых для понимания механизмов повышения износостойкости и функциональной прочности вакуумных ионно-плазменных износостойких покрытий на основе нитрида титана. На примере покрытия TiN, нанесенных вакуумно-дуговым и магнетронным методами получены экспериментальные данные, по которым можно сделать следующие выводы:

- 1) При нанесении покрытия TiN вакуумно-дуговым методом на поверхности подложки из твердого сплава ВК8, осаждается капельная фракция титана. Капельная фракция образуется в результате эрозии катода в дуговом разряде и серьезно отражается на свойствах покрытия (однородность, шероховатость поверхности, адгезионные свойства). Получить схожее по физико-механическим свойствам покрытия без образования на поверхности микрокапель позволяет магнетронный метод.
- 2) Наибольшие значения микротвердости поверхности образцов из сплава ВК8 было обнаружено, на расстоянии 40 см при вакуумно-дуговом методе нанесения покрытия TiN. При напылении магнетронным методом микротвердость несколько снижается, и наилучший показатель наблюдается на 5 см от мишени.
- 3) По данным наноиндентирования образцы после напыления вакуумно-дуговым методом имеет гораздо более высокую нанотвердость и микротвердость, по сравнению с образцами после магнетронного напыления.
- 4) Экспериментальные данные свидетельствуют, что адгезионная прочность пленок на подложках после напыления магнетронным методом выше примерно на 10% чем при вакуумно-дуговом методе
- 5) Динамическое исследование по методу калотест показало, что при вакуумно-дуговом методе рост толщины покрытия со временем значительно выше, чем при магнетронном методе. При напылении TiN

образцов на одинаковом расстоянии от испарителя (мишени) в течении 45 минут, покрытие при дуговом методе имеет толщину примерно в 1.5 раза больше.

- 6) Образование покрытия в плазме дугового разряда на образцах из твердого сплава ВК8 происходит в интервале от 30 до 70 см до поверхности испарителя. В тоже время магнетронный метод позволяет осаждать покрытия TiN при расстоянии между подложкой и мишенью в интервалах от 5 до 30 см
- 7) В ходе сравнения двух методов нанесения покрытия TiN, на твердый сплав ВК8 были сделаны выводы что наиболее оптимальным вариантом для нанесения покрытия на тонкую кромку режущего инструмента, не смотря на некото

ПРИЛОЖЕНИЕ

Форма задания для раздела магистерской диссертации
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

| | |
|---------------|----------------------------|
| Группа | ФИО |
| 4AM51 | Султанов Алмаз Сагинтайулы |

| | | | |
|---------------------|-------------|---------------------------|----------------|
| Институт | ИФВТ | Кафедра | ФВТМ |
| Уровень образования | магистр | Направление/специальность | Машиностроение |

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

- | | |
|--|--|
| 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих | |
| 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов | |
| 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования | |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

- | | |
|---|--|
| 1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ | |
| 2. Разработка устава научно-технического проекта | |
| 3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок | |
| 4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности | |

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

- | |
|---|
| 1. «Портрет» потребителя результатов НТИ |
| 2. Сегментирование рынка |
| 3. Оценка конкурентоспособности технических решений |
| 4. Диаграмма FAST |
| 5. Матрица SWOT |
| 6. График проведения и бюджет НТИ |
| 7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ |
| 8. Потенциальные риски |

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

Задание выдал консультант:

| | | | | |
|-----------|----------------|---------------------------|---------|------|
| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| доцент | Черепанова Н.В | К.ф.н | | |

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|--------|----------------------------|---------|------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 4AM51 | Султанов Алмаз Сагинтайулы | | |

Глава 1 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

1.1 Предпроектный анализ. Потенциальные потребители результатов исследования

В современном производстве находит широкое применение повышение эксплуатационных характеристик деталей из конструкционной стали за счет обработки поверхности. Методы нанесения упрочняющих и защитных покрытий позволяют достаточно успешно решать проблемы повышения надежности и увеличения срока службы деталей, работающих в самых разных условиях. Этому способствует широкий спектр материалов, используемых для нанесения покрытий, таких как металлы, сплавы с особыми свойствами, керамики и эмали. А также создание различных композиций на поверхности, т.е. получение покрытий из композиционных материалов.

При упрочнении поверхности без образования покрытия требуемые свойства модифицированной поверхности получают за счет изменения структуры, фазового состояния и химического состава поверхностного слоя деталей. Многолетний опыт показал, что практически нет каких-либо ограничений при выборе дополнительных элементов, вводимых в поверхностный слой (ХТО, диффузионная металлизация, ионная имплантация). Это позволяет либо проводить целенаправленное легирование материала поверхностного слоя, либо формировать в поверхностном слое структурное изменение материала (вводить дефекты кристаллической решетки, обеспечивать выделение второй фазы в т.ч. карбиды, нитриды и т.д.).

Дополнительные возможности получения поверхности деталей с заданными свойствами открываются при использовании комбинированных методов обработки поверхности. В основе данного подхода лежит идея комплексного использования достоинств и нивелирование недостатков разных методов при одновременном или последовательном проведении различных технологических процессов.

В данной связи большой интерес представляет комбинированная обработка поверхности конструкционной стали в газоразрядной плазме.

Комбинированный метод заключается в нанесении на поверхность конструкционной стали тонкой пленки металлов образующих нитриды, в частности твердого сплава ВК8, алюминия, титана. Нагрев образцов, в плазме аргона, изотермическая диффузионная выдержка и последующее азотирование в плазме дугового разряда низкого давления. Для нанесения пленки и последующего азотирования целесообразным является использование установки на базе вакуумно-дугового разряда, в которой за один технологический цикл без перегрузки обрабатываемых инструментов можно реализовать все этапы комбинированного упрочнения.

Данная исследовательская работа является пилотной, но полученные результаты позволяют говорить о применении в промышленности данного метода упрочнения поверхностей конструкционных материалов.

Потенциальными потребителями данной технологии являются машиностроительные предприятия, в частности инструментальные заводы, занимающиеся производством режущего инструмента, а также заводы занимающиеся производством различных деталей для триботехнических систем, работающих в условиях увеличенных нагрузок, температур, агрессивных сред.

1.1.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Изменение свойств поверхности в желаемом направлении сегодня проводят, как уже говорилось выше, двумя основными способами: во-первых, нанесением слоев другого материала с необходимыми свойствами в виде пленочного покрытия на формообразующую поверхность детали, во-вторых, изменением состава поверхностной зоны металла в результате диффузионных процессов, приводящих к образованию нового структурно фазового состояния, отличного от сердцевины. Одним из популярных методов диффузионного изменения свойств поверхности на сегодняшний день является азотирование, при котором повышаются сопротивление усталости, коррозионная стойкость, теплостойкость, твердость и износостойкость..

Поэтому, в связи с решением задач по экономии материалов, с одновременным достижением заданных механических эксплуатационных свойств поверхностного слоя, а также интенсификации производства разработка новых технологических операций химико-термической обработки (ХТО) является актуальной проблемой в современном машиностроении.

Предлагаемая нами технология по упрочнению поверхности конструкционных материалов комбинированным вакуумным методом в плазме дуговых разрядов, состоящим из легирования некоторыми металлами и азотом, позволяет намного эффективней решать проблему упрочнения, в сравнении с традиционными методами.

Технология комбинированной обработки в плазме дуговых разрядов дает преимущества по следующим параметрам:

- простота и высокая производительность процесса при низких трудозатратах и ресурсоемкости;

- экологическая безопасность процесса и улучшение условий производства;
- оптимизация энергоэкономических параметров процессов.

Таблица 1.1 Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

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

| | | | | | |
|--------------|----------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| Итого | 1 | 37 | 33 | 3,65 | 3,25 |
|--------------|----------|-----------|-----------|-------------|-------------|

К1 – методы комбинированная обработки поверхности металлов
К2 – традиционные методы азотирования

Выводы: по результатам анализа конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения глядя на Таблицу 5.1 можно сделать вывод о превосходстве К1-метод оптимизированного нанесения покрытия TiN при помощи двух методов нанесения покрытий

1.1.2 SWOT-анализ

Одним из эффективных средств сокращения расходов металлов при сокращении высокого уровня производительности металлообработки является применение азотированных деталей и механизмов с износостойкими покрытиями.

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

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

Таблица 1.2 Матрица SWOT

| | <p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Возможность варьировать технологические факторы эксперимента(температуру, давление, легирующие материалы)</p> <p>С2. Высокая производительность</p> <p>С3. Снижение себестоимости изделия</p> <p>С4. Увеличение срока службы деталей и механизмов</p> | <p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Не отработана до конца технология комбинированной обработки деталей и механизмов.</p> <p>Сл3.Вероятность получения брака</p> |
|---|---|--|
| <p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ и ИСЭ СО РАН(т.е использование научного оборудования)</p> <p>В2. В связи с последними политическими событиями наблюдается тенденция на импортозамещение в данной</p> | <p>С1В2 – вероятность расширения кол-ва поставщиков (снижение себестоимости изделия)</p> <p>С1В3 - улучшение технологии в производство за счет изменения параметров и режимов комбинированной обработки</p> <p>С2В2 – позволяют при</p> | <p>В1Сл4 –новейшее оборудование, позволит на ранних стадиях исследование, выявить и предотвратить появление брака</p> |

| | | |
|----------|-----------------------|--|
| отрасли. | наличии спроса быстро | |
|----------|-----------------------|--|

| | | |
|---|---|---|
| <p>В3. Возможность внедрения технологии в производство</p> <p>В4. Участие в грантах</p> <p>В5. Так как группа имеет знания и опыт в данном направлении, то если возможность расширить номенклатуру обрабатываемых изделий</p> | <p>нарастить объемы производства</p> <p>С3В2, С4В2- качество и стоимость изделия с упрочнённым поверхностным слоем в результате комбинированной обработки будет являться конкурентным преимуществом на российском рынке</p> | |
| <p>Угрозы:</p> <p>У1. Вероятность появления более выгодных предложений на рынке, так как в данном направлении ведется большое количество</p> <p>У3. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой</p> | <p>С1У1-возможность изменения параметров и режимов комбинированной обработки, что позволит создавать новые и более качественные конкурентоспособные изделия.</p> | - |

1.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Согласно таблице 1.3 выявилось, что оценочные баллы готовности научного проекта к коммерциализации и уровень имеющихся знаний у разработчика не высоки. Перспективность данного проекта, к сожалению, является ниже средней.

