

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

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Оборудование и процессы для нанесения жаростойких покрытий на инструментальные сплавы

УДК 621.793.6:669.018.252

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Ардашева Инкар Сайлауказы		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Старикова Екатерина Васильевна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Раденков Тимофей Александрович			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП
15.04.01 «Машиностроение»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P1	Применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания для создания и обработки новых материалов
P2	Применять глубокие знания в области современных технологий машиностроительного производства для решения междисциплинарных инженерных задач
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с созданием и обработкой материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
P4	Разрабатывать технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование и инструменты для обработки материалов и изделий, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных технологий обработки материалов, нано технологий, создания новых материалов в сложных и неопределенных условиях
Универсальные компетенции	
P6	Использовать глубокие знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P7	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, разрабатывать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
P8	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации

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

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

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

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

ф.м.н., _____ (Подпись) (Дата) (Ф.И.О)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ61	Ардашева Инкар Сайлаукызы

Тема работы:

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

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

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор литературы по теме ВКР; 2. Проведение экспериментов, расчетов; 3. Экспериментальные результаты и их обсуждение; 4. Расчеты ежемесячного расхода на проведение экспериментов и способы уменьшения затрат при сохранении качества получаемых результатов; 5. Анализ вредных и опасных факторов на рабочем месте;
Перечень графического материала	Презентация в формате Microsoft Power Point
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Старикова Екатерина Васильевна
Социальная ответственность	Раденков Тимофей Александрович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Ардашева Инкар Сайлаукызы		

РЕФЕРАТ

Квалификационная работа выпускника представлена на 108 листах машинописного текста, включает 17 иллюстраций, 14 таблиц, 52 источников литературы, 1 приложение.

Ключевые слова: нитридные покрытия, вакуумно - дуговой метод, твёрдый сплав ВК8, покрытие TiAlN, модуль Юнга, адгезия.

Объектом исследования являлись сформированные вакуумно – дуговым методом тонкие покрытия на основе TiAl на материалах из твёрдого сплава ВК8, применяемых в промышленности.

Целью работы является – исследование физико-механических характеристик упрочняющих нитридных покрытий, формируемых вакуумно-дуговым распылением в азоте спечённых катодов состава TiAl.

Полученные плёнки TiAlN обладают высокими физико – механическими свойствами, такими как твёрдость (H), модуль Юнга (E), упругое сопротивление (W), упругая деформация разрушения (H/E) и сопротивление пластической деформации (H^2/E^2) и адгезию, что позволяет применять эти покрытия в инструментальной промышленности.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережения» приведён анализ перспективности и успешности научно-исследовательского проекта по проектированию редуктора с ПТК и свободной обоймой. Произведен SWOT анализ, составлен план проекта, контрольные события, и рассчитан общий бюджет научного исследования

В разделе «Социальная ответственность» был произведен анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды, вредных веществ, производственного шума, освещенность помещения, пожарной безопасности, защита в ЧС.

В настоящей работе использованы следующие определения, символы, сокращения:

В настоящей работе с соответствующими определениями используются следующие термины:

-метод вакуумного дугового покрытия: это физический метод покрытия в вакууме путем конденсирования материала из плазменных потоков, возникающих на катоде – мишени в катодном пятне вакуумной дуги к подложке.

-жаростойкость - устойчивость металла к окислению при высоких температурах.

-адгезия: адгезия поверхностей разнородных твердых или жидких тел.

В этой магистерской работе используются следующие обозначения и сокращения:

- ✓ PVD – метод физического осаждения
- ✓ CVD – химическое осаждение из газовой фазы
- ✓ ОТ – охрана труда
- ✓ ПБ – пожарная безопасность

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	11
ГЛАВА 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	12
1.1 Твердые износостойкие покрытия – основные направления развития.....	12
1.2 Современные методы получения износостойких покрытий.....	14
1.3 Жаростойкие покрытия и их требования.....	14
1.4 Установка для нанесения покрытий методом PVD и CVD.....	16
1.5 Вакуумно-дуговой метод.....	18
1.6 Цели и задачи исследования.....	20
ГЛАВА 2 МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЯ.....	22
2.1 Образцы из твердого сплава ВК8.....	22
2.2 Экспериментальное.....оборудование для получения функциональных покрытий в плазме дуговых разрядов низкого давления.....	23
2.3 Источники генерации комбинированной газовой плазмы.....	28
2.4 Оборудование и методы определения физико-механические характеристики экспериментальных покрытий.....	31
2.5 Определение толщины покрытий методом CALOTES.....	32
2.6 Методика определения микротвёрдости и нанотвёрдости.....	33
2.6.1 Статический метод определение микротвердости Н _m по восстановленному отпечатку.....	33
2.6.2 Динамический метод определение твердости – нанотвердости.....	35
2.7 Определения адгезии методом CSEMMICRO-SCRATCHTESTER.....	36
ГЛАВА 3 СИНТЕЗ СВЕРХТВЕРДЫХ НИТРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ TiAl ПУТЕМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ.....	43
3.1 Процессы обработки экспериментальных образцов в дуговых разрядов	44
3.1.1 Азотирования в плазме.....	45
3.1.2 Формирования переходного слоя хрома.....	46
3.1.3 Цвет и толщина исследуемых покрытия.....	47
3.2 Физико-механические характеристики экспериментальных образцов после обработки в плазме дуговых разрядов.....	49
3.2.1 Определения адгезии методом CSEM MICRO-SCRATCH TESTER.....	51

ГЛАВА 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	55
4.1 Предпроектный анализ. Потенциальные потребители результатов исследования.....	55
4.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	57
4.3 Определение трудоёмкости работ.....	58
4. 4 Разработка графика проведения научного исследования.....	59
4. 5 SWOT-анализ.....	61
4.6 Инициация проекта. Организационная структура проекта.....	63
4.6.1 Ограничения и допущения проекта.....	63
4.7 Планирование управления научно-техническим проектом.....	63
4.7.1 Иерархическая структура работ проекта.....	63
4.8 Бюджет научного исследования.....	66
4.8.1 Отчисление на социальные нужды.....	67
4.8.2 Накладные расходы.....	67
4.9 Затраты на электроэнергию.....	68
4.9.1 Затраты на водоснабжение.....	68
ГЛАВА 5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	73
5.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.....	73
5.2 Метеоусловия.....	74
5.3 Вредные вещества.....	75
5.4 Производительный шум.....	76
5.5 Расчет уровня шума.....	77
5.6 Освещенность.....	79
5.7 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.....	81
5.8 Факторы пожарной и взрывной природы.....	82
5.9 Охрана окружающей среды.....	83
5.10 Защита в ЧС.....	84
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	87

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА.....	89
Списокиспользуемыхисточников.....	90
Приложение А	97

ВВЕДЕНИЕ

Твердые защитные покрытия на основе химических соединений переходных металлов, осажденных на поверхности деталей, находят широкое применение для улучшения эксплуатационных свойств инструментов для резки и обработки, а также различных пар трения в механических устройствах инженерных изделий и медицинском оборудовании. На практике, нанесение покрытия происходит при высоких температурах, изменяются свойства поверхностных и глубинных слоев материала инструмента, что в свою очередь, влияет на сопротивление к изнашиванию. Поэтому операция нанесения износостойких пленочных материалов является комбинированным методом повышения работоспособности инструмента.

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

В настоящей работе представлены результаты исследований свойств покрытий TiAlN, полученных вакуумно-дуговым методом. В литературе покрытия такого состава, в отличие от широко распространённого нитрида титана, представляют как жаростойкие, т.е. способными сохранять свои эксплуатационные свойства при повышенных рабочих температурах ($T \sim 800$ °C против $T \sim 500$ °C для TiN), обеспечивая тем самым скоростные режимы резания. Особое внимание уделялось анализу стойкости получаемых покрытий на подложках из твёрдого сплава ВК-8. Сравнительные испытания образцов с покрытием на стойкость к отслоению при царапании алмазным конусом Роквелла с непрерывно увеличивающейся нагрузкой имели своей целью выявить влияние параметров предварительной обработки поверхности подложек на адгезию и износостойкость покрытий.

ГЛАВА 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

На сегодняшний день существует большое количество составов и методов нанесения износостойких покрытий. В представленном обзоре отражены основные вопросы, касающиеся разработки современных, получаемых вакуумными методами, износостойких покрытий на основе TiAlN.

1.1 Твердые износостойкие покрытия – основные направления развития

Первыми, выпускаемыми в промышленных масштабах покрытиями, были покрытия TiC, которые, начиная с 1969 года, производились шведской фирмой SandvikCoromant для увеличения срока службы твердосплавного режущего инструмента. В конце 70-х годов были внедрены в производство покрытия нитрида титана в целях повышения стойкости быстрорежущих сталей. К середине 80-х годов появились покрытия на основе Ti(C, N), к началу 90-х годов – углеродные пленки, а к середине 90-х годов – алмазные и твердые покрытия.

Существующие на сегодняшний день износостойкие покрытия по структуре можно разделить на следующие основные классы:

- ✓ Однослойные, однофазные покрытия. Например, покрытия TiC, TiN, CrN, Al₂O₃;

- ✓ Твердые покрытия, осажденные на подвергнутые предварительному азотированию подложки. Наибольшее распространение получил процесс азотирования стальных подложек с последующим нанесением нитрида титана.

- ✓ Градиентные покрытия. За счет градиента концентрации элементов обеспечивается плавный переход от подложки, имеющей низкую твердость и хрупкость к рабочему слою, который характеризуется значительно более высоким уровнем механических свойств. В такой конструкции

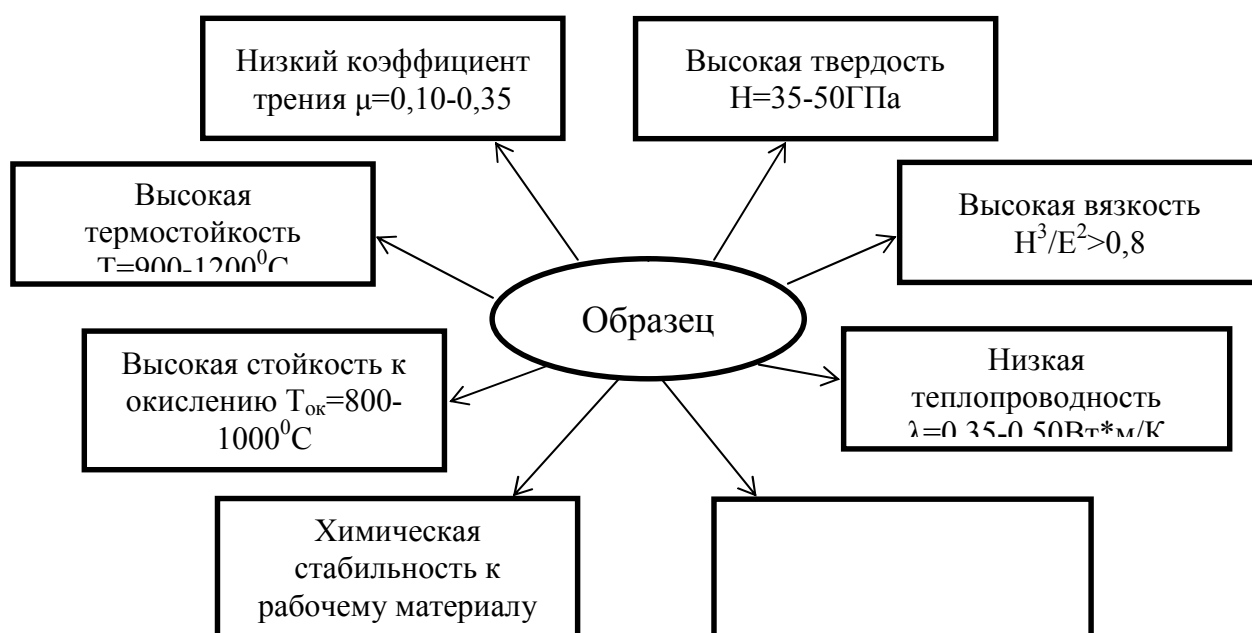
обеспечивается наилучшее сцепление покрытия с подложкой из-за минимизации напряжений на границе раздела. Данный подход используется в покрытиях Ti(C, N), полученных методом физического осаждения.

✓ Покрытия типа «сэндвич». Примером могут служить покрытия на режущий инструмент TiC-TiCN-TiN, TiN-TiCN-TiN, и т.п. В данных комбинациях TiC обеспечивает наилучшее сцепление всего покрытия с твердом сплавом, имея коэффициент термического расширения близкий к материалу основы, с помощью TiCN достигается плавный переход от карбида к нитриду, TiN – слой характеризуется высокой стойкостью по передней поверхности режущей пластины и повышенной прочностью.

✓ Многослойные покрытия, структура которых состоит из периодически повторяющихся слоев двух или более материалов. Примером может служить многослойное покрытие TiN/SiN. Нанесение слоев SiN позволило предотвратить формирование столбчатой структуры TiN и существенно повысить твердость и жаростойкость покрытия.

✓ Однослойные наноструктурные покрытия.

Современные требования к упрочняющим покрытиям металлообрабатываемого инструмента



1.2 Современные методы получения износостойких покрытий

На сегодняшний день для нанесения износостойких покрытий в основном используются методы электродуговой наплавки, плазменного, газопламенного, детонационного напыления, диффузионного насыщения, электрохимические и вакуумные методы. Наиболее перспективным являются вакуумные методы, к достоинствам которых можно отнести: высокое качество и чистоту покрытий, возможность формирования сложных покрытий различного стехиометрического сплава широкого диапазона; высокую адгезию покрытий за счет использования различных способов подготовки поверхности подложки в вакууме перед нанесением покрытий; значительные возможности по легированию покрытий различными элементами; возможность создания напряжений сжатия в покрытии путем ионной бомбардировки; минимальное изменение геометрии режущих кромок вследствие малой толщины покрытий; в большинстве случаев покрытия не требуют обработки после нанесения.

1.3 Жаростойкие покрытия и их требования

Для повышения износостойкости современного инструмента их рабочие элементы изготавливают из твёрдых материалов, например твердых сплавов карбидовольфрамовой группы (типа ВК8) или быстрорежущих сталей (типа Р6М5). Данные материалы уже сами по себе минимально подвержены износу. Однако для получения высоких характеристик конструктивной прочности поверхностных слоев часто применяют различные методы нанесения покрытий из особо твёрдых материалов, позволяющих защитить основу от внешних воздействий. При этом толщина покрытия составляет несколько микрон, что позволяет инструменту после нанесения покрытия сохранять в точности свои размеры и геометрию режущих кромок.

В качестве материалов для деталей, работающих при 700 — 900°C, наибольшее применение находят сплавы на основе никеля с последующим нанесением жаростойкого покрытия.

Жаростойкость – общий термин, характеризующий способность материала, которая сопротивляться химическому разрушению при высших температурах. Жаростойкие покрытия обычно предназначаются для защиты от газовой коррозии никелевых жаропрочных сплавов, которые используют для изготовления деталей энергетических машин, работающих при высоких температурах и больших нагрузках. TiAlN покрытия защищают очень дорогие части ответственных энергетических машин. Благополучное применение покрытий дает большой экономический результат.