Таблица 1.3 Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

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

| | | | |
|-----|--|---|---|
| 8. | Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки | 1 | 1 |
| 9. | Определены пути продвижения научной разработки на рынок | 2 | 1 |
| 10. | Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки | 2 | 1 |
| 11. | Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок | 1 | 1 |
| 12. | Проработаны вопросы использования | 3 | 1 |

| | | | |
|-----|---|----|----|
| | услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот | | |
| 13. | Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки | 3 | 1 |
| 14. | Имеется команда для коммерциализации научной разработки | 1 | 1 |
| 15. | Проработан механизм реализации научного проекта | 2 | 1 |
| | ИТОГО БАЛЛОВ | 31 | 21 |

1.1.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического

исследования

Выделяют следующие методы коммерциализации научных разработок:

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

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

.2 Инициация проекта

Цели и результат проекта

В получении результата заинтересованы следующие стороны, представленные в таблице 1.2.

Таблица 1.2 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 | Сокращение времени на производство. Большая производительность. Снижение себестоимости |
| Потребители | Низкая стоимость изделий по сравнению, с изделиями полученными стандартными методами. Качество покрытий. |
| Государство | Возможность импортозамещение |

В таблице 1.2 представлена информация об иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 1.2 Цели и результат проекта

| | |
|--------------------------------------|---|
| Цели проекта: | При разных режимах обработки исследовать структуру и свойства азотированного слоя деталей подвергнутых комбинированной обработке. |
| Ожидаемые результаты проекта: | Получение оптимальных режимов комбинированной обработки, которые обеспечат необходимые свойства получаемых упрочнённых слоев. |
| Критерии приемки результата проекта: | Законченная научно-исследовательская работа, авторы которой имеют список публикаций и участие на международных конференциях. |
| Требования к результату проекта: | Требование: |
| | Результат проекта должен иметь актуальное теоретическое и практическое значение |
| | Наглядные иллюстрации (графики и диаграммы) |
| | Выполнения проекта в срок |

Организационная структура проекта

Таблица 1.2.1 Рабочая группа проекта

| № п/п | ФИО, основное место работы, должность | Роль в проекте | Функции | Трудозатраты, час. |
|----------|--|---------------------------------|---|-----------------------|
| 1 | Гончаренко Игорь Михайлович | <i>Заказчик проекта</i> | Укрупненный анализ проектов по показателям сроков, освоению затрат и финансированию | - |
| 2 | Гончаренко Игорь Михайлович | <i>Руководитель проекта</i> | Отвечает за реализацию проекта, координирует деятельность участников проекта | 1024 |
| 3 | Султанов Алмаз Сагинтайулы | <i>Исполнитель по проекту 1</i> | Отвечает за работу оборудования, выполняет технологические работы | 1624 |

Ограничения и допущения проекта

Таблица 1.2.5 Ограничения проекта

| Фактор | Ограничения/ допущения |
|---|-------------------------------|
| 3.1. Бюджет проекта | |
| 3.1.1. Источник финансирования | ИСЭ СО РАН |
| 3.2. Сроки проекта: | |
| 3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом | 25.10.2015 |
| 3.2.2. Дата завершения проекта | 14.06.2017 |

1.3 Планирование управления научно-техническим проектом

1.3.1 Иерархическая структура работ проекта

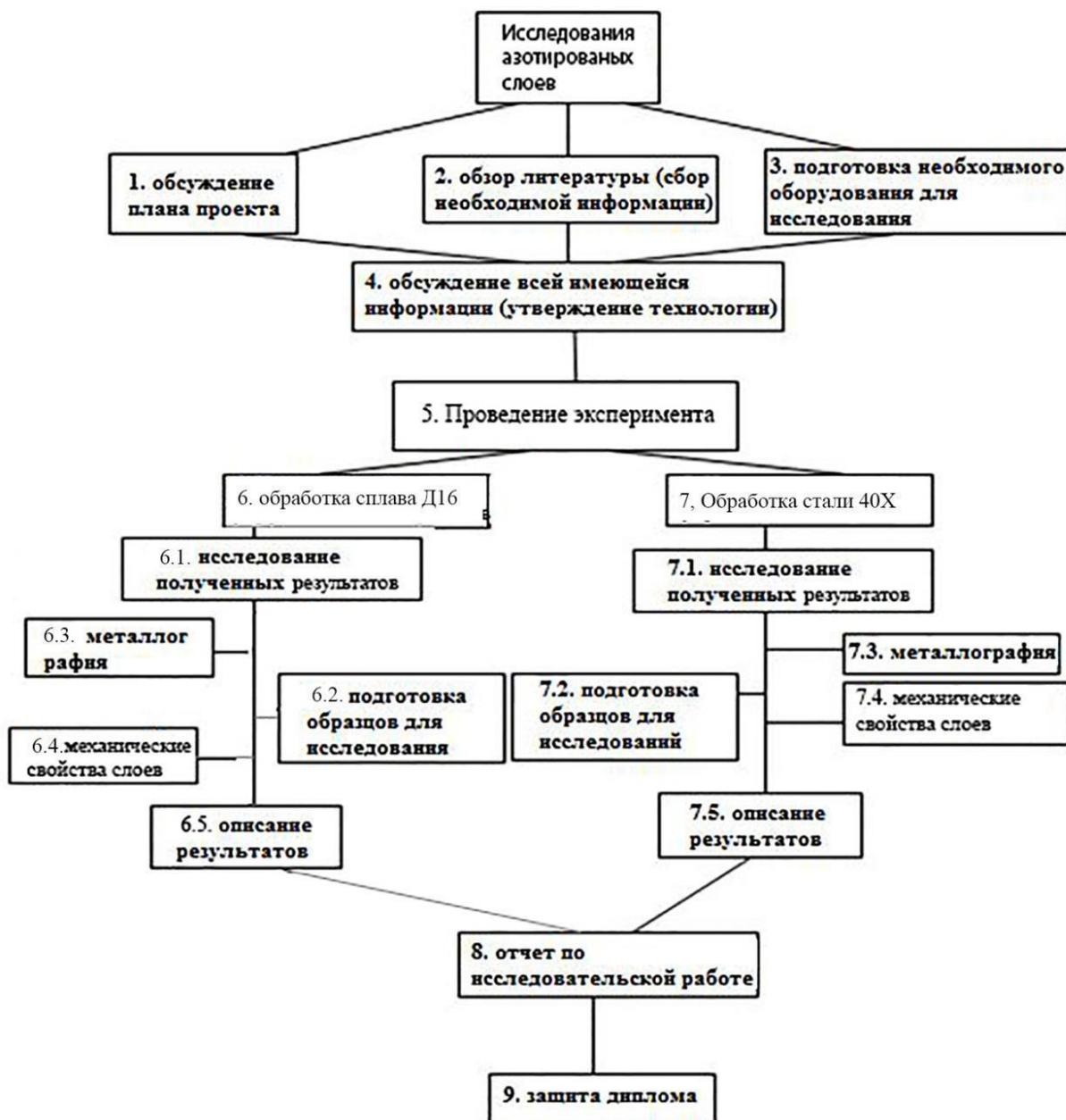


Рисунок 1.1. Иерархическая структура работ проекта

1.3.2 Контрольные события проекта

Таблица 1.8 Контрольные события проекта

| № п/п | Контрольное событие | Дата | Результат (подтверждающий документ) |
|------------------------|--|-------------|--|
| 1 | Обсуждение плана проект | 10.09.15 | Утверждение участников исследования |
| 2 | Обзор литературы (сбор необходимой информации) | 15.09.15 | Отчет по изученной литературе. |
| 3 | Получение напыленных | 25.10.15 | Обработанные образцы |

| | | | |
|----|---|----------|--|
| | материалов (сплав ВК8) | | |
| 4 | Исследование материалов | 8.11.15 | Исследуемые образцы, иллюстрации (графики, картинки) |
| 5 | Описание результатов | 23.11.15 | Отчет |
| 6 | Получение покрытий материалов (сплав ВК8) | 20.01.16 | Обработанные образцы |
| 7 | Исследование | 13.02.17 | Исследуемые образцы, иллюстрации (графики, картинки) |
| 8 | Описание результатов | 14.03.17 | Отчет |
| 9 | Отчет по исследовательской работе | 15.04.17 | Отчет |
| 10 | Защита диплома | 15.06.17 | диплом |

1.3.3 План проекта

Таблица 1.9 Календарный план проекта

| Код работы (из ИСР) | Название | Длительность, рабочие дни | Дата начала работ | Дата окончания работ | Состав участников |
|--|--|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|--|
| 1-2 | Обзор литературы (сбор необходимой информации). Обсуждение плана проект | 22 | 15.09.16 | 15.10.16 | Гончаренко И.М. Султанов А.С. |
| 3-4 | Подготовка необходимого оборудования для исследований. Обсуждение всей имеющейся информации (утверждение технологии) | 7 | 15.10.16 | 25.10.16 | Гончаренко И.М. Султанов А.С. |
| 5 | Проведение эксперимента | 15 | 25.10.16 | 8.11.16 | Гончаренко И.М. Султанов А.С. |



| | | | | | |
|------|--|----|----------|----------|--|
| | | | | | |
| 6 | Обработка сплава ВК8 вакуумно- дуговым методом | | | | |
| 6.1. | Исследование результатов | 6 | 20.01.17 | 26.01.17 | Султанов А.С |
| 6.2. | Подготовка образцов для исследования | | | | |
| 6.3. | Металлография | 10 | 2.02.17 | 11.02.17 | Султанов А.С. |
| 6.4. | Механические свойства упрочнённых слоев | 10 | 12.02.17 | 21.02.17 | Султанов А.С. |
| 6.5. | Описание результатов | 5 | 21.02.17 | 26.02.17 | Султанов А.С. |
| 7. | Обработка сплава ВК8 магнетронным методом | 15 | 27.02.17 | 13.03.17 | Гончаренко И.М. Султанов А.С. |
| 7.1. | Исследование полученных | 10 | 14.03.17 | 23.03.17 | Султанов А.С. |

| | | | | | |
|------|--|-----|----------|----------|------------------|
| | результатов | | | | |
| 7.2. | Подготовка образцов для исследования | | | | |
| 7.3. | Металлография | 10 | 24.03.17 | 2.04.17 | Султанов А.С. |
| 7.4. | Механические свойства упрочнённых слоев | 10 | 3.04.17 | 12.03.17 | Султанов А.С. |
| 7.5. | Описание результатов | 3 | 13.04.17 | 16.04.17 | Султанов А.С. |
| 8. | Отчет по исследовательской работе (написание статей, выступление на конференциях.) | 10 | 16.04.17 | 25.04.17 | Султанов А.С. |
| 9. | Написание дипломного проекта | 20 | 25.04.17 | 15.06.17 | Султанов А.С. |
| 10 | Итого: | 153 | | | |

1.3.4 Бюджет научного исследования

Таблица 1.10 Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

| Наименование | Марка, размер | Кол-во | Цена за единицу, руб. | Сумма, руб. |
|--|---------------|--------|-----------------------|-------------|
| Сталь ВК8 | | 2 кг | 980 | 1960 |
| Катод | | 1 шт. | | 400 |
| Титановый катод | | 1 шт. | | 600 |
| Баллон аргона | | 20 л | 750 | 15000 |
| Баллон азота | | 20 л | 460 | 9200 |
| Алмазная паста | | 3 | 1200 | 3600 |
| Наждачная бумага | | 20 | 45 | 900 |
| Всего за материалы | | | | 17432 |
| Транспортно-заготовительные расходы (3-5%) | | | | 1000 |
| Итого | | | | 18432 |

Амортизационные отчисления

$$H_a = (1/T) \cdot 100\% - \text{норма амортизации. } A = S \cdot H_a \cdot t$$

Таблица 1.11 Амортизационные отчисления

| № п/п | Наименование оборудования | Цена единицы оборудования, руб. | Срок службы, Т, дни | Время эксплуатации, t, дни | Н _а , норма амортизации | Амортизационные отчисления, руб. |
|-------|---|---------------------------------|---------------------|----------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| 1. | Вакуумная ионно-плазменная установка типа ННВ 6.6-И1. | 1300000 | 5475 | 10 | 0,00018 | 2340 |
| 2. | Микроскоп МБР 3 | 300000 | 3650 | 15 | 0,0002 | 900 |
| 3. | Микротвердометр ПМТ-3М | 250000 | 5475 | 10 | 0,00018 | 450 |
| 4. | ИТОГО | | | | | 3690 |

Зарботная плата рабочим рассчитана по тарифным ставкам и отработанному времени

Расчет заработной платы персоналу сведем в таблицу 1.12:

Таблица 1.12 Расчет заработной платы

| Исполнители | Кол-во | З.п., руб./мес. | Количество отработ. дней | Всего з.п, руб. | Дополн. з.п. | Отчисл. на соц. нужды |
|---------------|--------|-----------------|--------------------------|-----------------|--------------|-----------------------|
| Руководитель | 1 | 26480 | 67 | 55823 | 6698 | 16746 |
| Исполнитель 1 | 1 | 9000 | 123 | 36900 | 4428 | 11070 |
| Итого: | | | | 92723 | 11124 | 27816 |

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

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

Отчисления на социальные нужды

Данный раздел включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

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

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

Отчисления на социальные нужды составляет 30%.

Затраты на электроэнергию

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

Таблица 1.13 Затраты на электроэнергию

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

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 1.14.

| Статьи | Затраты, руб |
|--|--------------|
| Основные и вспомогательные материалы | 32320 |
| 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 | 173089,4 |

1.3.5 Матрица ответственности

Таблица 1.15 Матрица ответственности

| Этапы проекта | Руководитель | Исполнитель |
|--|--------------|-------------|
| Обзор литературы (сбор необходимой информации) | ону | и |
| Получение напыляемых материалов | | и |
| Исследование напыляемых материалов | у | ои |
| Получение покрытий | | и |
| Исследование полученных покрытий | у | ои |
| Описание результатов | иус | ои |
| Отчет по исследовательской работе | у | ои |
| Защита диплома | у | ои |

1.3.6 Реестр рисков проекта

| № | 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 уложится в бюджет проекта | 2 | 4 | Средний | Планирование финансирования проекта с учетом повышения цен | Повышение цен поставщиками |
| 2 | Нехватка квалифицированных специалистов | 3 | 4 | Средний | Повышение квалификации кадров | При условии, если уволиться или заболее один из участников проекта |
| 3 | Выпуск продукции низкого качества | 2 | 5 | Средний | Постоянный контроль качества, входе реализации проекта | При условии не верного выполнения технологии изготовления покрытия |

| | | | | | | |
|---|------------------------------|---|---|---------|--|--|
| 4 | Не выполнение в срок проекта | 2 | 4 | Средний | Выполнение в срок отдельных этапов проекта | При условии нехватки квалифицированной рабочей силы, а также не выполнения в срок отдельных этапов проекта |
|---|------------------------------|---|---|---------|--|--|

1.3.7 Оценка сравнительной эффективности исследования

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов

исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

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

Таблица 5.17 Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

| Критерий/ПО | Весовой коэффициент параметра | Материал напыленный | Материал не напыленный |
|--|-------------------------------|---------------------|------------------------|
| Увеличение объема производства | 0,2 | 5 | 3 |
| Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) | 0,1 | 4 | 2 |
| Цена(уменьшение себестоимости продукции) | 0,2 | 5 | 3 |
| Энергосбережение | 0,15 | 4 | 3 |
| Надежность Качество | 0,2 | 4 | 4 |
| Материалоемкость | 0,15 | 4 | 3 |
| Итого | 1 | 4,4 | 3,1 |

$$I_m^a = 0,2*5 + 0,1*4 + 0,2*5 + 0,15*4 + 0,2*4 + 0,15*4 = 4,4$$

$$I_m^p = 0,2*3 + 0,1*2 + 0,2*3 + 0,15*3 + 0,2*4 + 0,15*3 = 3,1$$

При оценке сравнительной эффективности изделий подвергнутых комбинированной обработке, которые являются результатом данного проекта, можно сделать вывод, что проект является более ресурсоэффективным по сравнению с конкурентами.

Вывод к пятому разделу

В данной главе были проанализированы и рассчитаны экономическая эффективность научного исследования.

Проанализирован целевой рынок и произведено сегментирование потенциальных покупателей разрабатываемых технологий или готового продукта. Также проведен SWOT-анализ и составлена итоговая матрица SWOT-анализа. Приведен план проекта и рассчитан бюджет научного исследования.

Таким образом, можно сделать вывод, что предложенный научно-исследовательский проект имеет не только научную новизну, но и заявляет о своей экологичности, энергоэффективности и экономической эффективности.

Форма задания для раздела «Социальная ответственность»

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

| | |
|---------------|----------------------------|
| Группа | ФИО |
| 4AM51 | Султанов Алмаз Сагинтайулы |

| | | | |
|----------------------------|---|----------------------------------|----------------|
| Институт | Институт Физики Высоких Технологий | Кафедра | ФВТМ |
| Уровень образования | магистр | Направление/специальность | Машиностроение |

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:
- вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)
 - опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)
 - негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)
 - чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)

2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:
- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
 - действие фактора на организм человека;
 - приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
 - предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)

2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности
- механические опасности (источники, средства защиты);
 - термические опасности (источники, средства защиты);
 - электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);
 - пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)

| | |
|--|--|
| <p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> - защита селитебной зоны - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); - разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. | |
| <p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> - перечень возможных ЧС на объекте; - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий | |
| <p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны | |
| Перечень графического материала: | |
| <p>1) Пути эвакуации 2) План размещения светильников на потолке рабочего помещения</p> | |

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

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Штейнле Александр Владимирович | К.М.Н | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------|---------|------|
| 4АМ51 | Султанов Алмаз Сагинтайулы | | |

ГЛАВА 2 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

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

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

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

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

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

2.1 Техногенная безопасность

2.1.1 Анализ вредных факторов производственной среды

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

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

2.1.1.1 Метеоусловия

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

Микроклимат производственных помещений — это климат внутренней среды данных помещений, который определяется совместно действующими на организм человека температурой, относительной 101 влажностью и скоростью движения воздуха, а также температурой окружающих поверхностей (ГОСТ 12.1.005 "Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны").

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

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

1) воздействие высокой температуры быстро утомляет, может привести к перегреву организма, тепловому удару или профессиональным заболеваниям.

2) низкая температура – местное или общее охлаждение организма, причина простудных заболеваний или обморожения.

3) высокая относительная влажность при высокой температуре способствует перегреву организма; при низкой усиливает теплоотдачу с поверхности кожи, что ведет к переохлаждению.

4) низкая влажность вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Проект относится к работе средней тяжести (категория Пб), микроклиматические условия на рабочих местах должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 6.1.1:

Таблица 2.1.1 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 |

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

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

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

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.

2.1.1.2 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 6.1.1.2).

Таблица 2.1.1.2 Перечень веществ используемых при работе [ГОСТ 12.1.007-76]

| Рабочий газ | ПДК р.з. мг/м ³ | Класс опасности | Агрегатное состояние |
|-------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------|
| Ar | 2,4 | 2 | газ |
| N | 2 2 | 2 | газ |

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

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

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

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

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

2.1.1.3 Производственный шум

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

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

ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должно превышать 80 дБА. Уровень шума на рабочем месте инженеров, работающих с компьютером не должен превышать 50дБА, а в залах обработки информации на вычислительных машинах - 65дБА (ГОСТ 12.1.003-83).

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

Во время действия шума, превышающего 85...90 Гц, чувствительность слуха снижается. Происходит временное понижение порога слышимости (ВПП), которое исчезает после окончания воздействия шума. Это снижение называется слуховой адаптацией и является защитной реакцией организма. Действие шума на организм человека не ограничивается воздействием на орган слуха. Патологические изменения, возникшие под влиянием шума, рассматривается как шумовая болезнь. Это снижение называется слуховой адаптацией и является защитной реакцией организма.