Чем выше износостойкость инструмента – тем большой срок он прослужит и тем меньше будет износ трущихся частей. Фрезы с высокой износостойкостью могут за время службы снять намного больший объем материала и значительно реже требуют замены. Термостойкие покрытия защищают. Успешное использование покрытий имеет большой экономический эффект.

Интересная особенность сверхтвердых ($H \geq 40$ ГПа) износостойких покрытий состоит в том, что помимо высокой твердости эти материалы обладают высокой прочностью и характеризуются упругим восстановлением, W_e достигающим 90%. Износостойкие покрытия – новый класс материалов, обладающих высокой твердостью (40-70 ГПа) и упругостью, а методы их получения, путем варьирования параметрами процесса, позволяют целенаправленно менять значения H , E , W_e .

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^2 . Отсюда следует, что для повышения стойкости к упругой деформации разрушения и уменьшения пластической деформации материал должен обладать высокой твердостью при низком модуле упругости.

1.4 Установка для нанесения покрытий методом PVDи CVD

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 (PVD, CVD);

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. Как следует из названия используемых процессов (PVD, 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.

Метод химического осаждения (PVD) практически не имеет ограничений по химическому составу покрытий. Все присутствующие частицы могут быть осаждены на поверхность материала. Состав покрытия зависит от соотношения материалов и параметров процесса. Если процесс протекает при заполнении пространства реакционным газом, то происходит нанесение оксидных, нитридных и карбидных покрытий. При этом происходит химическая реакция между атомами осаждаемых металлов и молекулами реакционного газа.

При химическом осаждении происходят химические реакции около поверхности обрабатываемого материала. В отличие от CVD процессов, где твердые материалы покрытия имеются в газообразную фазу путем испарения или распыления, при процессе PVD в камеру покрытия подается смесь газов. Температура протекания процесса, должна не превышать $\sim 1100^{\circ}\text{C}$. Это условие ограничивает число материалов, на которые можно нанести покрытие данным методом. Если твердые сплавы выдерживают такой нагрев практически без последствий, то быстрорежущие стали теряют все свои свойства.

Преимуществом метода PVD, является отсутствие необходимости вращения изделия. Для получения одинаковых свойств покрытия во всем объеме камеры покрытия необходимо обеспечить оптимальные потоки газа. Для этого применяется специальная система подачи газа. Так называемый газовый душ. Установки PVD имеют довольно большой размер. Для предотвращения опасных выбросов газов в атмосферу требуется система

фильтров. Благодаря высокой температуре нанесения, обеспечивающей частичную диффузию материала покрытия в материал основы, покрытия CVD характеризуется лучшей адгезией покрытия и основного материала.

1.5 Вакуумно-дуговой метод

Метод - вакуумно-дуговой основан на генерации атомов металла катодным пятном вакуумной дуги: сильноточный низковольтный разряд, который развивается исключительно в парах катодного материала.

При низком напряжении разряда (50-70В) вакуумная дуга характеризуется, сравнимым с потенциалом ионизации атомов материала катода (16-30В), высокой плотностью тока в области катодного падения, высокой концентрацией плазмы в катодной области и испусканием высоких скоростей плазменных струй из катодное пятно. В вакууме дуговой разряд состоит из трех этапов – это дуга, искра и корона.

Когда напряжение подается на вакуумный зазор между электродами, появляется заметный ток, называемый темным или непрерывным током. Установлено, что этот ток в условиях тщательно очищенных электродов в сверхвысоком вакууме обусловлен только электронным компонентом. Соотношение ионного компонента возрастает по мере увеличения загрязнения обоих электродов. В чистых условиях темный ток возрастает экспоненциально с увеличением приложенного напряжения и не зависит от температуры катода, который однозначно определяет его как ток эмиссии поля. Центрами излучения являются микроточка на поверхности катода.

Энергия ионов и плотность тока являются важнейшими параметрами метода. При помощи значения приложенного к деталям ускоряющего напряжения и атомного строения испаряемого материала можно определить энергию ионов.

Наличие на поверхности и в плазменном потоке конденсации капельной фракции является одним из недостатков данного метода

Высокая стойкость к деформациям и разрушениям, высокая усталостная прочность и малый абразивный износ, такими качествами должны обладать износостойкие покрытия для металлорежущих инструментов. Согласно классической теории износа, низкий абразивный износ обычно связан с высокой твердостью, и большое значение модуля Юнга (эластичность) указывает на высокую усталостную прочность. На практике обычно измеряют твердость материала, который, однако, не является независимой характеристикой, но связан с упругими и пластическими свойствами материала. Большое значение модуля упругости характеризует большинство сыпучих материалов высокой твердости, поэтому такие материалы являются хрупкими. Величина отношения твердости к модулю упругости, также называемая индексом пластичности материала, используется для оценки сопротивления материалов упругой деформации трещины. Параметр используется для оценки сопротивления материала пластической деформации. Если материал имеет высокую твердость при низком модуле упругости, это говорит о его высокой устойчивости к упругой деформации и низкой пластической деформации.

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

Для различных материалов электродов и различных степеней вакуума величина пробивного напряжения разная и может достигать сотен вольт. Разряд между электродами, находящимися в вакууме, может быть вызван вспомогательной искрой на одном из электродов, даже если пробивное

напряжение для данного расстояния между электродами при отсутствии поджигающей искры значительно больше приложенного напряжения. Для создания поджигающей искры обычно используют дополнительный поджигающий электрод. Напряжение на этот электрод подают от отдельного источника питания.

В момент подачи напряжения на катод включается импульсное питание электрода поджига дуги. Импульсы поджига подаются до тех пор, пока не загорается дуга на катоде. После чего питание электрода поджига прекращается. Дуга проходит вдоль катода, совершая вращение по поверхности катода. Удержание дуги на катоде происходит за счет магнитного поля, наводимого протекающим током катода. При подходе дуги к электроду гашения дуги включается блок гашения дуги и она гаснет. Процесс повторяется вновь с поджига дуги до тех пор, пока не будет выключено напряжение на катоде испарителя.

Подача в вакуумное пространство реагирующих газов (азота, метана и др.) в условиях ионной бомбардировки приводит к конденсации покрытия на рабочих поверхностях благодаря протеканию плазмохимических реакций. Применительно к образованию нитридов плазмохимическая реакция имеет вид: $Me^+ + N^+ \rightarrow MeN$.

Важнейшими параметрами метода являются плотность потока и энергия ионов. Энергия ионов определяется атомным строением испаряемого материала, значением ускоряющего напряжения, приложенного к деталям.

Недостаток метода – наличие в плазменном потоке и на поверхности конденсации капельной фракции.

1.6 Цели и задачи исследования

В настоящей работе были поставлены следующие цели и задачи:

Цель настоящей работы является, получения износостойкого покрытия на основе TiAlN, на образцы из инструментального сплава ВК8. Исследовать физико-механические характеристики материала подложки на свойства. Проведение сравнительного анализа изменения значений твердости, модуля упругости и адгезии износостойких покрытий на основе нитрида титана, получаемых одновременно на подложках.

Основные задачи

1. Исследовать твердость и упруго-пластические характеристики полученных образцов;
2. Изучить особенности процесса формирования износостойких покрытий TiAlN вакуумно-дуговым методом;
3. Исследовать физико-механические характеристики полученных покрытий в одинаковых условиях в одинаковых подложках и определить величины упругой деформации разрушения и сопротивления пластической деформации;
4. Исследовать адгезионную прочность покрытий с подложками;

ГЛАВА 2 МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЯ

В настоящем разделе приведены описания экспериментального оборудования, методик и материалов, которые использовались в процессе исследования.

2.1 Образцы из твердого сплава ВК8

При выполнении работ по осаждению покрытий использовались подложки из твердого сплава ВК8.

Твердый сплав ВК8 является инструментальным материалом, который применяется в инструментальной промышленности для изготовления режущих пластин сборных резцов, концевых фрез, сверл и др. Он используется в качестве материала фильер, опорных роликов, с покрытиями, нанесенными при различных режимах формирования. Химический состав данного сплава представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав твердого сплава ВК8

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

Для исследования применяли 3 типа образцов: исходный сплав, после азотирования и подслоя хромом.

Характеристики сплава ВК8:

- ✓ большая твердость $HRA=87,5$;
- ✓ Микротвердость сплава ВК8 – 15ГПа;
- ✓ высокое противодействие износу при нагреве до 1000 °С;
- ✓ Высокое значение модуля Юнга ($E=610$ ГПа);
- ✓ независимость заметной пластической деформации;

- ✓ фактическое отсутствие упругой деформации;
- ✓ Температура спекания данного сплава $T=1360^{\circ}\text{C}$;
- ✓ Прочность на изгиб – 1700Мпа

2.2 Экспериментальное оборудование для получения функциональных покрытий в плазме дуговых разрядов низкого давления

Процесс вакуумно-дугового напыления покрытия TiAlN осуществляется при одновременной работе испарителя титана и генератора газоразрядной плазмы, обеспечивая рост покрытия в условиях низкоэнергетического облучения как ионами металла, так и ионами азота. В процессе такого напыления необходимо выдерживать некоторое соотношение токов разрядов обоих источников с целью обеспечения определенного элементного состава в покрытии. Определяющими параметрами процесса здесь являются давление азота, ток разряда каждого источника плазмы, напряжение смещения, температура образца и время, варьируя которыми в широком диапазоне, можно получать различные структуру и фазовый состав покрытий в зависимости от ожидаемых условий эксплуатации готового изделия.

Таблица 2 - Технические характеристики вакуумной установки

Параметр, характеристика	Допускаемое значение
Предельное значение вакуума в рабочей камере, Па	3×10^{-3}
Время достижения в камере давления 6×10^{-3} Па без прогрева рабочего объема камеры, при рабочем режиме диффузионного насоса с начала откачки воздуха из камеры, мин, не более	30
Потенциал смещения, подаваемый на изделия, регулируемый, В	10-1000
Максимальный ток смещения на изделиях: - в диапазоне 0-150В, А	20

- в диапазоне 650-1200В, А	3
Ток разряда каждого магнетрона, регулируемый, А	1-20
Подача рабочих газов (азот, аргон) с точностью поддержания: - заданного расхода, %, не более - заданного давления, %, не более	1,2 5
Контролируемый диапазон частоты вращения планетарного механизма, (об/мин)	0-40
Время напуска воздуха в камеру, с, не более	60
Внутренний диаметр камеры, мм	600
Мощность, потребляемая вакуумной установкой, кВт, не более: - в режиме откачки - в режиме напыления	10 30
Расход холодной водопроводной воды в системе охлаждения в режиме напыления при давлении на входе от 3×10^5 Па до 5×10^5 Па (от 3 до 5 кгс/см ²), не менее, л/с	0,3
Общая масса установки, кг	600
Высота вакуумной установки, не более, мм	2000
Общая площадь, занимаемая вакуумной установкой, не более, м ²	6
Установленный срок службы до капитального ремонта при двухсменной работе при соблюдении правил эксплуатации, не более, лет	5

Метод конденсаций соединений в вакууме с ионной бомбардировкой относится к вакуумным электродуговым способам осаждения вещества. Процесс осуществляется в стационарном эрозионном плазменном ускорителе. Основными преимуществами метода является: возможность напыления многослойных покрытий; наличие высокой степени ионизации испаряемого материала; возможность легирования металлов, вводя в камеру легирующих газ.

Вакуумная установка в плазме дуговых разрядов низкого давления состоит из вакуумной камеры с электродуговым испарителем, высоковольтного блока, блока управления блока питания и вакуумной системы. Основным узлом установки является электродуговой испаритель металла. Эрозия катода происходит за счет выделения энергии на его поверхности. При этом анод, которым служит поверхность вакуумной камеры, почти не разогревается, так как на большой поверхности разряд имеет диффузионно-распределительный характер.

Вакуумно-дугового осаждение для износостойких нитридных пленок, происходит по принципу плазменного ускорителя. Основные параметры для плазменного испарителя металлов при формировании плазменного потока ускоренных частиц, применяемого для получения покрытий в вакууме показаны в таблице 3.

Таблица 3 – Основные параметры для плазменного испарителя металлов при формировании плазменного потока ускоренных частиц

Ток разряда	10-200А
Напряжение разряда	40-60 В
Рабочее давление	0,0133-13,3Па
Скорости потока частиц	до 10^3 м/с
Энергиями	10-100эВ
Степень ионизаций потока	от 60 до 95%
Коэффициент использования материала	Приблизительно 100%

Напряжение на этот электрод подают от отдельного источника питания.

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

Нанесение покрытия TiAlN проводилось вакуумно-дуговым методом на экспериментальной установке, разработанной и изготовленной в ЛПЭЭ ИСЭ СО РАН. Внешний вид устройства приведен на рисунке 1.



Рисунок 1 - Внешний вид устройства, установленного на экспериментальной установке

Принцип работы ионно-плазменного устройства для нанесения покрытий схематично представлен на рисунке 2 в случае реализации процесса осаждения функциональных покрытий на изделия из плазмы электродугового разряда с разделением плазменного потока.

Все эксперименты по формованию покрытий проводились лаборатории плазменной эмиссионной электроники Института сильноточной электроники СО РАН на технологической установке вакуумно-дугового напыления ННВ 6.6-И1, блок-схема которой представлена на рисунке 2.

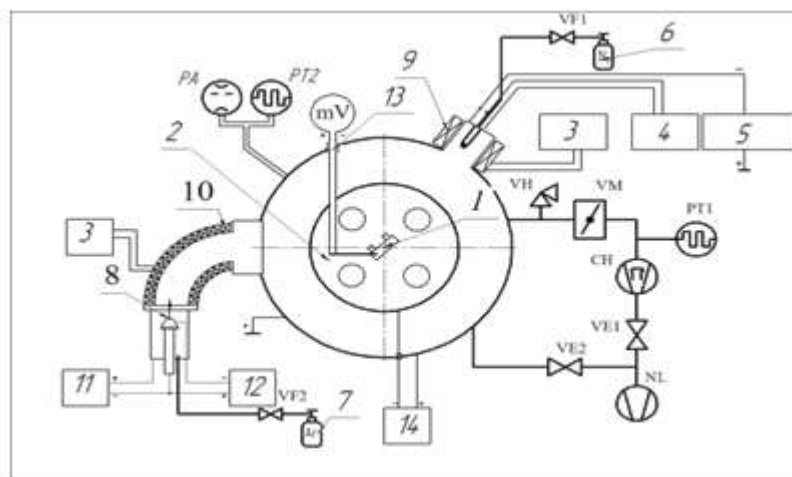


Рисунок 2 – Блок-схема экспериментальной установки

1- образцы, 2 - вакуумная камера, 3 – питание магнитного поля, 4 – питание накала, 5 – источник питания плазмогенератора, 6 – азот, 7 – аргон, 8– дуговой испаритель, 9 – источник газоразрядной плазмы ($U=12\text{ В}$, $I=100\text{ А}$), 10 – плазмооптическая система фильтрации микрокапель, 11 – источник питания дугового разряда испарителя ВД-200($U=70\text{ В}$, $I=200\text{ А}$); 12 – источник питания поджига дугового разряда испарителя ($U=10\text{ кВ}$, $I=10\text{ А}$); 13 – термопара, 14- источник напряжения смещения рабочего стола ($0-1000\text{ В}$, $I=0-24\text{ А}$).

Датчики давления: РА- ионизационная (высоковакуумная) лампа, РТ1, РТ2 – термопарная лампа, VE1, VE2, VH- – клапаны; VF1, VF2 – клапаны для газа, СН - высоковакуумный насос; NL – форвакуумный насос; VM- затвор.