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

Если невозможно уменьшить шум, действующий на работников, до допустимых уровней, то необходимо использовать средства индивидуальной защиты (СИЗ) - 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. Для предохранения от воздействия шума с общим уровнем 120 дБ и выше рекомендуется применять шлемофоны, оголовья, каски, которые снижают уровень звукового давления на 30–40 дБ в диапазоне частот 125–8 000 Гц.

2.1.1.4 Расчет уровня шума

Одним из неблагоприятных факторов производственной среды в ИВЦ является высокий уровень шума, создаваемый печатными устройствами, оборудованием для кондиционирования воздуха, вентиляторами систем охлаждения в самих ЭВМ.

Для решения вопросов о необходимости и целесообразности снижения шума необходимо знать уровни шума на рабочем месте оператора.

Уровень шума, возникающий от нескольких некогерентных источников, работающих одновременно, подсчитывается на основании принципа энергетического суммирования излучений отдельных источников:

$$L_{\Sigma} = 101g \sum_{j=1}^{j=n} 0^{0.1L}$$

где L_i – уровень звукового давления i -го источника шума; n – количество источников шума.

Полученные результаты расчета сравниваются с допустимым значением уровня шума для данного рабочего места. Если результаты расчета выше допустимого значения уровня шума, то необходимы специальные меры по снижению шума. К ним относятся: облицовка стен и потолка зала звукопоглощающими материалами, снижение шума в источнике, правильная планировка оборудования и рациональная организация рабочего места оператора.

Уровни звукового давления источников шума, действующих на оператора на его рабочем месте, представлены в таблице 2.1.1.4.

Таблица 2.1.1.4 Уровни звукового давления различных источников

| Источник шума | Уровень шума, дБ |
|---------------|------------------|
| Жесткий диск | 40 |
| Вентилятор | 45 |
| Монитор | 17 |
| Клавиатура | 10 |
| Принтер | 45 |
| Сканер | 42 |

Обычно рабочее место оператора оснащено следующим оборудованием: винчестер в системном блоке, вентилятор(ы) систем охлаждения ПК, монитор, клавиатура, принтер и сканер.

Подставив значения уровня звукового давления для каждого вида оборудования в формулу (6.1.4), получим:

$$L_{\Sigma} = 10 \cdot \lg (10^4 + 10^{4.5} + 10^{1.7} + 10^1 + 10^{4.5} + 10^{4.2}) = 49,5 \text{ дБ}$$

Полученное значение не превышает допустимый уровень шума для рабочего места оператора, равный 65 дБ (ГОСТ 12.1.003-83). И если учесть, что вряд ли такие периферийные устройства как сканер и принтер будут использоваться одновременно, то эта цифра будет еще ниже. Кроме того, при работе принтера непосредственное присутствие оператора необязательно, т.к. принтер снабжен механизмом автоподачи листов.

2.1.1.5 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.

На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

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.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 8$ м, ширина $B = 6$ м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1,0$ м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 200 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \times B,$$

где A – длина, м;

B – ширина, м.

$$S = 8 \times 6 = 48 \text{ м}^2$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $p_c=50\%$ свежепобеленного потолка $p_n=70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_3 = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z= 1,1$.

Выбираем лампу дневного света ЛД-40, световой поток которой равен $\Phi_{\text{ЛД}} = 2600$ Лм. Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda=1,1$ расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p,$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса, h_p – высота рабочей поверхности над полом. Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР: $h_n = 3,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3.5 - 1 - 0.5 = 2.0 \text{ м}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda * h = 1.1 * 2 = 2.2 \text{ м}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = \frac{B}{L} = \frac{6}{2.2} = 2.72 \sim 3$$

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{A}{L} = \frac{8}{2.2} = 4$$

Общее число светильников:

$$N = Na * Nb = 3 * 4 = 12$$

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

$$l = \frac{L}{3} = \frac{2.2}{3} = 0.7 \text{ м}$$

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

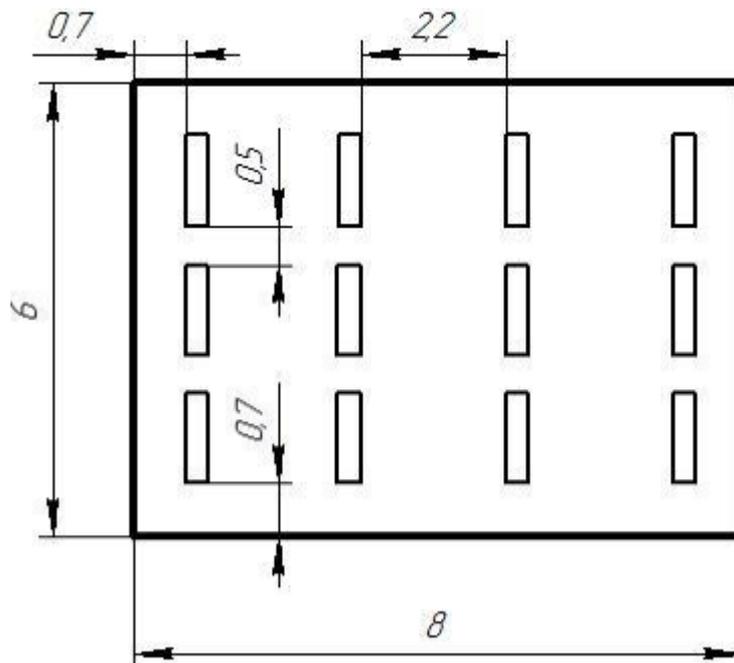


Рисунок 2.2 План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A * B}{h * (A + B)} = \frac{8 * 6}{2.0 * (8 + 6)} = 1.714$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $p_n = 70 \%$, $p_c = 50\%$ и индексе помещения $i = 1,6$ равен $\eta = 0,47$.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\Pi} = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{150 \cdot 8 \cdot 6 \cdot 1.5 \cdot 1.1}{24 \cdot 0.47} = 2106.38 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\Pi}}{\Phi_{\text{ЛД}}} * 100\% \leq 20\%;$$

$$\frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\Pi}}{\Phi_{\text{ЛД}}} * 100\% = \frac{2600 - 2106,38}{2600} * 100\% = 18,9\%$$

Таким образом: $-10\% \leq 18,9\% \leq$,необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

2.1.2 Анализ опасных факторов производственной среды

2.1.2.1 Факторы электрической природы

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

Поражение электрическим током возникает при соприкосновении с электрической цепью, в которой присутствуют источники напряжения или источники тока, способные вызвать протекание тока по попавшей под напряжение части тела. Обычно чувствительным для человека является пропускание тока силой более 1 мА. Кроме того, на установках высокого

напряжения возможен удар электрическим током без прикосновения к токоведущим элементам, в результате утечки тока или пробоя воздушного промежутка. Сила поражения зависит от мощности разряда, от времени воздействия, от характера тока (постоянный или переменный), от состояния человека — влажности рук и т. п., а также от места соприкосновения и пути прохождения тока по организму.

Последствия поражением электрически током:

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

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

применение специальных защитных средств - переносных приборов и приспособлений; организация безопасной эксплуатации электроустановок.

Окружающая среда (влажность и температура воздуха, наличие заземленных металлических конструкций и полов, токопроводящей пыли и др.) оказывает дополнительное влияние на условия электробезопасности. Степень поражения электрическим током во многом зависит от плотности и площади контакта человека с токоведущими частями.

2.1.2.2 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.), высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям, технологическим

аппаратам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой.

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.

По условиям электробезопасности установки, используемые при выполнении работы, относятся к категории установок, работающих с напряжением до 1000В. Устройства относятся к 1 классу, так как прибор имеет только рабочую изоляцию, но при этом имеет контакт для присоединения защитного провода.

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

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

Рабочее помещение относится ко второй категории по степени опасности поражения электрическим током – помещения с повышенной опасностью, поскольку в помещении находится сырые с относительной влажностью воздуха более 75%; жаркие с температурой воздуха, длительно превышающей +30°C; с полами из токопроводящих материалов; с большим количеством выделяющейся токопроводящей технологической пыли, оседающей на проводах и проникающей внутрь электроустановок; с

размещением электроустановок с металлическими корпусами, имеющих соединение с землей, металлоконструкций зданий и технологического оборудования, допускающих одновременное соприкосновение с ними. Безопасные номиналы $I \leq 0.1 \text{ A}$, $U \leq 36 \text{ В}$, $R_{\text{заземления}} \leq 4 \text{ Ом}$.

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

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.

2.1.2.3 Давление

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

Объекты котлонадзора - это паровые и водогрейные котлы, сосуды, работающие под давлением, и трубопроводы пара и горячей воды. Перечисленное оборудование и трубопроводы представляют собой объекты повышенной опасности, разрушение которых в эксплуатации может вызвать большой материальный ущерб, а также другие тяжелые последствия.

В лаборатории используются сосуды и аппараты, работающие под давлением. Они являются источником повышенной опасности для окружающих. Основная опасность заключается в том, что в случае разрушения такого сосуда или аппарата может произойти значительное высвобождение энергии вследствие адиабатического расширения газа или пара, - так называемый физический взрыв. Так, мощность взрыва (разрыва) сосуда вместимостью 1 м^3 , в которой находится воздух под давлением 1 МПа (10 кгс/см^2), составляет 13 МВт . Если в сосуде при тех же условиях находится водяной пар, то мощность взрыва уже будет около 200 МВт [43]. В результате такого взрыва могут произойти значительные разрушения и тяжелые травмы людей.

К работам по эксплуатации, хранению и транспортировке баллонов с газами допускаются лица, прошедшие медицинское освидетельствование, вводный инструктаж, первичный инструктаж, обучение и стажировку на рабочем месте, проверку знаний требований охраны труда, имеющие удостоверение на право обслуживания сосудов под давлением.

- Персонал, обслуживающий сосуды под давлением, обязан:
- Выполнять только ту работу, которая определена рабочей инструкцией.