Внутри плазменного канала создается металлическая дуговая дуговая плазма, через нее пропускается электрический ток в продольном направлении, образуя продольное, непрерывное и однородное магнитное поле по всей длине плазменного канала и электрическое поле, направленное к стенкам плазменный канал (в случае, если к его корпусу нанесен положительный потенциал). Продукты катодной эрозии, изотропно

рассеянные, их основная масса направлена перпендикулярно к поверхности катода. Компонент ионизированной плазмы из-за наличия магнитного и электрического полей транспортируется вдоль силовых линий магнитного поля вдоль плазменного канала к выпускному отверстию до технологического объема вакуумной камеры. В то время как частицы и нейтральный компонент осаждаются на стенках плазменного канала. Электрическое поле, перпендикулярное стенкам плазменного канала, обеспечивает дополнительный дрейф ионов из стенок тела плазмы.

Предлагаемый способ приемлем для использования в промышленности, и имеет расширенные технологические возможности.

2.3 Источники генерации комбинированной газовой плазмы

Электродуговой испаритель был использован для испарения металлов в вакууме, который оснащен большинством промышленных установок ННВ-6.



Рисунок 3 – Общий вид катодов, используемых в экспериментах:

а) – стандартный катод для дугового испарителя, выполненный из титанового сплава ВТ-1-0;

б) – композиционный порошковый катод системы Ti-Al.

Принцип работы плазменного генератора заключается в следующем. Электроны, излучаемые нагретым катодом, движутся вдоль линий магнитного поля в направлении анода, роль которого заземляется стенками вакуумной камеры.

Источником плазмы являются катодные пятна, образованные на рабочей поверхности катода. Продукты эрозии металлического катода разлетаются по всему пространству вакуумной камеры и осаждаются в виде конденсата на обрабатываемые детали в виде пленок толщиной 1-10.

Катодное пятно, хаотически перемещающееся по поверхности интегрально холодного катода, получаемого методами прессования или спекания из мелкодисперсных порошков нескольких металлов, имеющих различные теплофизические свойства, будет испарять эти материалы. Причем скорость испарения, а также процессы ионизации испаренных атомов, должны зависеть как от основных химических и физических свойств элементов, входящих в состав, так и от структурно-фазового состояния композиционного многокомпонентного катода: дисперсности используемых порошков, степени однородности перемешивания, характера взаимодействия (диффузия, химические соединения), пористости и т.д. Важным параметром является, конечно же, ток дуги. На скорость испарения компонентов и количество генерируемых пятном микрокапель влияет и интенсивность охлаждения катода.

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

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

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

Электродуговой испаритель был использован для испарения металлов в вакууме, который оснащен большинством промышленных установок ННВ-6.

2.4 Оборудование и методы определения физико-механические характеристики экспериментальных покрытий

Таблица 4 – Оборудование и методы определения физико-механические характеристики экспериментальных покрытий

Измеряемый параметр	Наименование прибора	Характеристика
Толщина покрытия	CSEMCALOTES	Прибор предназначен для измерения толщины в диапазоне (0,1-50) микрон, в том числе и многослойных.
Микротвердость	Nanohardness Tester, CSM Instruments, Швейцария	Метод микротвердости дает довольно точные результаты с погрешностью ± 30 кг/мм ² , по которым можно увидеть, что покрытия с различной структурой имеют иногда существенные различные значения микротвердости.
Нанотвердость	Nanohardness Tester, CSM Instruments, Швейцария	Для материалов с большой долей упругой составляющей роботы (более 20%) определение твердости по восстановленному отпечатку статическим методом дает искаженные значения: твердость будет очень сильно завышена.
Модуль Юнга (E)	Nanohardness Tester, CSM Instruments, Швейцария	Для материалов с большой долей упругой составляющей роботы (более 20%) определение твердости по восстановленному отпечатку статическим методом дает искаженные значения:

		твёрдость будет очень сильно завышена. Поэтому определение твёрдости по не восстановленному отпечатку (динамический метод Оливера и Фарра) для таких материалов является единственно возможным [3, 4]. Испытания соответствуют стандарту ISO/CD 14577-4.
Упругое восстановление (We)	Nanohardness Tester, CSM Instruments, Швейцария	Данный параметр необходим, чтобы оценить долю упругой составляющей в общей деформации, которую характеризует упругое восстановление (We,%).
Адгезия	CSEMMICRO-SCRATCHTESTER	измерение адгезии методом царапания поверхности покрытия алмазным индентором при непрерывно нарастающей нагрузке

2.5 Определение толщины покрытий методом CALOTES

Для измерения толщины покрытий был выбран метод CALOTES. Стальной гладкий шар имеет две точки опоры - на вращающемся приводном валу и на плоскости образца (рисунок 4). Нагрузка в зоне контактного трения определяется массой шарика и углом наклона образца. Износ обеспечивается путем добавления абразивной суспензии, содержащей взвешенные частицы воды из SiC, алмаза. После испытаний образец исследуется с использованием оптических средств наблюдения и измерения. В зоне контакта образуется износостойкий кратер сферической формы, на котором наблюдаются две характерные зоны: зона износа покрытия и зона износа подложки. По

измеренным размерам этих зон определяются основные параметры — толщина покрытия и показатели износа.

По параметрам печати, таким как диаметры отпечатков на подложке и в покрытии, диаметра шара, глубина проникновения в подложку t (формула (1)), общая глубина проникновения T (2) и толщину покрытия S (3) можно определить:

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

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

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

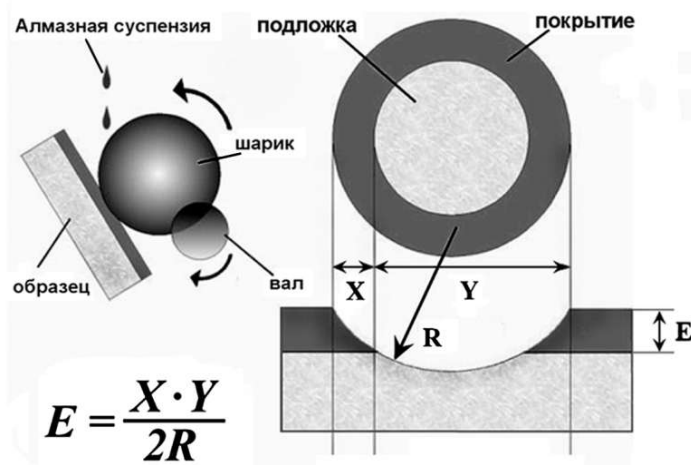


Рисунок 4 – Схема определения толщины покрытия методом CALOTES

2.6 Методика определения микротвёрдости и нанотвёрдости

2.6.1 Статический метод определение микротвердости H_m по восстановленному отпечатку

Методика испытания на микротвердость описана в ГОСТ 9450-60. Форма алмазной пирамиды такая же, как при испытании на твердость по

Виккерсу (ГОСТ 2999-59), но точность изготовления пирамиды выше, так как при малых отпечатках погрешности индентора сильнее сказываются на результаты испытаний. Точность размеров пирамиды регламентируются ГОСТ 9377-63

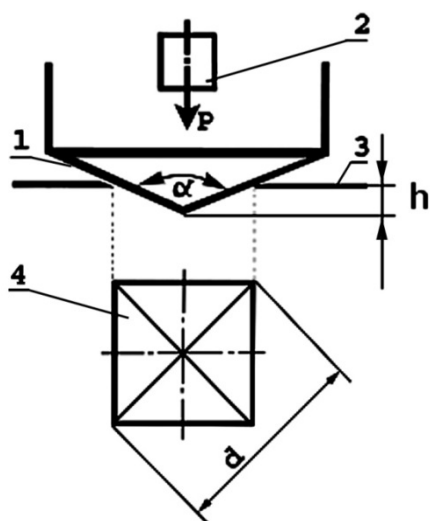


Рисунок 5–Схема индентации с помощью алмазной пирамиды Виккерса
 1 – индентор (четырёхгранная пирамида); 2 – груз; 3 – испытываемый материал; 4 – отпечаток; α - угол между противоположными гранями пирамиды - 136° ; Форма отпечатка – квадрат: d - диагональ отпечатка (3 – 300 мкм) h – глубина отпечатка (0,5 – 40 мкм).

$$h = \frac{d}{2\sqrt{2}\tan 68^\circ} = \frac{d}{7} \quad (4)$$

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

2.6.2 Динамический метод определение твердости – нанотвердости

Для материалов с большой долей упругой составляющей работы (более 20%) определение твердости по восстановленному отпечатку статическим методом дает искаженные значения: твердость будет очень сильно завышена. Поэтому определение твердости по не восстановленному отпечатку (динамический метод Оливера и Фарра) для таких материалов является единственно возможным. Испытания соответствуют стандарту ISO/CD 14577-4. Определение твердости H , модуля упругости E и упругого восстановления We по методу наноиндентирования осуществляется на приборе Nanohardness Tester, CSM Instruments, Швейцария.

В процессе измерений снимается кривая «нагружение - разгрузка», которая в дальнейшем обрабатывается по методу Оливера-Фарра.

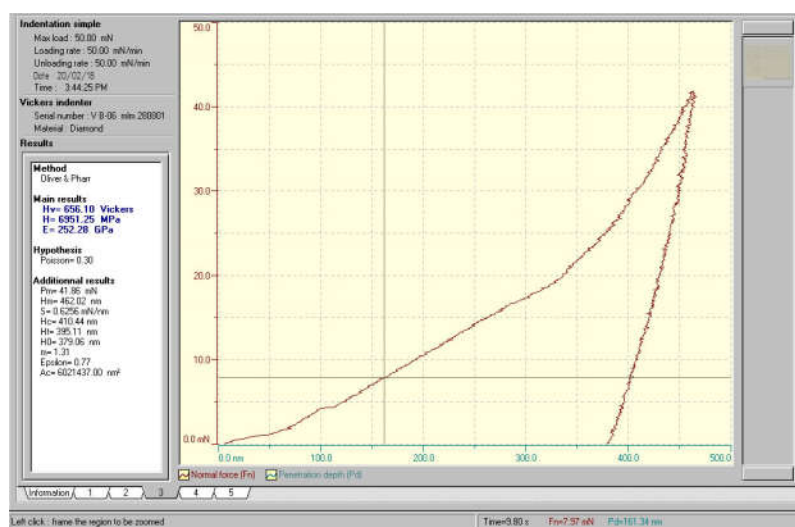


Рисунок 6 – Динамический метод Оливера-Фарра

На кинетической диаграмме «нагрузка-глубина отпечатка» (P-h), левая ветвь экспериментальной кривой соответствует движению индентора в процессе нагружения, правая ветвь – при снятии нагрузки.

Эксперименты показали то, что кривые разгрузки отчетливо искривлены и обычно хорошо аппроксимируются степенной функцией типа:

$$P = \alpha (h - h_f)^m \quad (5)$$

где α и m – константы степенной функции.

Непрерывное индентирование позволяет не только определять нанотвердость материала от глубины проникновения индентора, но и изучать соотношение упругой и пластической составляющих деформации.

Упругая составляющая работы индентирования (W_e) характеризуется площадью OBA, пластическая составляющая – площадью OBC, полная работа индентирования (W) – площадью OAC. Соотношение упругой и пластической составляющих работы рассчитывается из соотношения площадей OAB к OAC в %.

- ✓ HV – твердость по Виккерсу
- ✓ H – пластическая твердость
- ✓ E – модуль Юнга (модуль упругости)
- ✓ H^3/E^2 – стойкость к пластической деформаций (вязкость)
- ✓ T_c – термостойкость в среде атмосферного воздуха
- ✓ μ - коэффициент трения скольжения
- ✓ W_e – упругое восстановления

2.7 Определения адгезии методом CSEMMICRO- SCRATCHTESTER

Отдельной проблемой, возникающей при синтезе тонких покрытий, является обеспечение хорошей адгезии покрытия к подложке. Чем больше сила адгезии в системе покрытие-подложка, тем вероятнее, что образец с покрытием будут обладать лучшими механическими характеристиками. Поэтому сила адгезии является одним из важных параметров, определяющих свойства покрытий.

Наибольшую популярность, в силу своей высокой точности и надежности, среди большого количества разнообразных методов определения прочности сцепления тонкопленочных покрытий с материалом подложки (адгезия) получили два метода.

Адгезия к подложке является наиболее важным механическим свойством покрытия. Современные физические и химические методы испарения вещества и осаждения покрытий в вакууме разрешают достигать уровня адгезии, недостижимого ранее другими способами. С целью содействия широкому распространению такого-либо другого способа нанесения покрытий имеется крайняя необходимость применять обычные общепринятые методы по оценке адгезии, гарантирующие исследователям уверенность в получаемых результатах. Для твердых износостойких покрытий данные методы должны легко и быстро проводиться, не требовать специальной подготовки образцов и должны быть удобными для тестирования реальных инструментов и деталей машин. Для определения прочности сцепления покрытий и механических свойств материалов в данной работе использовали метод царапания (scratch-test), на установке Micro Scratch Tester, который является наиболее прямым способом оценки адгезионных характеристик покрытий.

Применяемый нами скретч-тест заключается в предварительном наведении напряжений на границе сопряжения между покрытием и субстратом. Это достигается давлением алмазной иглы на исследуемую поверхность образца при возрастающей нормальной нагрузке P_N . В то время как образец перемещается с постоянной скоростью под иглой, значение P_N увеличивается. Отслаивание, шелушение или откалывание фрагментов покрытия, возникающие у границы сопряжения могут вызвать результирующие напряжения. Минимальная нормальная нагрузка, при которой регистрируется событие, характерное для начала разрушения, называется критической нагрузкой (L_c). Обнаружение значений L_c может быть зарегистрировано с помощью таких эффектов, как флуктуации

акустической эмиссии и деформациями покрытия, наблюдаемыми при микроскопическом исследовании царапины, глубиной проникновения индентора.

Скратч-тест (Scratch): измерение адгезии методом царапания поверхности покрытия алмазным индентором при непрерывно нарастающей нагрузке осуществляется на приборе CSEM Micro-Scratch Tester MST-S-AX-000, CSM Instruments, Швейцария. Мера адгезионной прочности – L_c (в Ньютонах), минимальная нагрузка при которой начинается отслаивание участков покрытия вдоль царапины (трека), оставленной индентором. Данная методика соответствует международному стандарту ISO DIS 20502.