- Выполнять правила внутреннего трудового распорядка
- Правильно применять средства индивидуальной и коллективной защиты.
- Соблюдать требования охраны труда.
- Немедленно извещать своего непосредственного или вышестоящего руководителя о любой ситуации, угрожающей жизни и здоровью людей, о каждом несчастном случае, происшедшем на производстве, или об ухудшении состояния своего здоровья, в том числе о проявлении признаков острого профессионального заболевания (отравления);
- Проходить обучение безопасным методам и приемам выполнения работ и оказанию первой помощи пострадавшим на производстве, инструктаж по охране труда, проверку знаний требований охраны труда.
- Проходить обязательные периодические (в течение трудовой деятельности) медицинские осмотры (обследования), а также проходить внеочередные медицинские осмотры (обследования) по направлению работодателя в случаях, предусмотренных Трудовым кодексом и иными федеральными законами.
- Уметь оказывать первую помощь пострадавшим от электрического тока, от лазерного излучения и при других несчастных случаях.
- Уметь применять средства первичного пожаротушения.

При эксплуатации, хранении и транспортировке баллонов с газами возможны воздействия следующих опасных и вредных производственных факторов:

- возможность взрыва в результате неправильной эксплуатации или неисправности оборудования (баллоны с газом, газогенератор);
- газы (длительное вдыхание ацетилен может повлечь за собой головокружение или отравление; пропан-бутан-метановая смесь при больших концентрациях может вызвать отравление); физические перегрузки.

Каждый работник должен быть обеспечен спецодеждой, спецобувью и другими средствами индивидуальной защиты в соответствии с Типовыми отраслевыми нормами бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты и Коллективным договором.

В случаях травмирования или недомогания необходимо прекратить работу, известить об этом руководителя работ и обратиться в медицинское учреждение. За невыполнение данной инструкции виновные привлекаются к ответственности согласно законодательству Российской Федерации.

Техника безопасности при работе с газовыми баллонами:

- Не бросайте баллон.
- Не ударяйте по баллону.
- Поставьте баллон в такое место, в котором он не будет нагреваться, нельзя забывать, что в баллоне находится взрывчатое вещество.
- Держите баллоны в специальном проветриваемом ящике (вне дома) или специальном помещении, не ниже уровня земли (баллонный газ тяжелее воздуха и при утечке собирается в низинах).
- Укрепите баллоны вертикально (не лежа и не наклонно).
- Использованные баллоны не накапливайте, а сразу отправляйте на перезарядку: в каждом баллоне остается немного жидкого газа, возможны утечки, которые дадут в присутствии искры очень большой эффект.
- Не беритесь незащищенными руками за вентиль, чтобы закрыть его при нагревании баллона или появившемся небольшом язычке пламени у вентиля.
- Накиньте на горячий вентиль мокрую плотную ткань, и уже затем закройте вентиль.
- Помните, утечку газа можно обнаружить с помощью мыльной пены. При хранении баллонов в помещении персонал обязан знать, что:
 - а) баллон должен быть в вертикальном положении и надежно укреплен;

б) двери шкафа должны быть оборудованы так, чтобы не было доступа посторонним;

в) хранение баллонов с кислородом и горючими газами

ЗАПРЕЩАЕТСЯ!

г) на баллоны, используемые в работе, должны быть накручены колпаки.

При транспортировке баллонов эксплуатирующий персонал должен знать, что:

а) при транспортировке баллонов должны быть предусмотрены меры, предотвращающие падение, повреждение и загрязнение баллонов;

б) перевозка баллонов должна производиться на рессорном транспорте или на автокарах в горизонтальном положении обязательно с прокладками между баллонами. В качестве прокладок могут применяться деревянные бруски с вырезанными гнездами для баллонов, а также веревочные или резиновые кольца толщиной не менее 25мм по два кольца на баллон;

в) баллоны во время перевозки должны укладываться вентилями в одну сторону;

г) при транспортировании баллонов с ядовитыми и горючими газами на боковых штуцерах вентилях баллонов должны быть поставлены заглушки;

д) разрешается перевозка баллонов в специальных контейнерах, а также без контейнеров, в вертикальном положении обязательно с прокладками между ними и ограждением от возможного падения;

е) при перевозке баллоны должны быть защищены брезентом от действия осадков и солнечных лучей;

ж) погрузка, выгрузка и переноска баллонов должна производиться с осторожностью, не менее чем двумя рабочими;

з) снимать баллоны с автомашины разрешается только вниз башмаком.

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

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

2.2 Региональная безопасность

Охрана окружающей среды — комплекс мер, предназначенных для ограничения отрицательного влияния человеческой деятельности на природу.

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. Необходимо заключить договор с компанией, вывозящей мусор, чтобы она обеспечивала доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов

2.2.1 Защита атмосферы

Энергопотребление устройств, работающих почти круглые сутки, имеет особое значение. Ведь те продукты, у которых этот показатель велик, не только обходятся покупателям дороже, но и наносят вред окружающей среде. В настоящий момент наиболее строгим из существующих мировых стандартов экологичности для компьютерной техники является стандарт ТСО-99.

Вопрос об утилизации старого оборудования предусматривается российским законодательством [10] и международными требованиями стандартов «ISO 14001:2004» (система экологического менеджмента) и «ISO 9001:2008» (система менеджмента качества).

К сфере защиты ЗА и рационального использования природных ресурсов относится и экономия ресурсов, в частности, энергетических. Реальным вкладом здесь может стать экономия электрической и тепловой энергии на территории предприятия. Во-первых, это улучшает экономические показатели деятельности предприятия (уменьшение расходов на электротепловую энергию). Во-вторых, экономия энергии означает уменьшение газа, мазута, угля, сжигаемого в топках котлов ТЭС и электроустановок (котельных) промпредприятий города Томска и области и одновременное уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Несмотря на кажущуюся малость вклада в энергосбережение и в защиту атмосферного воздуха от загрязнения массовое движение в этом направлении, в том числе, в быту, принесет значимый эффект.

2.3 Организационные мероприятия обеспечения безопасности.

Эффективный и безопасный труд возможен только в том случае, если производственные условия на рабочем месте отвечают всем требованиям международных стандартов в области охраны труда.

Существуют следующие требования по организации рабочих мест:

1. Рабочий стол должен регулироваться по высоте в пределах 680-800 мм; при отсутствии такой возможности его высота должна составлять 725 мм. Оптимальные размеры рабочей поверхности столешницы - 1400x1000 мм. Под столешницей рабочего стола должно быть свободное пространство для ног с

размером по высоте не менее 600 мм, по ширине - 500 мм, по глубине - 650 мм. На поверхности рабочего стола для документов необходимо предусматривать размещение специальной подставки, расстояние которой от глаз должно быть аналогично расстоянию от глаз до клавиатуры, что позволяет снизить зрительное утомление.

2. Рабочий стул (кресло) должен быть снабжен подъемно-поворотным устройством, обеспечивающим регулицию высоты сидений и спинки; его конструкция должна предусматривать также изменение угла наклона спинки. Рабочее кресло должно иметь подлокотники. Регулировка каждого параметра должна легко осуществляться, быть независимой и иметь надежную фиксацию. Высота поверхности сидения должна регулироваться в пределах 400-500 мм. Ширина и глубина сиденья должна составлять не менее 400 мм. Высота опорной поверхности спинки должна быть не менее 300 мм, ширина - не менее 380мм. Радиус ее кривизны в горизонтальной плоскости - 400 мм. Угол наклона спинки должен изменяться в пределах 90-110о к плоскости сиденья. Материал покрытия рабочего стула должен обеспечивать возможность легкой очистки от загрязнения. Поверхность сиденья и спинки должна быть полумягкой, с нескользящим, не электризующим и воздухопроницаемым покрытием.

3. На рабочем месте необходимо предусматривать подставку для ног. Ее длина должна составлять 400 мм ширина - 300 мм. Необходимо предусматривать регулировку высоты в пределах от 0 - 150 мм и угла её наклона в пределах 0 - 200. Она должна иметь рифленое покрытие и бортик высотой 10 мм по нижнему краю.

Виды деятельности подразделяются на следующие группы:

1. группа А - работа по считыванию информации с ВДТ или ПЭВМ с предварительным запросом;
2. группа Б - работа по вводу информации;
3. группа В - творческая работа в режиме диалога.

Для видов деятельности устанавливаются три категории (I, II, III) тяжести и напряженности работы с ПЭВМ и ВДТ

Время непрерывной работы для I кат. - 2 часа; для II и III категории 1,5-2 часа. Сумма времени регламентированных перерывов при 8 - часовом рабочем дне составляет для I кат. - 30 мин.; для II кат. - 50 мин.; для III кат. - 70 мин.

Режим труда и отдыха операторов, работающих с ЭВМ, должен быть следующим: через каждый час интенсивной работы необходимо устраивать 15 - минутный перерыв, при менее интенсивной через каждые 2 - часа. Эффективность регламентируемых перерывов повышается при их сочетании с производственной гимнастикой. Производственная гимнастика должна включать комплекс упражнений, направленных на восполнение дефицита двигательной активности, снятие напряжения мышц шеи, спины, снижение утомления зрения. Она проводится в течение 5 - 7 мин. 1 - 2 раза в смену

2.4 Особенности законодательного регулирования проектных решений.

1. ГОСТ 54 30013-83 Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности
2. ГОСТ 12.4.154-85 "ССБТ. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты"
3. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны
4. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 "Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)".
5. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
6. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
7. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

8. ГОСТ 12.4.123-83. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования.
9. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
10. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
11. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования. ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности
12. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха
13. ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.
14. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.
15. ГОСТ 12.4.154. Система стандартов безопасности труда. Устройства, экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры
16. СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение"

Графические материалы

- 1) Освещенность на рабочем месте
- 2) Пути эвакуации

2.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае разморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще

Зачастую такие угрозы оказываются ложными. Но случаются взрывы и в действительности.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

2.5.1 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 А_н, Б_н, В_н, Г_н и Д_н.

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.).

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Средства индивидуальной защиты:

- Защитные пластиковые каски.
- Защитные очки.
- Щиты ограждения.
- Различные респираторы и противогазы.
- Рукавицы.
- Предохранительные пояса и страховочные канаты.
- Комплекты для защиты работающего от электрической дуги (термостойкие костюмы).

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.

Ионные и лазерные установки должны компоноваться, а входящие в их состав блоки размещаться с учетом мер, обеспечивающих помехоустойчивость управляющих и измерительных цепей этих установок от электромагнитного воздействия, вызываемого флуктуацией газового разряда, обуславливающей характер изменения нагрузки источника питания (по ПУЭ, 1999).

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

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

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

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

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

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

- Периодически проверять состояние пожарной безопасности объекта;

- Обеспечить содержание в постоянной исправности систем противопожарной защиты (противопожарного водопровода, установок сигнализации, автоматического пожаротушения и др.). В случае неисправности или выхода из строя этих систем принимать меры к приведению их в работоспособное состояние;

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

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

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 6.5, предварительно плотно закрыв за собой дверь.



Рисунок 2.5.1 План эвакуации

Организационные защитные мероприятия

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

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

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

Меры по технике безопасности на рабочем месте.

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

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

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

4. При замене (установке) плат расширения необходимо пользоваться браслетом заземления, либо перед осуществлением этой операции избавиться от накопленного на теле статического заряда посредством прикосновения к заниженной части компьютера, в противном случае возможно повреждение чувствительных к статике микроэлементов ЭВМ.

5. Для исключения поражения электрическим током запрещается: часто включать и выключать компьютер без необходимости, прикасаться к экрану и к тыльной стороне блоков компьютера, работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании мокрыми руками, работать на средствах вычислительной техники и периферийном

оборудовании, имеющих нарушения целостности корпуса, нарушения изоляции проводов, неисправную индикацию включения питания, с признаками электрического напряжения на корпусе, класть на средства вычислительной техники и периферийном оборудовании посторонние предметы.

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

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

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

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

10. 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.

Вывод к шестому разделу

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

Приложение №2

Глава 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ.

Раздел на иностранном языке

Студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------|---------|------|
| 4АМ51 | Султанов Алмаз Сагинтайулы | | |

Консультант кафедры ФВТМ :

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----------------|---------------------------|---------|------|
| доцент | Гончаренко И.М. | кан.тех.наук | | |

Консультант – кафедры ИЯФТ :

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|---------------|---------------------------|---------|------|
| старший преподаватель | Квашнина О.С. | | | |

Chapter 2. EXPERIMENTAL EQUIPMENT AND METHODOLOGY.

This chapter considers the method for film thickness measurement using Calotest, method for measurement of film's mechanical properties using Screech-Test, method for film microhardness determination by means of microhardness gage.

Equipment which was used in the experiments on TiN coatings deposition is also presented. We will also describe the research material and its characteristics.

2.1 Research material

Hard VK-8 alloy was used as a research material for preparation of test samples which were planned to be covered with an experimental TiN coating. The chemical composition of the VK hard alloy is presented in Table 2.1.

Table 2.1 Chemical composition of VK8 steel

| Chemical element | % |
|------------------|----|
| Tungsten (W) | 92 |
| Cobalt (C) | 8 |

The parameters of hard VK8 alloy are:

- hardness ($H = 16-17$ GPa),
- Young's modulus ($E = 610$ GPa),
- alloy is resistant deformation,
- high durability at compression,
- increased heat resistance to 1000 °C.

Hard VK8 alloy is a common tool material; this alloy is applied in tool industry. It is also used for processing by cutting of constructional materials including:

1. Cutters
2. Mills
3. Drills, etc.

Literature analysis has revealed that such characteristics of metal materials as fatigue durability, wear resistance, friction, and corrosion depend on the properties and structure of material's surface layers.

It is known that in course of operation, cutting tools are strongly prone to wearing and the destruction begins on the surface of a tool. Therefore, improvement of structure

surfaces is of great importance if we want to improve the durability and lifetime of a product. Application of a tool previously covered with a thin (2 microns) TiN coating, will provide:

1. increased productivity of 20-200% when processing by cutting;
2. increased tool's service life by 1.5-10 times

At present, owing to the use of multicomponent cathodes, TiN-based coatings have gained wide application as protective and wear-resistant coatings due to their high hardness, heat resistance, and high adhesive properties.

During the research 6 types of the polished plates of 2x2 mm in size made of VK8 alloy have been used. The average cost of plates of hard VK8 alloy varies in the range from 90 to 109 rubles per item.

2.2. Preparation of experimental samples

When testing physical and mechanical properties of a surface obtained by depositing nitride coatings in vacuum arc discharge, it is necessary to properly prepare the place of measurement. It is necessary to perform previous polishing of the surface to provide most correct interpretation of the obtained results. Process of samples preparation is very labor- and time-consuming.

The samples were prepared in the following way:

1. Cutting of samples from hard VK8 alloy into plates of 2x2 in size,
2. Polishing using a round grinding machine, with an application of four types of cloths: 1. EM14A20N-SFK grain size (200-250 microns), 2. EM14A6N SFK grain size (63-80 microns), 3. SFK EM14A R600 grain size (20-28 microns), 4. EM14A R2000 grain size (5-7mkm). Polishing needs to be carried out with back and forth motions. When changing a cloth, it is necessary to change the direction of a section by 90 ° relatively to the previous one. It is necessary to polish the plate until total disappearance of notches, remained from the previous cloth.
3. Washing and degreasing of samples by means of alcohol
4. Polishing of samples with diamond pastes of two types: 1) Diamond paste ACM28/20; roughness parameter of the processed surface (0.32-0.05 microns); 2) Diamond paste ACM1/0; roughness parameter of the processed surface (0.25-0.02 microns).

To polish the samples with a diamond paste, it is necessary to apply little paste on a fabric (coarse calico) placed on a plain surface (glass). After applying the paste onto a fabric (coarse calico), gasoline is added and polishing is performed according to the polishing procedure sequence. After polishing, the samples are treated with alcohol.

After mechanical treatment, the roughness of a sample surface is $R_a \sim 0.02$ microns.

The above-mentioned stages of sample surface preparation are necessary for obtaining correct measurement results of surface hardness, determination of roughness value, thickness of a nitride zone.

2.3. Arrangement of equipment for obtaining wear-resistant coatings and features of its operation parameters

2.3.1 Experimental equipment for obtaining NNV.6.6-I1 nitride coatings

Experiments aimed at coating production were conducted using the equipment of the Institute of High Voltage Electronics and the NNV 6.6-I1 setup. Magnetron and arc evaporator were fixed on both devices.



Fig. 2.3.1 General view of the experimental setup.

- Key parameters: the volume of the vacuum chamber – 0.25 m³;
- current of PINK plasma generator - to 10 A; current of arc evaporator - to 150 A;
- voltage of negative bias - up to 1000 V; operating pressure – 0.1 - 1 Pa;
working gas – nitrogen - argon mixture.

The mixture of gases:

- partial pressure of nitrogen ($P_{N_2} = 8 \times 10^{-4}$ Torr);
- chamber pressure (Nitrogen + Argon) (Torr) – 1.8×10^{-3}
- current of arc evaporator discharge (A) – 50-150;
- negative bias (V) – from 0 to -1000;
- temperature of the samples (°C) – up to 150-400;
- time of evaporation (min.) – 10-300.

2.3.2. Magnetron and power supply of the magnetron



Fig. 2.3.2.1 General view of the magnetron

Magnetron sputter deposition is highly effective in comparison with other methods of coating deposition. The schematic diagram of the magnetron spray system of the planar type with a round cathode is given in Fig. 2.3.2.1. Magnetron discharge is ignited between cathode 1 and anode 9 which is typically the grounded walls of the vacuum chamber. The discharge is powered from a source of constant or pulsed voltage of power supply. The formed in magnetron discharge ions of nitrogen accelerate in the cathode fall of the potential and bombard the target from the deposited material, as a result of which there is a scattering of its surface and formation of a flow of the scattered atoms towards a substrate. Electrons emitted from the target under the influence of bombardment are captured by a magnetic field and make a difficult cycloidal motion in closed paths in the crossed electrical and magnetic fields. Moving in a magnetic trap at the surface of the cathode, the electron manages to ionize repeatedly atoms of working gas of nitrogen before losing the most part of energy and will reach the anode (a fixing flange). Due to plasma localization, at the surface of the cathode high density of the ionic current (two orders higher, than in normal diode systems of pulverization) and the big power density dispersed on a target is reached. Increase in speed of sputtering with simultaneous lowering of working pressure allows us to reduce considerably the contamination of films with outside impurities. Localization of electrons near the target prevents their bombarding of substrates, which reduces temperature and radiation defects in the obtained structures. The principal advantages of magnetron sputtering systems are rather high deposition rates (2.3 microns/h), and possibility of obtaining uniformly thick films on substrates of a 2-micron area.

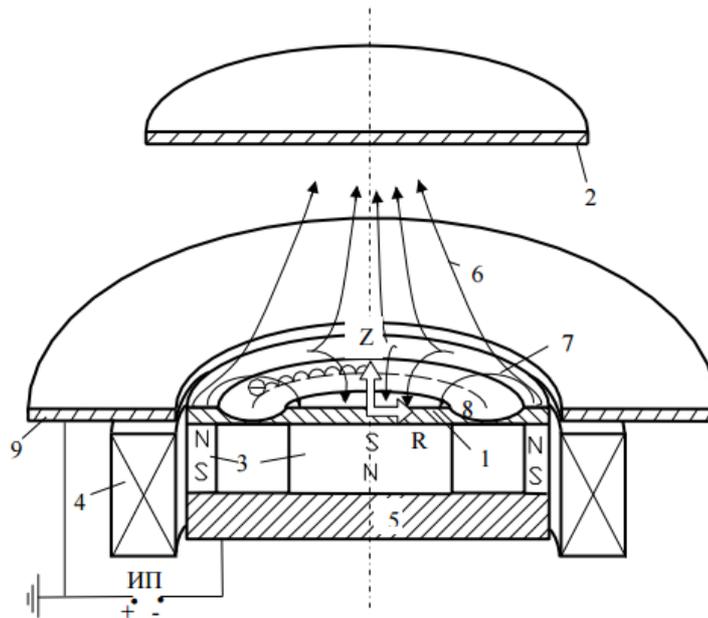


Fig. 2.3.2.2 Simplified scheme diagram of magnetron sputtering system.