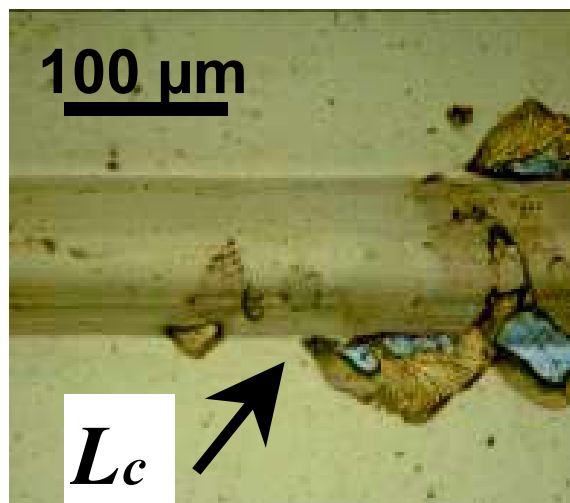
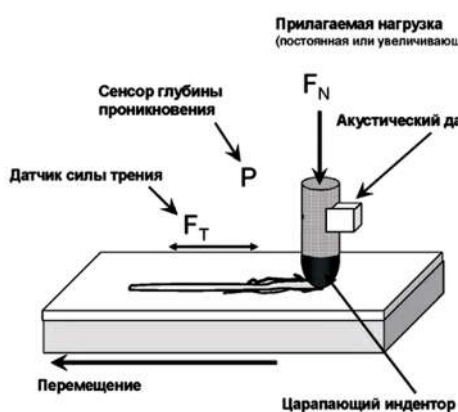


Рисунок 7– Схема определения адгезионной прочности покрытий методом Micro-Scratch Tester

Скратч-тест заключается в предварительном наведении напряжений на границе сопряжения между покрытием и субстратом. Это достигается царапанием исследуемой поверхности образца алмазным индентором Роквелла при непрерывно возрастающей нормальной нагрузке P_N . В то время как образец перемещается с постоянной скоростью под индентором, значение P_N увеличивается. Деформация в исследуемой системе за счет вдавливания индентора приводит к возникновению упругой силы, которая может привести к разрушению адгезионных связей в исследуемой системе и

является в данной методике нормальной силой отрыва. При увеличении глубины проникновения индентора увеличивается площадь его контакта с поверхностью исследуемой системы, что в совокупности с равномерным движением приводит к увеличению силы трения в месте контакта, которая выступает в данной методике тангенциальной силой отрыва. Совокупность этих сил и определяет возможность разрушения адгезионных сил данной методикой. А результирующие напряжения, возникающие у границы сопряжения пленки с подложкой, могут вызвать отслаивание, шелушение или откалывание фрагментов покрытия. Минимальная нормальная нагрузка, при которой регистрируется событие, характерное для начала разрушения, называется критической нагрузкой (L_c – Load critical). Момент адгезионного разрушения покрытия фиксируется после испытаний визуально с помощью оптического микроскопа, оборудованного цифровой фотокамерой, а также по изменению одного из пяти параметров, представленных на рабочем интерфейсе информационного окна из программного обеспечения измерительной установки: акустическая эмиссия, сила трения, коэффициент трения, глубина проникновения индентора, остаточная глубина царапины.

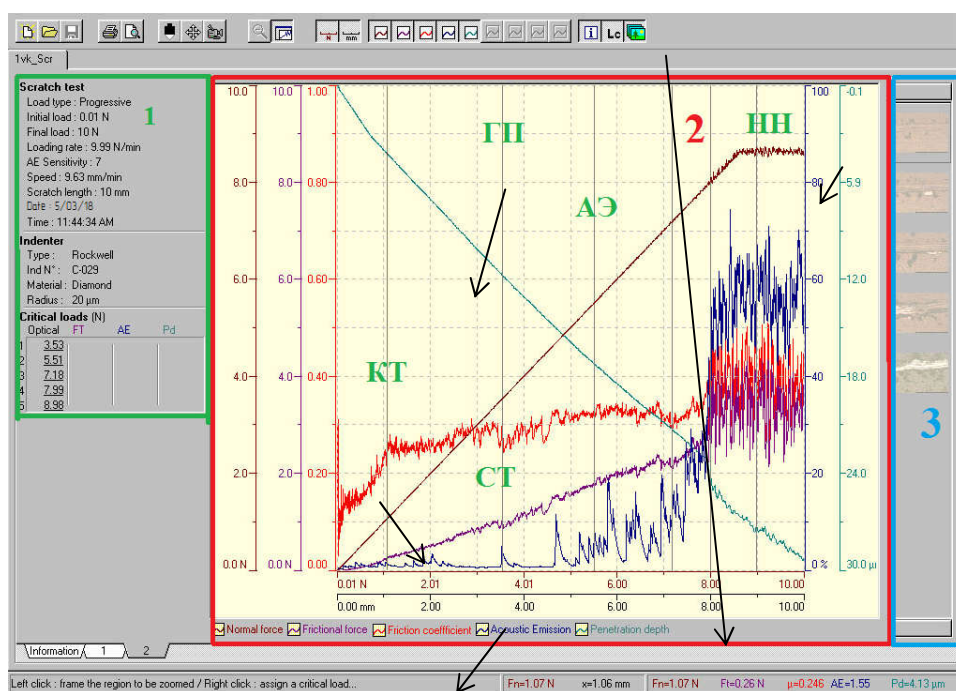


Рисунок 8 - Изменения сигнала разных датчиков при царапании образца при нагрузке, нарастающей от 0,9 до 50 Н.

Обозначения:

- ✓ ГП – глубина погружения;
- ✓ АЭ – акустическая эмиссия;
- ✓ КТ – коэффициент трения;
- ✓ НН – нормальная нагрузка;
- ✓ СТ – сила трения;

В центральной части (2) в графическом виде представлены данные показаний датчиков во время скрейч-теста. По оси ординат откладываются данные:

- ✓ нормальная сила нагружения (normal force (F_n));
- ✓ сила трения (frictional force (F_t));
- ✓ коэффициент трения (friction coefficient (μ));
- ✓ глубина погружения индентора (penetration depth (P_d));
- ✓ уровень сигнала с датчика акустической эмиссии (acoustic emission (AE)).

Колонка слева (1) показывает параметры скретч-теста: начальная и конечная нормальная нагрузка, скорость нагружения индентора, дата и время, характеристика индентора.

В центральной части (2) в графическом виде представлены датчиков во время скретч-теста. По оси абсцисс представляются данные о положении индентора во время проведения царапины и величине нормальной силы нагружения.

В правой колонке (3) информационного окна представлена галерея микрофотографий, сделанных во время анализа царапины после теста.

Условно процесс разрушения покрытия при царапании алмазным индентором можно разделить на три стадии. На стадии А происходит монотонное проникновение индентора в покрытие: глубина проникновения (ГП) и коэффициент трения (КТ) слабо понижаются, сила трения (СТ) слабо

повышается, сигнал акустической эмиссии (АЭ) сохраняется неизменным. На стадии В проходит скачкообразное повышение уровня и амплитуды АЭ, изменение наклона кривых КТ и СТ. На стадии С заметно немонотонное изменение ГП, КТ и СТ.

Относительный анализ структурных особенностей царапины позволяет заключить, что на стадии А (нагрузка менее 1 Н) индентор фактически не оставляет следов на покрытии. Скольжение алмазного индентора по пленке проходит с очень низким коэффициентом трения (менее 0,1).

При нарастающей нагрузке (стадия В) происходит появление как шевронных трещин на дне царапины, так и диагональных трещин по ее берегам. При замыкании диагональных трещин по берегам царапины наблюдаются отщепления отдельных чешуек. Образование таких трещин сопровождается ростом уровня и амплитуды сигнала АЭ, а также монотонным повышением КТ. Третья стадия С связана с локальным, а затем непрерывным скалыванием подложки под давлением индентора. Возникновение отдельных отколов покрытия сопровождается резкими всплесками кривой КТ вверх, а кривой ГП – вниз.

По поведению АЭ анализировали наклон линии, соединяющий точку начало увеличения сигнала с точкой конца разрушения.

Чем больше угол, тем выше составляющая адгезионного разрушения, чем меньше угол, тем больше составляющая когезионного разрушения.

Образец закрепляется в специальных тисках, которые закреплены на моторизованном предметном столе. Предметный стол может смещаться в двух координатах с помощью прецизионных шаговых двигателей, управляемых с помощью персональной электронно-вычислительной машины. Механизированная система перемещения предметного стола позволяет четко позиционировать друг относительно друга место положения индентора и оптической оси микроскопа, что позволяет четко ассоциировать положение индентора во время проведения царапины вместе с характерными

изменениями во внешнем виде царапины и величиной силы нагружения. Кроме того, это позволяет точно выбирать место проведения скреч-теста. После выбора места проведения теста с помощью программного интерфейса вводятся режимы и параметры проведения скреч-теста. Затем индентор автоматически смещается вертикально вниз до касания с поверхностью исследуемого образца. Начинается этап нанесения царапины. Образец, закрепленный на столе, равномерно смещается вдоль неподвижного индентора, на который действует сила нагружения. При этом датчики начинают измерять соответствующие характеристики и передавать их в память персональной электронно-вычислительной машины. Во время проведения теста на экране цветного графического монитора можно в реальном времени наблюдать показания с датчиков. После окончания теста образец передвигается под оптический микроскоп, где проводится визуальное исследование полученной царапины.

ГЛАВА 3 СИНТЕЗ СВЕРХТВЕРДЫХ НИТРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ TiAl ПУТЕМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ

В ходе выполнения работ исследовали экспериментальные процессы по синтезу нитридных покрытий на основе Ti и Al отработывали варианты технологических режимов получения твердости на обрабатываемой поверхности порядка 40 ГПа. Изучали зависимости структуры и физико-технических характеристик покрытий от основных параметров процесса электродугового осаждения.

В качестве подложек при напылении покрытий использовался твердый сплав ВК8. Все образцы были механически отполированы на алмазной пасте до зеркального блеска Ra ~ 0.04 мкм, после чего промыты в ультразвуковой ванне в бензине (10 минут) и спирте (10 минут). Образцы крепились на оснастке в центре рабочей камеры на расстоянии ~300 мм от торца дугового испарителя. Для улучшения однородности формируемых покрытий оснастка с образцами во время напыления вращалась со скоростью 5 об/мин.

Для исследования свойств сформированных покрытий использовались следующие методы: микро- и наноиндентация (ПМТ-3, Nano Hardness Tester NHT-S-AX-000X), скретч-тест (Micro-Scratch Tester MST-S-AX-000), метод измерения толщины покрытия Calotest.

Микро- и наноиндентация проводилась при нагрузке 1000, 500 (ПМТ-3) и 50 мН (Nano Hardness Tester), соответственно.

3.1 Процессы обработки экспериментальных образцов в дуговых разрядах

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

Процесс осаждения покрытий на подложки проходили по следующему технологическому процессу таблица 6.

Таблица 5 - Технологический процесс осаждения покрытий на установке ННВ-6.6

№	Наименование операций	Содержание операции
1	Загрузка образцов, нагрев и откачка вакуумной камеры	<ol style="list-style-type: none"> 1. Загрузка оснастки с образцами подготовленными соответствующим образом в вакуумную камеру; 2. Откачка вакуумной камеры форвакуумным, а затем диффузионным насосами; 3. Прогрев камеры горячей водой
2	Очистка поверхности образцов ионным травлением в газовом разряде	<ol style="list-style-type: none"> 1. Откачка камеры до давления $2,6 \dots 6,5 \cdot 10^{-3}$ Па 2. Откл., прогрева камеры. И включение системы охлаждения. 3. Подача на образцы напряжения смещения (≥ 1000 В) 4. Плавный напуск аргона до слабого свечения 5. Выдержка образцов ≥ 1 мин 6. Повышения давления аргона до появления слабых искровых разрядов. 7. Уменьшения давления аргона до исчезновения разрядов. 8. Выдержка инструментов ≥ 1 мин 9. Повышение давления до 1 Па, пока не исчезнут разряды 10. Выдержка образцов ≥ 5 мин. 11. Откачка камеры до давления $2,6 \dots 6,5 \cdot 10^{-3}$ Па. 12. Увеличение смещения напряжения до значения, на 20% превышавшего подачу на образцы напряжения смещения. 13. Повторение пп. 4-10. 14. Прекращение подачи аргона и выключение напряжения смещения. 15. Откачка камеры до давления $2,6 \cdot 10^{-3}$ Па. 16. Температура нагрева образцов не должна превышать температуру отпуска материала образца.
3	Очистка поверхности инструмента бомбардировкой ионами металла и нагрев до рабочих температур	<ol style="list-style-type: none"> 1. Подача на образцы напряжения смещения 1000-14000В. 2. Вкл., испарителя и установления минимального допустимого значения тока дуги. 3. Ионная бомбардировка поверхности образцов

		<p>путем периодического включения и отключения тока дуги(время горения на начальной стадии 2с, перерыв 20...60с.)</p> <p>4. Восстановления вакуума в камере $> 1,1 \cdot 10^{-2}$ Па.</p> <p>5. Повтор пп. 3 и 4 до полного исчезновения микро дуг на поверхности обрабатываемых образцов.</p> <p>6. Предварительны прогрев образцов при непрерывном горении дуги и давлении камеры $6,7 \cdot 10^{-3}$ Па.</p> <p>7. Подача реакционного газа (Азот) и создание давления $6,7 \cdot 10^{-2}$ Па.</p> <p>8. Окончательный прогрев образцов ионными реакционного газа и металла.</p> <p>9. Контроль температуры нагрева с помощью приборов.</p>
4	Нанесения покрытия	<p>1. Выключение испарителей.</p> <p>2. Отключения высокого напряжения и подача на образцы напряжения в пределах 40-350В.</p> <p>3. Включение испарителей</p> <p>4. Подача реакционного газа и установка его рабочего давления</p> <p>5. Установка тока дугового испарителя в пределах 70-150А (в зависимости от катода, и материала образца)</p> <p>6. Включения механизма вращения оснастки при необходимости.</p> <p>7. Конденсация покрытия в течение времени, устанавливаемого в зависимости от требуемой толщины покрытия.</p>
5	Охлаждение и выгрузка образцов	<p>1. Выключение испарителей.</p> <p>2. Выдержка образцов в течении 1 мин при рабочих опорным напряжении и давлении газа.</p> <p>3. Выключения напряжения, прекращение подачи газа в камеру, выключение механизма вращения.</p> <p>4. Охлаждение образцов в вакуумной камере до температуры $< 20^{\circ}\text{C}$.</p> <p>5. Выгрузка образцов с покрытием.</p>

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

3.1.1 Азотирования в плазме

Азотирование в плазме дугового разряда низкого давления – это процесс осуществляется с использованием, разработанного в ЛПЭЭ ИСЭ СО РАН, генератора плазмы “ПИНК” (плазменный источник с накаливаемым катодом). Данный плазмогенератор может использоваться как самостоятельный источник плазмы для финишной очистки и активации поверхности материалов и изделий в инертных газах перед напылением, а также для плазменного ассистирования в процессе напыления защитных и упрочняющих покрытий. Кроме того, этот плазмогенератор успешно используется для азотирования стальных изделий в реактивных газах за счет бомбардировки ионами, ускоренными в слое пространственного заряда, образующегося у поверхности тел, помещенных в плазму, и на которые подано отрицательное смещение ($0 \div 1000$ В), успешно заменяет тлеющий разряд. Параметры азотирования представлены в таблице 6.

Таблица 6 – параметры азотирования

Наименование параметра	Значение
Давление	$P=6,65 \cdot 10^{-3}$ Па
Рабочий газ	Азот, рабочее давление $1,1 \cdot 10^{-1}$ Па
Ток дуги	$I_{\text{разряда}}=50$ А
Потенциал смещение	0 В
Температура	0-300°C
Время	$f=80$ kHz

3.1.2 Формирования переходного слоя хрома

Для выявления оптимальных адгезионных свойств функционального слоя покрытия TiAlN предварительно на твёрдый сплав ВК8 были нанесены подслои Cr. Параметры нанесения подслоя Cr представлены в таблице 7.