1-sputtered cathode, 2 - substrate, 3-permanent magnets, 4 - electromagnet, 5 - magnetic conductor, 6-unbalanced lines of magnetic field, 7-balanced lines of magnetic field, 8 - sputtering zone of cathode, 9 - anode (fixing flange), PS - power supply.

Characteristics of the magnetron are presented in Table. 2.3.2

Table 2.3.2 Magnetron parameters

| Parameters | Values | | |
|--|-----------------------------------|---------|---------|
| Diameter of the cathode | 75 mm | | |
| Cathode thickness | 5 mm | | |
| Magnetic system | Permanent magnets (SmCo,NdFeB) | | |
| Magnetic field on the surface of the cathode | 350-600 Gn | | |
| Cooling type | Direct/indirect | | |
| Efficiency of the cathode | 30-45% | | |
| Working gases | Ar,O ₂ ,N ₂ | | |
| Working pressure | 0,1-1 Pa | | |
| Dispersion power | 1 kWt | 1.5 kWt | 2.5 kWt |
| Density of ionic current on a substrate | 0.01-1 mA/cm ² | | |
| Relation of a stream of atoms to a stream of ions on a substrate | 0.1-0.5 | | |

2.3.3 Power supply of APEL-M-3BP-1000-2 magnetron



Fig. 2.3.3.1 General view of APEL-V-3BP-1000-2 power supply

This power supply was developed in the *Prikladnaya Elektronika* company in the city of Tomsk. [3]

This supply is applied in the process of deposition of thin-film coatings in vacuum.

The power supply is used as a power supply of adjustable direct current of the magnetron sputtering systems of up to 3.00 kW that is used in processes of vacuum deposition of thin-film coatings.

The distinctive feature of this power supply is that the magnetron is powered not by a negative direct current, but bipolar asymmetric current. That is, the negative current still feeds the magnetron at the moments of the target material sputtering, and the positive current - at the moments of arcing or pauses between the pulses, depending on the power supply operation mode, which leads to removal of charges from the target surface in reactive processes and reduces probability of arcs formation.

The technical parameters are presented in Table 2.3.3.1.

| | |
|------------------------|----------------------------------|
| Supply voltage | 3-phase network 380/220 B, 50 Gc |
| Maximum power | 25 kWt |
| Voltage output | to 750 W |
| Type of voltage output | Pulse and periodic |
| Frequency of pulses | to 1 kGc |
| Cooling type | air |

The experiment was conducted at the following parameters. The parameters of the experiment are specified in Table 2.3.3.2

Table 2.3.3.2 - Experiment parameters

| | |
|--|---------------------------------------|
| Working pressure P, millimeter of mercury column | $1 \times 10^{-3} - 2 \times 10^{-3}$ |
| Discharge rate, A | 1,8, 2,4, 3 |
| Bias voltage, W | 100-300 |
| Processing time, t, min | 30-180 |
| Mix of gases 50% | Ar,N ₂ |

2.3.4. Parameters of evaporator cathodes for coating production

In this paper, variants of synthesis of thin nitride coatings from multicomponent plasma generated by vacuum and arc sputtering of TiN system cathodes are discussed.

A titanium cathode was used in our experiment. The titanium density is 4.506-4.516 g/cm³, the melting point - 1668⁰C, the boiling temperature - 3535⁰C. It is characterized by excellent resistance to corrosion in corresponding oxidizing environment. Thus, it is widely used in constructional materials; Brinell hardness of titanium is 175 MPa.

The cathode is produced by turning of the titanium bar. It is applied to depositing coatings on the basis of titanium.

2.3 Methods for examining physical and mechanical properties of coatings

2.3.1 Method for hardness determination

Dynamic and statistical methods were used to determine hardness.

2.3.1.2 Micro- and nanoindentation for determination of hardness and elastic properties of materials

Hardness is a property of a surface layer to show resistance to elastic and plastic deformation at local contact influences from other harder body (indenter) having a certain form and size. The state standard of hardness on Vickers's scales is GET 31-06. [10]

The nanoindentation was carried out at loadings of 50mn and 10mn, loading rate of 10mn/min and 50mn/min by means of diamond Vickers's indenter preliminary calibrated on quartz with a known elastic modulus $E=72\text{GPa}$, $N=9.5\text{GPa}$. A diamond pyramid with an angle of 120 degrees on top was used as the indenter.

The test included measurement and recording on a hard drive of the control computer of the "loading-unloading" curve which is mathematically processed further on.

In this method the size of a print is determined by the maximum depth of the diamond indenter h_m penetration, accepting that the diamond indenter did not deform upon indentation. Thus, in this method hardness is determined based on the depth of the recovered print, which is similar to the Rockwell's method, but without preliminary loading of the indenter. This is the main difference of this method from the methods of hardness measurement offered by Vickers and Brinell where such parameters of the recovered print as diagonal or diameter are visually measured.

The Oliver-Farr's method is based on selection of parameters of the power function that describes the experimental dependence of depth of the indenter penetration (h) and the contact area (A) on the applied load (P) calculated hardness (H) and Young modulus (E) for these data. The hardness values are calculated as a relation of the maximum load to the area of a projection of the recovered print, and the elastic modulus is defined based on the area of a projection of a print, contact rigidity $S=dP/dh$ calculated according to the unloading curve, the assumed Poisson coefficient, and the indenter parameters. The initial section of the unloading curve is approximated by the power function of P_{max} where P_{max} is a maximum load, h is a penetration depth of the indenter, h_f – penetration depth of the indenter after removal of loading.

Coefficient of elastic recovery is an extent of recovery of a material after removal of loading from the indenter. That part is recovered that relates to elastic deformation. It is

calculated based on the "loading– unloading" curve:
$$= \frac{h_{max} - h_{ch}}{h_{max}}$$

For preliminary definition of differences in properties of coatings one of the best and inexpensive methods is microhardness measurement. This method yields quite exact results of the measured microhardness with a margin error of $\pm 30 \text{ kg/mm}^2$ which allow us to reveal that coatings with various structure have sometimes significantly different values of microhardness.

In this paper preliminary measurements of hardness of substrates before sputtering and samples with deposited coatings of various structures were performed using PMT-3 microhardness gage, by indenting a diamond Vickers pyramid under constant load (in our case $P=50\text{g}$ and 100g). Along the length of the print's diagonal it was possible to calculate Vickers microhardness H_v , using the source [8]:

$$H_v = 1,8544 \frac{P}{d^2} \quad (2.4.2.1)$$

where P – load on a diamond pyramid,

d – print's diagonal.

At the same time depth of penetration of the indenter into a sample is $h = \frac{d}{7}$.

Therefore, this method is not applicable for coatings less than 2 microns thick since microhardness values of the substrate strongly affect the microhardness values of the coating.

To specify the values of hardness of the obtained coatings and determination of their elastic properties (i.e. ratios between elastic and plastic deformation according to the registered curves of loading and unloading of the indenter), the samples were investigated by nanoindentation method using NHT-S-AX-000X nanohardness gage made by CSEM Instruments.

The diamond indenter affected the coating surface with continuously increasing loading $P = 0 - 100$ mn; at the same time the maximum depth of penetration of the indenter into a coating material was ≈ 380 nanometers for a coating with NS and ≈ 510 nanometers for a coating with MS. With such penetration depths the effect of a substrate on nanohardness measurement of coatings was reduced.

2.3.1.3 Method for determination of coating thickness using Calotest.

The determination of coating thickness was carried out by means of the Calotest using the CSEM Calotest device.

The device is intended for measurement of thickness in the range of 0.1-50 microns including multilayered coatings. Determination of thickness is carried out by results of measurement of geometrical parameters of the wear hole left after the rotation of a steel ball of 25.4mm diameter on the surface on the selected region of a sample with use of a diamond suspension. After such mechanical impact on a sample there is a characteristic spherical print as a visible border between the coat layer and the fragment of a substrate. The parameters such as diameters of the prints on the substrate and in a coating can be used to determine the diameter of the ball, penetration depth in a substrate t , general depth of penetration T and coating thickness s . It is important to select the speed and time of rotation of a steel ball so that in the course of interaction a part of the substrate material is worn out. The device for spherical polishing provides measurement of film thickness in the range from 100 nanometers to 50 microns in a short time (1-5 minutes).

The print parameters including prints' diameters on the substrate and in a coating, can be used to determine the diameter of a ball, penetration depth in the substrate t [2.3.1.3.1], general depth of penetration T [2.3.1.3.2] and coating thickness s [2.3.1.3.3].

$$t = R - \frac{1}{2}\sqrt{4R^2 - d^2} \quad (2.3.1.3.1)$$

$$T = R - \frac{1}{2}\sqrt{4R^2 - D^2} \quad (2.3.1.3.2)$$

$$s = T - t \quad (2.3.1.3.3)$$

2.4. Measurement techniques of film's adhesive properties

The scratch-test and Rockwell's method are the most common methods for determining adhesive properties of a coating due to high precision of determination of adhesive coupling durability.

2.4.1 Techniques for measuring adhesive properties of a film using Scratch-test and Rockwell test

The Rockwell test method is performed by examination of the print obtained using the 2140 TP device for hardness measurement by Rockwell's method, at indentation into a coating-base composition of a diamond cone with an angle at top of 120° and a curve radius of 0.02 mm. At hardness of the substrate material from 54 HRC to 65 HRC, the loading, with which indentation is performed, must be 150 kg (1471 N). In case of testing of harder materials (with a hardness of more than 70 HRC, for example, hard alloys like VK8), test loading has to be lowered to 60 kg. Otherwise, the diamond cone will lose its working capacity, i.e. it will collapse.

The result of adhesive durability is analyzed by visual comparison at a microscope zooming of $\times 200$ (time) of the obtained prints with a 6-point scale presented in the standard (Figure 2.4.2.1)

Determination of adhesive properties by Rockwell's method is qualitative, and allows us to estimate properties of a coating only visually. The scratch-test allows us to evaluate the adhesive properties of the obtained coatings in more detail (quantitatively).