Таблица 7 – параметры нанесения подслоя Cr

Наименование параметра	Значение
Давление	$P=2 \cdot 10^{-1}$ Па ($2 \cdot 10^{-3}$ мм.рт.ст.)

Рабочий газ	Азот, рабочее давление $1,1 \cdot 10^{-1}$ Па
Ток разряда	$I_{\text{разряда}} = 50$ А
Напряжение разряда	$U_{\text{разряда}} = 100 \rightarrow 180$ В
Мощность	$W = 0.25$ кВт (250 Вт)
Частота	$f = 80$ kHz
Время нанесения покрытия	30 мин

3.1.3 Цвет и толщина исследуемых покрытия

Не забудьте обратить внимание на цвет покрытий, полученных при различных напряжениях смещения. Покраснение может указывать на увеличение содержания азота в покрытии. Увеличение напряжения, по видимому, приводит к дополнительной ионизации азота вблизи поверхности конденсации. Активный азот (не молекулярный, то есть ионизированный) реагирует с ионами металлов (Ti и Al). Из литературы известно, что в покрытиях TiN с избыточным содержанием азота (область однородности достаточно широка: 24-49% азота может содержаться в покрытии, и все это соединение TiN), как правило, они имеют более высокая твердость и более хрупкая, они лучше подходят на субстрате.



без покрытия



$U = 0$ В



$U = -300$ В

Рисунок 9 – Изображение поверхности образца из сплава ВК8 с покрытием TiAlN

Измерение толщины методом CALOTEST

Результаты измерений толщины сведены в таблице 8 и в диаграмме – 1

Таблица 8 – Результаты измерений толщины			Диаграмма 1 – Результаты измерений толщины	
Покрyтия	Смещение		60мин	
	0В	-300В		
TiAlN на подложке BK8	1,36	1,8		
TiAlN на подложке BK8 (азотированный)	1,7	1,82		
TiAlN на подложке BK8 (подслой хромом)	1,9	2,1		

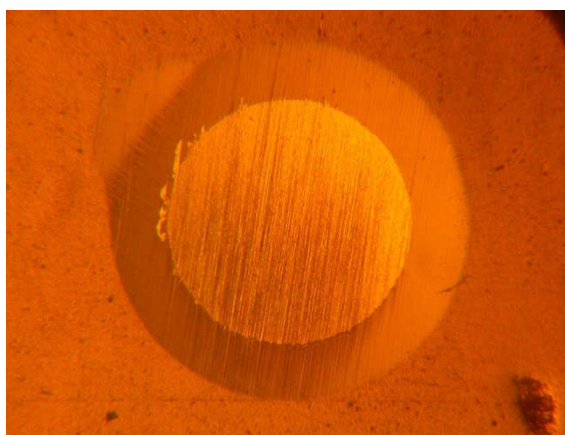


Рисунок 10 – Характерное изображение лунки, выработанной стальным шаром на поверхности образца из твердого сплава BK8 с покрытием TiAlN

3.2 Физико-механические характеристики экспериментальных образцов после обработки в плазме дуговых разрядов

Определение твердости (Н) и модуля упругости (Е) пленок измерялись динамическим методом Оливера-Фарра на приборе NHT-S-AX-000X (CSEM Instruments) с помощью четырехгранной пирамиды Виккерса при нагрузке 50 mN. Все пленки TiAlN имели одинаковую толщину $h \sim 2$ мкм. Зависимость механических свойств износостойкого покрытия Ti-Al-N от величины отрицательного смещения, характеризующую энергию ионов, бомбардирующих поверхность в процессе конденсации пленки на подложках выполненных из двух различающихся по свойствам материалов, представлена на рисунке 11. Видно, что пленки, полученные при одинаковых условиях, но на разные материалы поверхности их формирования, имеют отличия по твердости и модулю упругости. Кроме того, мы видим, что с ростом энергии ионов соотношения данных величин изменяются неодинаково. Для подложки из твердого сплава с изменением величины смещения поведение указанных параметров носит немонотонный характер.

Экспериментальные данные полученные нанотвердомером

Экспериментальные значения Н и Е позволили нам рассчитать соотношения (Н/Е) и (Н³/Е²). Видно, что эти механические характеристики зависят как от материала подложки, так и от параметров физического осаждения.

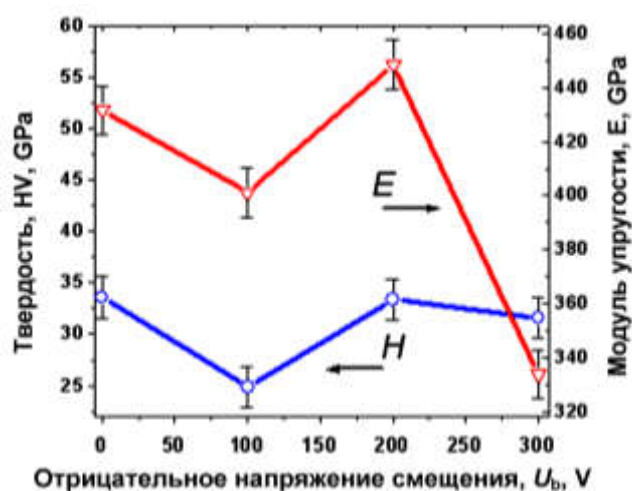


Рисунок 11 – Экспериментальные значения твердости и модуля Юнга, как функции от величины отрицательного смещения, подаваемого на обрабатываемые образцы в процессе конденсации пленки TiAlN, для образца из твердого сплава BK8

Таблица 9 – Результаты упругопластических свойств при потенциале смещения 0 В

	$W_e, \%$	H/E , отн. ед.	H^3/E^2 , ГПа
TiAlN на BK8	48	0,052	0,09
TiAlN на BK8, (азотирован)	45	0,049	0,06
TiAlN на BK8, (подслоем хромом)	35	0,050	0,07

Таблица 10 – Результаты упругопластических свойств при отрицательном потенциале смещения 300 В

	$W_e, \%$	H/E , отн. ед.	H^3/E^2 , ГПа
TiAlN на BK8	64	0,087	0,25
TiAlN на BK8, (азотирован)	61	0,068	0,21
TiAlN на BK8, (подслоем хромом)	47	0,045	0,05

Таблице 11 – Результаты измерения микротвердость покрытия

Материал покрытия	Напряжение отрицательного смещение, U _{см}

	0В	-300В
TiAlN на BK8	2121	2381
TiAlN на BK8, (азотирован)	2727	3524
TiAlN на BK8, (подслои хромом)	2156	3000

Таблице 12 – Результаты измерения нанотвердость покрытия

Материал покрытия	Твердость по Виккерсу Кг/мм ²	
	Напряжение отрицательного смещение, Усм	
	0В	-300В
TiAlN на BK8	2192	2381
TiAlN на BK8, (азотирован)	2447	2560
TiAlN на BK8, (подслои хромом)	2352	2790

3.2.1 Определения адгезии методом CSEM MICRO-SCRATCH TESTER

Скретч-тест проводился при следующих параметрах: конечная нагрузка $L_k=5$ Н (10 Н); длина трека $l=10$ мм. Каждому значению критической нагрузки соответствует три теста, проведенных при аналогичных параметрах на одном образце.

L_c – величина критической нагрузки, измеряемая в Ньютонах, выдается в результате испытаний методом SCRATCH TESTER.

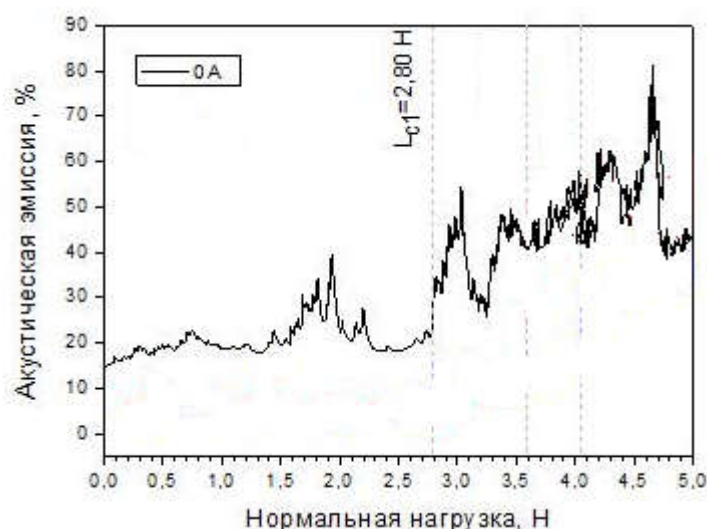


Рисунок 12 – Сигналы акустической эмиссии в скрэтч тесте при разрушении покрытий TiAlN, осажденных вакуумно-дуговым методом с плазменным ассистированием на образцы из сплава ВК-8: 1 – $U_{см} = 0В$;

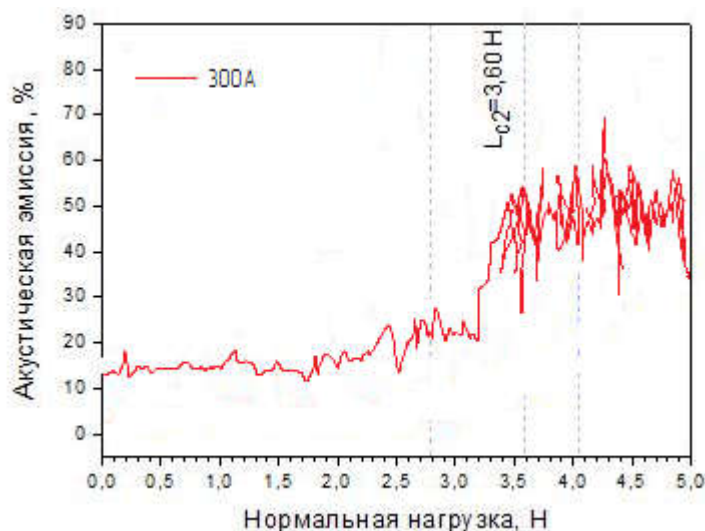


Рисунок 13 – Сигналы акустической эмиссии в скрэтч тесте при разрушении покрытий TiAlN, осажденных вакуумно-дуговым методом с плазменным ассистированием на образцы из сплава ВК-8: 1 – $U_{см} = -300В$;

Таблица 13 - Влияние величины смещения ($U_{см}$) на микро- и нанотвердость (HV), модуль Юнга (E), отношение HV/E , величину критической нагрузки (L_c), формируемого покрытия TiAlN на ВК-8 ($\gamma=50\%$).

$U_{см}$	$HV(P_H=50 мН)$, ГПа	E , ГПа	HV/E	L_c , Н
0В	24,12	339,2	0,07	1,77
-300В	29,49	314,4	0,09	1,70

В таблице 13 приведены результаты измерения механических свойств покрытий при вариации величины подаваемого смещения. Видно, что высокая твердость, прочность и величина критической нагрузки приходится на диапазон низких значений напряжения смещения $U_{см} = -(50-100)$ В. При $U_{см} = U_{пл}$ наблюдается, как уменьшение твердости, так и ухудшение

сцепления покрытия с твердосплавной подложкой рисунке 12 и 13. При $U_{см} = -300$ В твердость возрастает до 30 ГПа, в то время, как адгезия существенно ухудшается (в ≈ 2 раза)

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ61	Ардашеву Инкар Сайлауқызы

Школа	ИШНКБ	Отделение	ОМ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Машиностроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научно-исследования (НИ):	Затраты на выполнение НИР включают в себя затраты на сырье, материалы, комплектующие изделия, специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ, основную и дополнительную заработную плату исполнителей, отчисления на социальные нужды, накладные расходы
2. Нормы нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	НИР выполнялась в соответствии со стандартной системой налогообложения, отчислений, кредитования
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Предпроектный анализ	Определение потенциальных потребителей результатов исследования и анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, оценка готовности проекта к коммерциализации. Проведения FAST анализа.
2. Инициация проекта	Информация о заинтересованных сторонах проекта, цели и ожидаемые результаты НИР, трудозатраты и функции исполнителей проекта
3. Планирование управления научно-техническим проектом	Составление перечня этапов и работ по выполнению НИР, составление калькуляции по отдельным статьям затрат всех видов необходимых ресурсов
4. Оценка сравнительной эффективности исследования	Расчет интегрального показателя эффективности НИР, с учетом определения его основных составляющих: финансовой эффективности и ресурсоэффективности
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений 2. Функционально-стоимостная диаграмма 3. График проведения и бюджет НТИ 4. Календарный план проекта 5. Длительность этапов работы число исполнителей, занятых на каждом этапе (диаграмма Ганта) 6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ	

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Ардашева Инкар Сайлауқызы		

ГЛАВА 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью этого раздела работы является технико-экономическое обоснование научных исследований (НИР). Он проводится с целью определения и анализа трудовых и денежных затрат, направленных на проведение исследований, а также уровня научно-технической эффективности исследований. Рамки данной работы НИР включают в себя оборудование и процессы для нанесения жаростойких покрытий на инструментальные сплавы.

4.1 Предпроектный анализ. Потенциальные потребители результатов исследования

В настоящее время остро стоит проблема упрочнения деталей машин и механизмов, работающих в агрессивных средах и при больших механических нагрузках, с целью увеличения срока их службы и снижения негативного воздействия окружающей среды. Достичь этой цели предпочтительней путем модернизации приповерхностного слоя изделия, изготовленного из не особо прочного, но достаточно доступного материала, чем путем изготовления цельных деталей из дорогостоящего материала со схожими физическими свойствами, но без модернизации приповерхностного слоя.

Одним из наиболее доступных и при этом эффективных методов модернизации приповерхностного слоя деталей является азотирование - насыщение азотом поверхности деталей в особой азотной среде. Данный способ позволяет значительно увеличить коррозионную стойкость покрытий повысить их прочность, данная методика по своим результатам превосходит борирование, цементацию и нитроцементацию при значительно меньшей стоимости проведения процедур по упрочнению по сравнению с этими методами.

Ниже представлена диаграмма сегментирования рынка потребителей в зависимости от статуса пользователя. Потребитель здесь может выступать как студент, инженер исследователь в научной лаборатории, преподаватель учебного заведения.

Диаграмма сегментирования рынка услуг

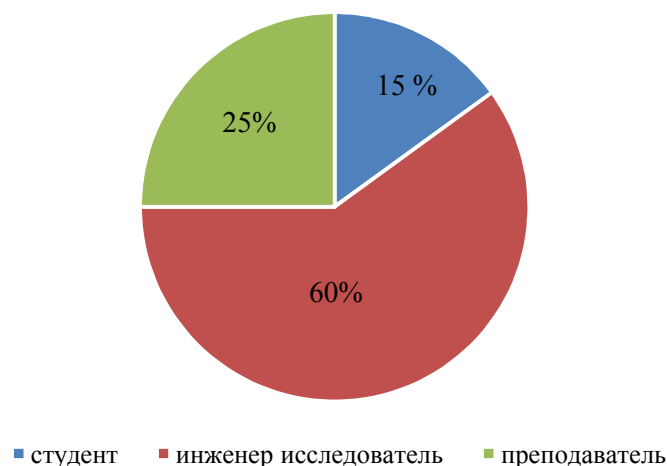


Рисунок 14 – Диаграмма сегментирования рынка услуг в зависимости от статуса потребителя

Для обоснования эффективного внедрения разработки ниже приведена таблица, отображающая динамику использования продукта.