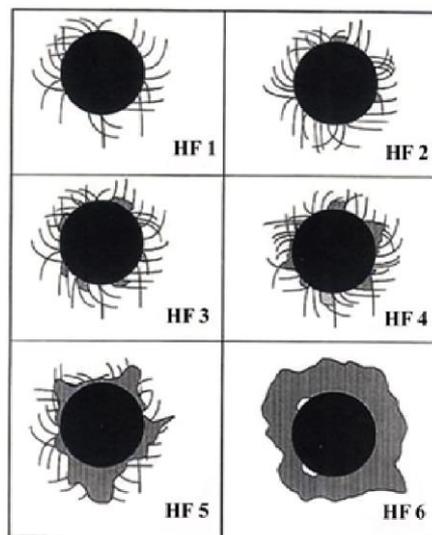


Fig. 2.4.2.1 Scale of adhesive durability quality determined by Rockwell – test method: HF1 HF2 - excellent adhesion; HF5 HF6 – unacceptable adhesion

Determination of the adhesive properties of coatings by scratch-test method was performed using the CSEM Micro Scratch Tester device.

The principle of a scratch-test is as follows: tension is created on the boundary of the coating-substrate section by indentation in a sample surface of a firm tip with force. FN tension causes the emergence of cracks, chips and flaking of coatings. During the indenter's movement at a specified speed and with increasing loading, the computer records the data given by several sensors, namely: forces of loading, intensity of acoustic emission, friction force, coefficient of friction, scratch depth. The smallest value of loading at which destruction occurs is called critical loading. The value of critical loading was registered with every change of acoustic emission and by means of visual observation of destruction using a microscope with $\times 200$ zooming and MMP-4 microscope with $\times 333$ zooming. The tests were carried out under the following conditions: loading was from 0.9 to 50 N at a speed of 10 mm/min, length of scratch was 10 mm. The curve radius of a diamond indenter was 20 microns.

Thus, this method allows not only determination of adhesive properties, but also examination of the destruction mechanism.

Conclusions to the second section:

1. The choice of the material as a research object for realization of the set objectives is reasonable.
2. It is found out that the vacuum electro-physical equipment used for the experiments has the necessary working parameters, with a possibility of their adjustment in the necessary range; it also provides sufficient productivity.
3. Conditions in the working zone for samples processing are sufficient to ensure modification of a material's surface free from contamination of an organic and oxidizing origin.
4. The methods and devices that enable us to conduct the experiments and to compare physical and mechanical characteristics of the experimental samples surface including hardness, elasticity modulus, adhesion of TiN films, are proposed and justified.

Список литературы

- 1) Верещака А. С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями / А. С. Верещака. – М.: Машиностроение, 1993. – 336 с.
- 2) Верещака, А. С. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями / Верещака А. С., И. П. Третьяков. – М.: Машиностроение, 1986. – 192 с.
- 3) Табаков, В. П. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями на основе сложных нитридов и карбонитридов титана / В. П. Табаков. – Ульяновск: УлГТУ, 1998. – 123 с.
- 4) Гришин С.Д. Плазменные ускорители / С.Д. Гришин, Л.В. Лесков, Н.П. Козлов. – М.: Машиностроение, 1983. – 231 с.
- 5) Дороднов А.М., Петросов В.А. О физических принципах и типах вакуумных технологических плазменных устройств / А.М. Дороднов, В.А. Петросов // Журнал технической физики. – 1981. – Т. 51, is. 3. – С. 504-524.
- 6) Вакуумные дуги. Под ред. Дж. Лафферти. – М.: Мир, 1982. – 432 с.
- 7) Лунёв В.М. Исследование некоторых характеристик плазмы вакуумной металлической дуги. I / В.М. Лунёв, В.Д. Овчаренко, В.М. Хороших // Журнал технической физики. – 1977. – Т. 47, вып. 7. – С. 1486-1490.
- 8) Кесаев И.Г., Пашкова В.В. Электромагнитная фиксация катодного пятна / И.Г. Кесаев, В.В. Пашкова // Журнал технической физики. – 1959. – Т. 29, № 3. – С. 287-298.)
- 9) Клярфельд Б.Н., Неретина Н.А., Дружинина Н.Н. Разрушение металлов катодным пятном дуги в вакууме / Б.Н. Клярфельд, Н.А. Неретина, Н.Н. Дружинина // Журнал технической физики. – 1969. – Т. 39, № 6. – С. 1061-1064.

- 10) Исследование процессов при имплантации ионов из плазмы непрерывной вакуумной дуги / А.И. Рябчиков [и др.] // Известия вузов. Физика. – 2012. – Т. 55, № 11/2. – С. 189-192.
- 11) Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями / А.С. Верещака. – М.: Машиностроение, 1993. – 336 с.
- 12) Кузьмичёв А.И. Магнетронные распылительные системы / А.И. Кузьмичёв. – К.: Аверс, 2008. – 244 с.
- 13) Данилин Б.С. Магнетронные распылительные системы / Б.С. Данилин, В.К. Сырчин. – М.: Радио и связь, 1982. – 72 с.
- 14) [11] - Savvides N. Unbalanced magnetron ion-assisted deposition and property modification of thin films / N. Savvides, B. Window // J. Vac. Sci. Technol. A. – 1986. – Vol. 4, is. 3. – P. 504-506
- 15) [12] - Соловьёв А.А., Сочугов Н.С., Оскомов К.В. и др. Исследование характеристик плазмы в несбалансированной магнетронной распылительной системе / А.А. Соловьёв [и др.] // Физика плазмы. – 2009. – Т. 35, is. 5. – С. 443-452.
- 16) Stone G.W., Ellis S.G., Cox D.A. et al. A polymer-based, paclitaxel eluting stent in patients with coronary artery disease // N Engl J Med. – 2004. – Vol. 350. – P. 221-231.
 - 17) Локтев Д. Наноструктурные покрытия высокопроизводительного инструмента. «Стружка» №2, 2004г.
- 16) Барвинок, В. А. Управление напряженным состоянием и свойства плазменных покрытий / В. А. Барвинок. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с. 247
- 17) Повышение эффективности применения лезвийных инструментов путем совершенствования технологического процесса нанесения износостойких покрытий: отчет о НИР / рук. В. П. Табаков. – Ульяновск, 1990. – 125 с.

- 18) Тушинский, Л. И. Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий / Л. И. Тушинский, А. В. Плохов. – Новосибирск: Наука, 1986. – 200 с.
- 19) Палатник, Л. С. Механизмы образования и субструктура конденсированных пленок / Л. С. Палатник, М. Я. Фукс, В. М. Косевич. – М.: Наука, 1972. – 320 с.
- 20) Технология тонких пленок / Под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга. Т. 2. – М.: Сов. радио, 1977. – 768 с.
- 21) Jacobson, B. E. Microstructure of PVD-Deposited Films Characterised by Transmission Electron Microscopy / B. E. Jacobson / Films and Coating for Technology. – Sweden: CEI Course, 1981. – P. 691 – 703.
- 22) Thornton, J. A. Coating deposition by Sputtering / J. A. Thornton // Films and Coating for Technology. – Sweden: CEI Course, 1981. – P. 568 – 577.
- 23) Абдулин И.Ш., Ибрагимов, Г.Н. и др. Установка для ВЧ – плазменной обработки. Тез. докладов VI конф. по физике газового разряда. Казань, 23 – 24 июня 1992, ч. 2, с. 117 - 118.
- 24) Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н. Химико – термическая обработка металлов. М.: Metallurgy, 1985, 256с.
- 25) Локтев Д. Наноструктурные покрытия высокопроизводительного инструмента. «Стружка» №2, 2004г.
- 26) Stone G.W., Ellis S.G., Cox D.A. et al. A polymer-based, paclitaxel-eluting stent in patients with coronary artery disease // N Engl J Med. – 2004. – Vol. 350. – P. 221-231.
- 27) Zhitomirsky V.N., Grimberg I., Joseph M.C., Voxman R.L., Weiss B.Z., Matthews A., Goldsmith Vacuum arc deposition of metal/ceramic coatings on polymer substrates // Surface and Coating Technology, 1998, V.108-109, P.160-165.
- 28) Патент РФ №1598757 А1. Зарегистр. в Госреестре 16.11.93г. Чесноков С.М. Широкоапертурный источник ионов.
- 29) S. Veprek, P. Nesladek, A. Neiderhofer. F. Glatz, M. Jilek, M. Sima, Surface and Coating Technology 108-109 (1998) 138.

- 30) Дороднов А.М., Петросов В.А. О физических принципах и типах вакуумных технологических плазменных устройств // ЖТФ.-1981.-Т. 51, вып. 3.- С. 504-524.
- 31) Патент № 701701001, С 2, Н 01, J 36/32, 37/36, С 23С 14/02, Н 05, Н 1/02. ООО «Прикладная Электроника»
- 32) Григорович В.К. Твердость и микротвердость металлов / М.: Наука. - 1976.-231 с.
- 33) Маника И.П., Маникс Я.Е., Муктепавел Ф.О. Определение микротвердости тонких пленок и покрытий / Саласпилс.-1990.-39с.
- 34) С.В. Андреев, Е.В. Петрюк-Пугачев, К.А. Ефимов. Разработка инновационного нанотвердомера. – Санкт-Петербургский Государственный Университет Информационных Технологий Механики и Оптики.
- 35) Oliver W.C., Pharr G.M. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments//J. Mater. Res. – 1992.– Vol. 7, No. 6. – P. 1564-1583.
- 36) Oliver W., Pharr G. Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology//J. Mater. Res. – 2004. – Vol. 19, № 1. – P. 3-20.
- 37) Толмачёва Г.Н., Куприн А.С. Применение метода наноиндентирования для исследования механических свойств сверхтвердых покрытий на основе нитрида титана //ФИП, 2011, т. 9, № 2, – P. 157–163.
- 38) N. Vidakis, A. Antoniadis, N. Bilalis // J. Mater. Process. Technol. 143–144 (2003) – P. 481.
- 39) VDI 3198:1992-08, Coating (CVD, PVD) of Cold Forging Tools. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1992. – P.7