Таблица 15– Карта сегментирования

Динамика использования	Студент	Преподаватель	Инженер - исследователь
Максимальная			
Минимальная			
Разовая			

Таким образом, из карты сегментирования следует, что основным потребителем на рынке выступает инженер - исследователь. Поэтому, будет целесообразнее, выбрать в качестве основного сегмента продажи научные институты и лаборатории.

4.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Для изготовления деталей и механизмов применяют различные материалы: инструментальные углеродистые, легированные и быстрорежущие стали, твердые сплавы, минералокерамические материалы и алмазы. Основные же материалы, применяемые для изготовления деталей и механизмов – это углеродистые и легированные стали.

Таблица 16 – Оценочная карта для сравнения конкурентных решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _{К1}	Б _{К2}	К _{К1}	К _{К2}
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1.Повышение производительности труда пользователя	0,2	5	4	0,9	0,7
2.Простота технологии нанесения покрытия	0,14	5	4	0,5	0,4
3.Энергоэкономичность	0,06	4	3	0,16	0,2
4.Надежность	0,06	5	5	0,3	0,16
5.Экологичность технологии и материала	0,2	3	3	0,3	0,3
6.Широта области применения покрытия	0,15	4	3	0,4	0,3
Экономические критерии оценки эффективности					
7.Стоимость покрытия	0,15	3	3	0,45	0,45
8.Финансирование научной разработки	0,05	4	4	0,2	0,2
Итого	1	37	33	3,65	3,25

К₁ – ионное покрытия, К₂ – газовое покрытия

На основании таблицы -3 можно видеть, что такие критерии, как производительность, энергоэффективность, автоматизация, потребность в вспомогательных материалах выше, чем у конкурентов.

4.3 Определение трудоёмкости работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости проектирования, поэтому важным моментом является определение трудоёмкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоёмкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоёмкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad (6)$$

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

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

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

Для выполнения перечисленных в таблице 4.6 работ требуются специалисты:

Инженер-исследователь (И);

Руководитель проекта (Р).

Исходя из ожидаемой трудоёмкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так

как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (7)$$

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

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

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

4. 4 Разработка графика проведения научного исследования

Планирование управления научно-техническим проектом заключается в составлении перечня работ, необходимых для достижения поставленной цели, определение сроков выполнения.

Линейный график представлен в виде таблицы 4

Таблица 17–Календарный план проекта

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания	Состав участников
Постановка целей и задач, получение исходных данных	2	01.02.2018	03.02.2018	И, НР
Составление и утверждение ТЗ	3	03.02.2018	06.02.2018	И, НР
Подбор и изучение материалов по тематике	20	06.02.2018	26.02.2018	И
Анализ технических возможностей	2	26.02.2018	28.02.2018	НР
Выбор схемы устройства	8	28.02.2018	9.03.2018	И
Выбор принципиальной схемы устройства	14	9.03.2018	23.03.2018	И
Получение покрытий	9	23.03.2018	1.04.2018	И
Измерить полученный образец	10	1.04.2018	11.04.2018	И
Проведение экспериментальных исследований	12	11.04.2018	23.04.2018	И, НР
Анализ полученных результатов	5	23.04.2018	28.04.2018	И, НР
Оформление материала	5	28.04.2018	03.05.2018	И
Подведение итогов	3	03.05.2018	06.05.2018	НР, И

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм, который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Таблица 18–Календарный план-график

Вид работ	Исполнители	Т _к , кал., дн.	Продолжительность выполнения работ													
			Февраль			Март			Апрель			Май				
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
Постановка целей и задач, получение исходных данных	И, НР	2	■													
Составление и утверждение ТЗ	И, НР	3	■													
Подбор и изучение материалов по тематике	И	20	■	■	■											
Анализ технических возможностей	НР	2				■										
Выбор устройства	И	8				■	■									
Выбор принципиальной схемы устройства	И	14				■	■	■								
Получение покрытий	И	9					■	■	■							
Измерить полученный образец	И	10						■	■	■	■					
Проведение экспериментальных исследований	И, НР	12							■	■	■	■	■			
Анализ полученных результатов	И, НР	5									■	■	■			
Оформление материала	И	5										■	■	■		
Подведение итогов	НР, И	3											■	■	■	

■ - студент

■ - научный руководитель

4.5 SWOT-анализ

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

Основные преимущества данного проекта - универсальность, высокая производительность и возможность создания оптимальных условий формирования покрытий с улучшенными характеристиками, увеличение срока службы детали и механизма, 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 усовершенствована технология покрытия деталей и механизмов, которые используются для увеличения твердости и износостойкости.

Таблица 19 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Возможность варьировать температуру и время эксперимента</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. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.</p> <p>Сл2. Вероятность получения брака.</p>
Возможности:	С1В2 – вероятность	В1Сл4 - новейшее
В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ	Расширения кол-ва поставщиков (снижение	Оборудование, позволит на ранних стадиях исследование,

<p>(т.е использование научного оборудования) В2. В связи с последними политическими событиями наблюдается тенденция на импорт замещение в данной отрасли. В3. Возможность внедрения технологии в производство В4. Участие в грантах В5. Так как группа имеет знания и опыт в данном направлении, то если возможность получать покрытия для других деталей и механизмов</p>	<p>себестоимости изделия) С1В3 - улучшение технологии в производство за счет изменения параметров и режимов покрытия С2В2 – позволяют при наличии спроса быстро нарастить объемы производства С3В2, С4В2- качество и стоимость изделия к покрытием будет являться конкурентным преимуществом на российском рынке</p>	<p>выявить и предотвратить появление брака</p>
<p>Угрозы: У1. Вероятность появления более выгодных предложений на рынке, так как в данном направлении ведется большое количество исследований. У2. Отсутствие оборудования для массового производства</p>	<p>С1У1-возможность изменения параметров и режимов покрытия, что позволит создавать новые и более качественные конкурентноспособные изделия.</p>	

Основываясь на SWOT-анализе, можно сделать вывод, что эта исследовательская работа является перспективным. Эта технология улучшит качество и сократит время и финансовые затраты. Для преодоления угроз необходимо провести дальнейшие исследования в этой области с целью повышения точности и нормализации этого метода. Еще одна важная роль будет заключаться в получении дополнительного финансирования, которое повысит мотивацию для дальнейшего

совершенствования технологии процесса нанесения покрытия и даст возможность полностью сосредоточиться на полном освоении этой технологии. И это, в свою очередь, выведет этот метод на рынок, где он создаст высокую конкуренцию другим иностранным производителям.

4.6 Инициация проекта. Организационная структура проекта

Таблица 20 – Рабочая группа проекта

№	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо- затраты, час
1		Заказчик проекта		
2	Коростелева Елена Николаевна	Руководитель проекта	Отвечает за реализацию проекта, координирует деятельность участников проекта	240
3	Ардашева Инкар Сайлаукызы	Исполнитель проекта	Выполняет отдельные работы по проекту	984
4	Гончаренко Игорь Михайлович	Ответственный исполнитель проекта	Отвечает за работу оборудования, выполняет технологические работы	536
ИТОГО:				2744

4.6.1 Ограничения и допущения проекта

Таблица 21 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
1. Бюджет проекта	----
2. Источник финансирования	ЛПЭЭ СО РАН
3. Сроки проекта (дней)	730
4. Дата утверждения плана управления проектом	25.10.2017
5. Дата завершения проекта	02.06.2018

4.7 Планирование управления научно-техническим проектом

4.7.1 Иерархическая структура работ проекта

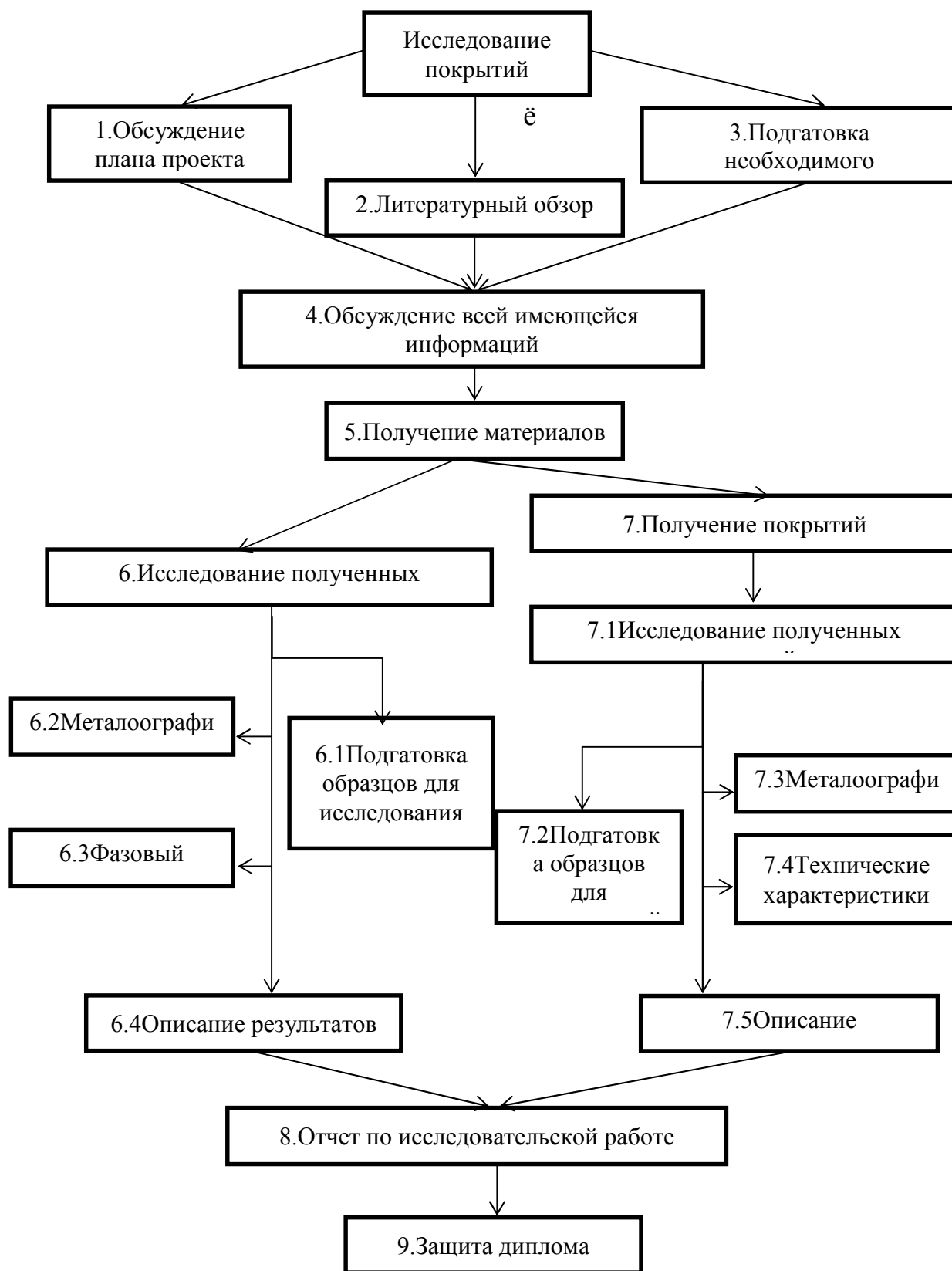


Рисунок 15 – Иерархическая структура проекта

Научно-исследовательские работы и опытно-конструкторские разработки разбиваются на этапы в соответствии с ГОСТ 15.101-98, (для НИР) ГОСТ Р 15.201-2000 (для ОКР). В зависимости от характера и

сложности НИОКР ГОСТ допускает разделение этапов на отдельные виды работ.

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 9.

Таблица - 21 Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследований	2	Поиск и изучение материалов	Студент
	3	Выбор направления исследований	Руководитель, студент
	4	Календарное планирование работ	Руководитель
Теоретическая часть	5	Поиск и изучение литературы	Студент
	6	Составление предварительного литературного обзора	Студент
	7	Анализ других методов нанесения покрытий	Студент
	8	Оценка правильности полученных результатов	Руководитель
	9	Корректировка	Студент
Экспериментальная часть	10	Подготовка и проведение нанесения покрытий	Руководитель, студент

	11	Проведение испытаний	Руководитель, студент
	12	Проведение исследований	Руководитель, студент
	13	Анализ полученных результатов	Руководитель, студент
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ВКР)	14	Составление пояснительной записки	Студент
	15	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	Руководитель, студент
	16	Подготовка презентации и доклада	Руководитель, студент

4.8 Бюджет научного исследования

Таблица 22 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Сплав ВК8		4кг	980	3920
Баллон азота		40л	460	18400
Алмазная паста		6	1200	7200
Наждачная бумага		40	45	1800
Всего за материалы				31320
Транспортно-заготовительные расходы (3-6%)				1000
ИТОГО:				32320

Амортизационные отчисления:

$$N_a = (1/T) * 100\% - \text{норма амортизации}$$

$$A = S * N_a * t \quad (8)$$

Таблица 23 – Амортизационные отчисления

№	Наименование оборудования	Цены единицы оборудования, руб.	Срок службы, T, дни	Время эксплуатации, t, дни	N _a , норма амортизации	Амортизационные отчисления, руб.
---	---------------------------	---------------------------------	---------------------	----------------------------	------------------------------------	----------------------------------

1	Вакуумно-дуговая установка	1300000	5475	10	0,00018	2340
2	Микроскоп ММР 4	300000	3650	15	0,0003	800
3	Микротвердомер ПМТ-3	260000	5475	10	0,00019	450
4	ИТОГО:					3690

Заработная плата рабочим рассчитана по тарифным ставкам и отработанному времени.

Расчет заработной платы персоналу сведем в таблицу 12

Таблица 24 – Расчет заработной платы

Исполнители	Количество	Зарплата, руб./мес.	Количество отработанных дней	Всего з.п, руб.	Дополнительная з.п.	Отчисления на социальные нужды
Руководитель	1	25000	67	55823	6698	16746
Исполнитель	1	9000	123	36900	4428	11070
ИТОГО:				92723	11126	27816

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

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}} \quad (9)$$

4.8.1 Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (10)$$

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%.

4.8.2 Накладные расходы

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и доплатной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (11)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

4.9 Затраты на электроэнергию

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

Таблица 25 – Затраты на электроэнергию

№	Наименование оборудования	Мощность, кВт	Время эксплуатации (час)	Расход электроэнергии, руб.
1	Вакуумно-дуговая установка	8	80	2790
2	Микроскоп ММР 4	0,2	120	104,6
3	Микротвердомер ПМТ-3	0,02	80	6,9
ИТОГО:				2901,5

4.9.1 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.

Тарифы на водоотведение 20,59 р.м3

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

Полная смета затрат приведена в таблице 13

Таблица 26 – Полная смета затрат

Статьи	Затраты. руб
Основные и вспомогательные материалы	32320
Заработная плата	92724
Дополнительная заработная плата	11127
Отчисления на социальные нужды	27816
Затраты на электроэнергию	2901,5
Амортизация	3690
Затраты на водоснабжение	392,8
Прочие накладные	93465
Итого	529404

Заключение по главе:

1. Потенциальным потребителем проекта могут являться университеты, научные лаборатории, научные центры.

2. Из карты сегментирования можно сделать вывод, что предложенный алгоритм по исследованию гауссова слабо развит. Поэтому данное направление имеет большие перспективы.

3. *SWOT*-анализ выявил сильные и слабые стороны проекта, которые делают проект конкурентоспособным по сравнению с другими методами освещения. Актуальность проекта, продолжительный срок службы, внедрения разработки в учреждения высшего образования, а также научные центры и лаборатории, подтверждают конкурентоспособность проекта и необходимость дальнейшего анализа возможностей разработки. Наиболее важной слабой стороной проекта является внедрение новых методик расчета. При планировании комплекса работ по проекту была построена диаграмма Ганта, которая координирует работу исполнителей в ходе выполнения исследования.

3. Для планирования бюджета были подсчитаны общие затраты на реализацию проекта, сумма которых составила 529404 рублей.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ61	Ардашеву Инкар Сайлаукызы

Школа	Новых производственных технологий	Отделение	Материаловедения
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	15.04.01 Машиностроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Целью данной работы является изучение влияния физико-механических характеристик материала подложки на свойства формируемого в дуговом разряде износостойкого нитридного покрытия. Рабочим местом при выполнении работы является ИСЭ СО РАН.</p>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 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>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <p>а) приводится перечень всех используемых в работе реагентов, их агрегатное состояние, класс опасности (токсичности), механизм воздействия их на организм человека, единицы измерения количества (концентрации); приводится перечень средств коллективной и индивидуальной защиты персонала, а также защиты окружающей среды;</p> <p>б) приводятся данные по оптимальным и допустимым значениям микроклимата на рабочем месте, перечисляются методы обеспечения этих значений; приводится 1 из расчетов (расчет освещенности на рабочем месте, расчет необходимого воздухообмена на рабочем месте, расчет необходимого времени эвакуации рабочего персонала);</p> <p>в) приводятся данные по реальным значениям шума на рабочем месте, разрабатываются или, если уже есть, перечисляются мероприятия по защите персонала от шума, при этом приводятся значения ПДУ, средства коллективной защиты, СИЗ;</p> <p>г) приводятся данные по реальным значениям электромагнитных полей на рабочем месте, в том числе от компьютера или процессора, если они используются, перечисляются СКЗ и СИЗ; механические опасности (источники, средства защиты); быстровращающиеся элементы станков, мелкая порошковая пыль.</p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); 	<p>.Средства защиты – соблюдение инструкции по эксплуатации станков, использование спецодежды и средств защиты (очки, маска, перчатки) приведение допустимых норм с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический</p>

<ul style="list-style-type: none"> – 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>документ); предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</p> <p>Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <p>а) приводятся данные по значениям напряжения используемого оборудования, классификация помещения по электробезопасности, допустимые безопасные для человека значения напряжения, тока и заземления (в т.ч. статическое электричество, молниезащита - источники, средства защиты); перечисляются СКЗ и СИЗ;</p> <p>б) приводится классификация пожароопасности помещений, указывается класс пожароопасности вашего помещения, перечисляются средства пожаробнаружения и принцип их работы, средства пожаротушения, принцип работы, назначение (какие пожары можно тушить,</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>Типичная ЧС – возникновение пожара, так как используется электрическое оборудование. При работе с оборудованием необходимо придерживаться ТБ основанной на Тои Р-45-068-97. Кабинет оснащен средствами электрической пожарной сигнализации и пожаротушения.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства: рабочее время, нормы работы за компьютером, контролирующие органы регулируются Трудовым кодексом РФ и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.</p> <p>2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны: оптимальное размещение используемых предметов в рабочей зоне регулируется СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.</p>

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Ардашева Инкар Сайлаукызы		

ГЛАВА 5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

В данном разделе магистерской диссертации проанализированы основные аспекты социальной ответственности, необходимые в ходе исследования (экологические возможные негативные последствия и ущерб здоровью человека и окружающей среде, чрезвычайные ситуация, правовые нормы и др.).

Под проектированием рабочего места понимается целесообразное пространственное размещение в горизонтальной и вертикальной плоскостях функционально взаимосвязанных средств производства (оборудования, оснастки, предметов труда и др.), необходимых для осуществления трудового процесса.

При проектировании рабочих мест должны быть учтены освещенность, температура, влажность, давление, шум, наличие вредных веществ, электромагнитных полей и другие санитарно-гигиенические требования к организации рабочих мест.

При проектировании лаборатории необходимо уделить внимание и охране окружающей среды, а в частности, организации безотходного производства.

Также необходимо учитывать возможность чрезвычайных ситуаций. Так как лаборатория находится в городе Томске, наиболее типичной ЧС является мороз. Так же, в связи с неспокойной ситуацией в мире, одной из возможных ЧС может быть диверсия.

5.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

В лаборатории, где находятся различные электроустановки, магнетрон, а также используется металлические порошки в качестве исходного продукта, могут быть следующие вредные факторы: наличие - а)

не комфортных метеоусловий; б) вредных веществ; в) производственного шума; г) недостаточной освещенности; д) электромагнитного излучения;

5.2 Метеоусловия

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

- 1) температура воздуха;
- 2) относительная влажность воздуха;
- 3) скорость движения воздуха.

При высокой температуре воздуха в помещении кровеносные сосуды кожи расширяются, происходит повышенный приток крови к поверхности тела, и выделение тепла в окружающую среду значительно увеличивается. При низкой температуре окружающего воздуха реакция человеческого организма иная: кровеносные сосуды кожи сужаются, приток крови к поверхности тела замедляется, и теплоотдача конвекцией и излучением уменьшается. Таким образом, для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Повышенная влажность воздуха ($\varphi > 85\%$) затрудняет терморегуляцию организма, т.к. происходит снижения испарения пота, а пониженная влажность ($\varphi < 20\%$) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 27 [ГОСТ 12.1.005-88].

Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было

охлаждения. В теплый период года необходимо предусмотреть защиту от попадания прямых солнечных лучей.

Работы делятся на три категории тяжести на основе общих энергозатрат организма. Работа, относящаяся к инженерам – разработчикам, относится к категории легких работ. Допустимые значения микроклимата для этого случая даны в таблице 28.

Таблица 28- Требования к микроклимату

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

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

5.3 Вредные вещества

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

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

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.

5.4 Производительный шум

Вентиляция производственных помещений предназначена для уменьшения запыленности, задымленности и очистки воздуха от вредных выделений производства, а также для сохранности оборудования. Она служит одним из главных средств оздоровления условий труда, повышения производительности и предотвращения опасности профессиональных заболеваний. Система вентиляции обеспечивает снижение содержания в

воздухе помещения пыли, газов до концентрации, не превышающей ПДК. Проветривание помещения проводят, открывая форточки. Проветривание помещений в холодный период года допускается не более однократного в час, при этом нужно следить, чтобы не было снижения температуры внутри помещения ниже допустимой. Воздухообмен в помещении можно значительно сократить, если улавливать вредные вещества в местах их выделения, не допуская их распространения по помещению. Для этого используют приточно-вытяжную вентиляцию. Кратность воздухообмена не ниже 3.

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума - это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

5.5 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:

$$L_{\Sigma} = 101g \sum_{i=1}^{i=n} 10^{0.1L} \quad (12)$$

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 29.

Таблица 29 – 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, 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.

5.6 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.

Основными источниками света являются люминесцентные лампы. В помещении лаборатории используются светильники типа ШОД. ШОД - для нормальных помещений с хорошим отражением потолка и стен, допускается при умеренной влажности и запыленности.

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

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

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

Расчет осветительной установки

Величина светового потока лампы определяется по формуле:

$$F = E \cdot S \cdot z \cdot k / n \cdot \eta \quad (13)$$

где F–световой поток лампы, лм; E–минимальная освещенность, лк, E=300лк; S – площадь помещения, м², S=42 м²; z – поправочный коэффициент, z=0,9; k – коэффициент запаса, k=1,4 осветительной установки; η–коэффициент использования осветителей, %; n- число ламп в помещении.

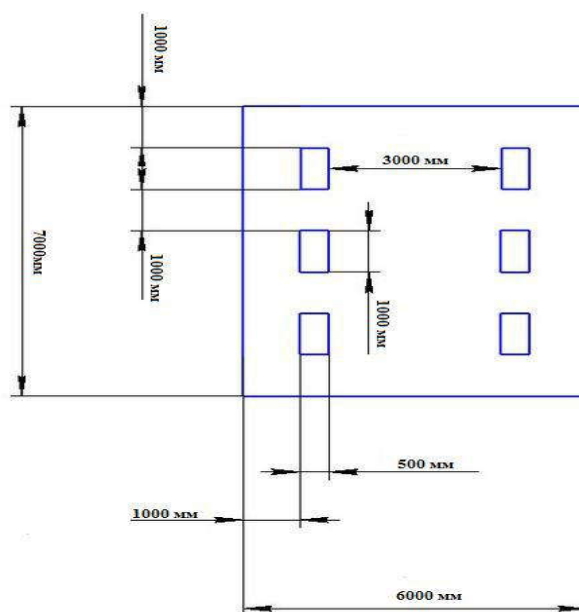


Рисунок 16 – Схема расположения светильников

Коэффициент использования светового потока - это отношение полезного светового потока, достигающего освещенной поверхности, к полезному световому потоку в помещении. Для определения коэффициента η

необходимо знать индекс помещения i , значение коэффициентов отражения стен, тип светильника.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = S/h(A + B) \quad (14)$$

где S – площадь помещения, h – высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, A, B – стороны помещения.

5.7 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

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.

Лаборатория относится к помещению с особой опасностью поражения электрическим током. В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность токоведущих частей достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений (кожухов, крышек, сеток и т.д.), расположения токоведущих частей на недоступной высоте.

Основными электробезопасными средствами в электроустановках напряжением выше 1000 В являются изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, а также изолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ (площадки, изолирующие звенья телескопических вышек и пр.).

5.8 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 Ан, Бн, Вн, Гн и Дн.

Помещение лаборатории можно отнести группе Б по степени опасности развития пожара, характеризующейся достаточно серьезной пожарной нагрузкой, поскольку в лаборатории находится достаточное

количество оборудования, а также наличествуют легковоспламеняющиеся вещества (спирт, бензин и др.).

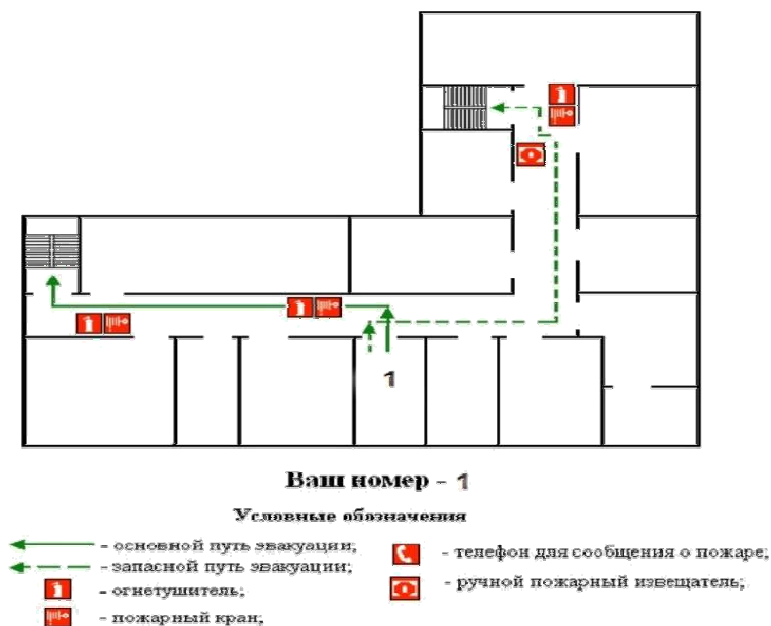


Рисунок 17 – Пути эвакуации.

5.9 Охрана окружающей среды

Охрана окружающей среды - это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения - это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства.

Для перехода к безотходным производствам в лаборатории необходимо осуществлять сбор водорода в специальные емкости (в настоящее время он выпускается в воздух). В настоящее время на первый план выдвигаются задачи борьбы с загрязнением атмосферы, так как от их решения в значительной мере зависит здоровье людей.

Охрана атмосферы включает в себя:

✓ уменьшение и полное прекращение выбросов вредных веществ в атмосферу;

- ✓ сохранение и увеличение биомассы производителей кислорода и поглотителей углекислоты;
- ✓ сохранение и восстановление оптимальной циркуляции атмосферы в региональном масштабе;
- ✓ утилизация отходов вредных производств.

5.10 Защита в ЧС

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 переморозки 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.

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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проделанной работы были изучены физико-механические свойства сплава ВК8 с покрытием TiAlN, полученные вакуумно-дуговым методом, по 4 режимам формирования. Проведённые исследования дают возможность сделать следующие выводы:

1. Исследованы сочетания упругих и пластических характеристик и установлены закономерности эволюции твердости, стойкости покрытий состава TiAlN в зависимости от режимов ионно-плазменной обработки и материалов подложек.

2. По результатам исследования показано, что с увеличением значения напряжения смещения от 0 до -300В в процессе нанесения покрытия TiAlN на исходный образец твердость увеличивается с 33 до 38 ГПа. При этом модуль упругости (модуль Юнга) снижается от 490 до 390 ГПа.

3. Показано, что значения упругой деформации разрушения (H/E) для образца ВК8 без покрытия и с покрытием TiAlN, нанесённым на исходный, азотированный сплав имеют значения 0,038 и 0,067 соответственно.

4. Показано, что значения сопротивления пластической деформации (H^3/E^2) для образца ВК8 без покрытия и с покрытием TiAlN, нанесённым на исходный, азотированный сплав ВК8 имеют значения 0,01 и 0,15 соответственно.

5. Показано, что при напряжении смещения -300В начало разрушения для композиции азотирование покрытие наступает при 1,8 Н, а для твердого сплава – при 6,5 Н.

Исходя из последних двух выводов, можно проследить следующую закономерность. При напряжении смещения -300В стойкость покрытия TiAlN выше для всех образцов при этом разрушение материала плёнки носит адгезионный характер. Напротив, в случае подачи смещения 0В стойкость покрытия TiAlN для всех образцов снижается. При этом вид разрушения будет носить когезионный характер.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережения» был произведен сравнительный расчет ресурсоэффективности передач с ПТК и свободной обоймой с расцеплением выходного вала передач с ПТК и СО. Произведен SWOT анализ, составлен план проекта, контрольные события, и рассчитан общий бюджет научного исследования.

В разделе «Социальная ответственность» был произведен анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды, вредных веществ, производственного шума, освещенность помещения, пожарной безопасности, защита в ЧС.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

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

ОСОБЕННОСТИ АДГЕЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ. Ардашева И.С. НИ ТПУ (Томск), Куминов П.О. НИ ТПУ (Томск), Гончаренко И.М., ИСЭ СО РАН (Томск).

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И КОНТРОЛЯ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ: сборник трудов IX Международной научно-практической конференции/ Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – 108 с

Список используемых источников

1. Veprek S., Argon A.S. Towards the understanding of mechanical properties of super- and ultrahard nanocomposites // J. Vac. Sci. Technol. 2002. V.20. №2. P. 650–664.
2. Shtansky D.V., Sheveiko A.N., Petrzhek M.I., Kiryukhantsev-Korneev F.V., Levashov E.A., Leyland A., Yerokhin A.L., Matthews A.. Hard tribological Ti–B–N, Ti–Cr–B–N, Ti–Si–B–N and Ti–Al–Si–B–N coatings // Surf. And Coat. Technol. – 2005. – Vol. 200. – P. 208-212.
3. Левашов Е.А., Штанский Д.В. Многофункциональные наноструктурные пленки // Успехи химии. – 2007. – Т. 76. № 5. – С. 501-509.
4. Holubar P., Jilek M., Sima M. Nanocomposite nc-TiAlSiN and nc-TiN-BN coatings: their applications on substrates made of cemented carbide and results of cutting tests // Surf. Coat. Techn. – 1999. V. 120–121. – P. 184–188.
5. Mannling H.-D., Patil D.S., Moto K. et al. Thermal stability of superhard nanocomposite coating consisting of immiscible nitrides // Surf. Coat. Techn. 2001. V. 146–147. P. 263–267.
6. Martin P.J., Bendavid A., Cairney J.M., Hoffman M. Nanocomposite Ti–Si–N, Zr–Si–N, Ti–Al–Si–N, Ti–Al–V–Si–N thin film coatings deposited by vacuum arc deposition. // Surf. Coat. Technol. 2005. V.200. P. 2228–2235.
7. Погребняк А.Д., Шпак А.П., Азаренков Н.А., Береснев В.М. Структура и свойства твёрдых и сверхтвёрдых нанокompозитных покрытий // Успехи физических наук. – 2009. – Т.179. - №1. – С.35 – 64.
8. J.Musil. Hard and superhard nanocomposite coatings. // Surface and Coating Technology 125 (2000) 322-330.
9. Штанский Д.В., Кулинич С.А., Левашов Е.А., Moore J.J. Особенности структуры и физико-механических свойств наноструктурных тонких плёнок // Физика твёрдого тела. – 2003. – Т.45, вып.6. – С.1122 – 1129
10. Левашов Е.А. Физико-химические и технологические основы само распространяющегося высокотемпературного синтеза [Текст] / Е.А.

Левашов, А.С. Рогачев, В.И. Юхвид, И.П. Боровинская. – М.: Бином, 1999. – 176 с.

11. Левашов, Е.А. Перспективные материалы и технологии само распространяющегося высокотемпературного синтеза [Текст] / Е.А. Левашов, А.С.Рогачев, В.В. Курбаткина, Ю.М. Максимов, В.И. Юхвид// М.: Изд. Дом МИ СиС, 2011. – 377 с.

12. Левашов, Е.А. Макрокинетика процессов горения СВС-смесей в системе Ti-Al-V. Фазо- и структурообразование компактных мишеней на основе диборида и алюминиды титана для ионно-плазменного распыления [Текст] / Е.А. Левашов, Р.Г. Рахбари, А.Н. Иванов, Б.Р. Сенатулин.// Изв. вузов. Цветнаяметаллургия. – 2000. – № 2. – С. 55-61.

13. Fedotov A. F. Fabrication of vacuum-arc Ti-Al-N Coatings Using Multicomponent compacted Cathodes [Text]/ A.F. Fedotov, A.A. Ermoshkin, A.P. Amosov, V.N. Lavro, S.I. Altukhov, E.I. Latukhin, S. Smetanin // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2013/ Vol. 54. No.6. PP.548-554.

14. Amosov, A. P. Producing Multicomponent SHS-Compacted Cathodes Based on Refractory Titanium Compounds for Vacuum-Arc Coatings [Text] / A. P. Amosov, E. I. Latukhin, A. F. Fedotov, A. A. Ermoshkin and S. I. Altukhov// Russian Journal of Non-Ferrous Metals, 2012, Vol. 53, No. 5, pp. 415–419.

15. Амосов, А.П. Получение и исследование свойств ионно плазменных покрытий с использованием многокомпонентных СВС прессованных катодов на основе тугоплавких соединений титана [Текст] / А.П. Амосов, В.Н. Лавро, А.Ф. Федотов, С.И. Алтухов, А.А. Ермошкин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т.

16. Werner, Z. New types of multi-component hard coatings deposited by ARC PVD on steel pre-treated by pulsed plasma beams [Text] / Z. Werner, J. Stanislawski, J. Pukoszewski, E.A. Levashov, W.Szywczyk // Vacuum. 2003. V.70. № 2 - 3. P. 263-267.

17. Левашов, Е.А. Перспективные материалы и технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза [Текст] / Е.А.

Левашов, А.С. Рогачев, В.В. Курбаткина, Ю.М. Максимов, В.И. Юхвид// М.: Изд. Дом МИ СиС, 2011. – 377 с.

18. Патент № 2305717 РФ. МПК C23C14/36, B22F3/105. Мишень для получения функциональных покрытий и способ ее изготовления [Текст] / Левашов Е.А., Курбаткина В.В., Штанский Д.В., Сенатулин Б.Р. Приоритет от 14.11.2005. Заявка 2005135023/02. Оpubл. 10.09.2007 г. Бюлл. № 25.

19. Патент № 1785144 РФ. МПК B22F7/04, C22C1/04. Способ получения многослойных композиционных изделий [Текст] / Богатов Ю.В., Левашов Е.Л., Питюлин А.Н., Боровинская И.П., Мержанов А.Г. приоритет от 14.11.1990. Заявка 4882361/02. Оpubл. 27.02.1995 г. Бюлл. № 26.

20. А.А. Андреев, С.Н. Григорьев Износостойкие вакуумно-дуговые покрытия на основе титана в инструментальном производстве [Текст] // СТИН (Станки Инструмент). – 2006. – №2. – С. 19-24.

21. Шулаев В.М., Андреев А.А. Сверхтвердые наноструктурные покрытия в ННЦ ХФТИ [Текст] / // Физическая инженерия поверхности. – 2008. – Т. 6. – № 1-2. – С. 4-19.

22. Федотов, А.П. Амосов, А.А. Ермошкин, В.Н. Лавро, Е.И. Латухин, К.С. Сметанин, С.И. Алтухов Получение вакуумно-дуговых Ti–Al–N-покрытий с использованием многокомпонентных СВС-прессованных катодов // Известия ВУЗов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2012. – №1 С. 58-65.

23. Ермошкин, А.А. Вакуумно-дуговые покрытия, полученные из многокомпонентных СВС-прессованных катодов системы Ti–C–Al–Si [Текст] / А.А. Ермошкин, А.Ф. Федотов, В.Н. Лавро, К.С. Сметанин // 13-й Международная научно-практическая конференция «Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня», С.-Петербург, 2011, С. 122-127.

24. Амосов, А.П. Получение и исследование свойств ионно - плазменных покрытий с использованием многокомпонентных СВС -

прессованных катодов на основе тугоплавких соединений титана [Текст] / А.П. Амосов, В.Н. Лавро, А.Ф.Федотов, С.И. Алтухов, А.А. Ермошкин // Известия Самарского научного центра РАН: Самара, 2011, №4(3) – Приложение, Т.13,С.16-18.

25. . Погребняк, А.Д. Структура и свойства твердых и сверхтвердых нанокompозитных покрытий [Текст] / А.Д. Погребняк, А.П. Шпак, Н.А. Азаренков, В.М. Береснев // Успехи физических наук. 2009. – Т. 179. – № 1. С. 35-64.

26. . Андреев, А.А. Свойства, применение и особенности получения наноструктурных покрытий методами физического осаждения в вакууме [Текст]. А.А. Андреев, В.М. Шулаев, С.Н. Григорьев // Вестник машиностроения. –2005. – № 9. – С. 38-42.

27. Левашов, Е.А. Многофункциональные наноструктурные покрытия: получение, структура и обеспечение единства измерений механических и трибологических свойств [Текст] / Е.А. Левашов, Д.В. Штанский, Ф.В. Кирюханцев-Корнеев и др. // Деформация и разрушение материалов. 2009. № 112. С. 19-36.

28. Rogachev, A. S. Phase evolution in the Ti-Al-B and Ti-Al-C systems during combustion synthesis: Time resolved study by synchrotron radiation diffraction analysis [Text] / A. S. Rogachev, J.-C. Gachon, H. E. Grigoryan et al. // Journal of Materials Science – 2005. – V. 40. – P. 2689 - 2691.

29. Питюлин, А.Н. СВС – прессование инструментальных твердых сплавов и функционально – градиентных материалов [Текст] // Автореф. доктор. дисс.: Черногловка. – 1996. – 43 с.

30. Shtansky, D.V. Hard tribological Ti-B-N, Ti-Cr-B-N, Ti-Si-B-N and Ti-Al-Si-B-N coatings [Text] / Shtansky D.V., Sheveiko A.N., Petrzhik M.I., Kiryukhantsev-Korneev F.V., Levashov E.A., Leyland A., Yerokhin A.L., Matthews A. // Surf. And Coat. Technol. – 2005. – Vol. 200. – P. 208-212.

31. Karvankova, P. Superhard nc-TiN/a-BN and nc-TiN/a-TiBx/a-BN coatings prepared by plasma CVD and PVD: a comparative study of their

properties [Text] / Karvankova P., Veprek-Heijman M.G.J., Zindulka O. e. a. // Surf. Coat. Techn. 2003. - V. 163-164. - P. 149-156.

32. Neidhardt, J. Wear-resistant Ti–B–N nanocomposite coatings synthesized by reactive cathodic arc evaporation [Text] / J. Neidhardt, Z. Czigany, B. Sartory, R. Tessadri, C. Mitterer //Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials –2010. – Vol. 28. – P. 23-31.

33. Dobrzanski, L.A. Structure of TiBN coatings deposited onto cemented carbides and sialon tool ceramics [Text] / Dobrzanski L.A., Staszuk M., Konieczny 176 J., Kwaoeny W., Pawlyta M.//Archives of Materials Science and Engineering–2009. – Vol. 38. –Issue 1. – P. 48-54.

34. Dobrzanski, L.A. Properties of Ti(B,N) coatings deposited onto cemented carbides and sialon tool ceramics [Text] / Dobrzanski L.A., Staszuk M., Golombek K., Pancielejko M.//Archives of Materials Science and Engineering – 2010. –Vol. 41. – Issue 2. – P. 66-73.

35. <http://www.pvdcoating.ru/rus/company/index.php>.

36. Дадонов А. И., Башков В. М. Описание изобретения к патенту российской федерации.

37. Хрущев М. М., Беркович Е. С. Микротвердость, определяемая методом вдавливания. Издательство Академии Наук СССР. Москва 1943 Ленинград.

38. Глазов В. М., Вигдорович В.Н. Микротвердость металлов. Государственное Научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии. Москва 1962.

39. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников ГОСТ 9450-76. Издание официальное. Издательство стандартов. Москва 1977.

40. Харитонов Л. Г. Определение микротвердости. Издательство металлургия. Москва 1988.

41. Справочник. Инженерный журнал. №11, приложение, 2004, с. 18-21 О.А.ГОРЛЕНКО (БГТУ)

42. М.К. Бойченко, Е.В. Булыгина, Ю.А. Быков, С.Д. Карпужин, А.В. Осипов, Ю.В. Панфилов. Исследование твердости сверхтонких пленок. Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация

43. Rotshtein V.P., Markov A.B., Ivanov Yu.F., Karlik K.V., Uglov B.V., Kuleshov A.K., Novitskaya M.V., Dub S.N., Pauleau Y., Thiery F., Shulepov I.A. Pulsed Electron-Beams Melting of Cu-Steel 316 System: Evolution of Chemical Composition and Properties// Proc. 7th Intern. Conf. on Modification of Materials with Particle Beams and Plasma Flows. – Tomsk. – 2004. – P.258-262.

44. <http://www.cleandex.ru/print/analytic/2009/01/01/nanocomposite-market>

45. J.Musil. Hard and superhard nanocomposite coatings. // Surface and Coating Technology 125 (2000) 322-330.

46. Anders S., Juttner B., et. al. Investigations of the current density in the cathode spot of a vacuum arc // Contrib. Plasma Phys. – 1985. – Vol. 25, No 5. – P. 467-473.

47. Волкова Л. Методика проведения SWOT-анализа // http://market.narod.ru/S_StrAn/SWOT.html.

48. Креницына З.В. Ресурсоэффективность отрасли: Учебное пособие /З.В.Креницына. – Томск, издательство Томского политехнического университета, 2013. – 182 с.

49. Методическая поддержка центров коммерциализации технологий /под ред. А.Бретта, О.Лукши. –М.:ЦИПРА РАН, 2006. – 368 с.

50. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для студентов средних профессиональных учебных заведений/С.В.Белов, В.А.Девисилов, А.Ф.Козьяков и др. Под общ. ред. С.В.Белова.- 6-е издание, стереотипное - М.: Высшая школа, 2008.- 423 с.

51. Девисилов В.А. Охрана труда: учебник / В.А. Девисилов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ФОРУМ, 2009. -496 с.: ил. – (Профессиональное образование).

52. В.А. Акимов. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера: Учебное пособие / В.А. Акимов, Ю.Л. Воробьев, М.И. Фалеев и др. Издание 2-е, переработанное — М.: Высшая школа, 2007. — 592 с: ил.

Приложение А

Раздел на иностранном языке

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Ардашева И.С.		

Консультант школы ИШНПТ:

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

Консультант школы ШБИП:

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

THE CLASSIFICATION, PROPERTIES AND COATING METHODS OF NANOCRYSTAL COVERING

Multilayer materials have high hardness, wear resistance, high coefficient of restitution owing to useful increase of interlayer and intergranular borders.

The anneal of multilayer TiAl coverings allows synthesizing material with structurally changeable phase composition in depth. The lower layer of such coverings has good conjugation with substrate, the upper layer provides functional coverings characteristics.

Physical and mechanical nanocomposite coverings properties

The qualitative change in cutting tools makes link to intensive development of antiwear coating deposition by ion-plasmous technologies. In the world market of technologies for hardening instrumental surface two methods are widely represented: method of chemical vapor deposition (CVD) and method of physical vapor deposition (PVD). The PVD-coatings with using arc and glow discharge possess more productivity and low deflection sensitivity of process-dependent parameters.

Every method of physical deposition has advantages and disadvantages because now various hybrid methods of deposition are used. The general requirements for these technologies are absence of selective sputtering of the target, high degree of ionization and possibility of surface ion cleaning.

The antiwear coating by structure may be divided into the following basic classes:

- 1) The monolayer and monophase coatings. For example, TiN, TiC, CrN coatings.

- 2) The hard coating is deposited on the substrate with preliminary nitriding. Steel substrate nitriding process with TiN coating has gained the greatest distribution.

3) The gradient coatings. The gradient junction from substrate is supplied at the expense of concentration elements gradient. The substrate has low hardness and shortness to working layer characterized by the much more high level of mechanical properties. In this construction the greatest adhesion with substrate is ensured because of stress minimization on the interface. The approach is used in Ti(C,N) coatings obtained by the method of physical deposition.

4) The “sandwich” type coating. For example, TiC-TiCN-TiN, TiN-TiCN-TiN, TiC-Al₂O₃-TiN coatings. In these combinations TiC coating the greatest adhesion of all coating with hard alloy is ensured. A gradient junction from carbide to nitride can be achieved with the help of TiCN coating. The TiN coating characterizes high stability along rake face and ruggedness.

5) The multiple coatings. Their structure consists of recycling layers of materials. For example, TiN, SiN_x coatings. The deposition of SiN_x coating allows preventing columnar structure formation of TiN coating and increases hardness, tribological properties and heat resistance of coating.

6) The coatings with structure “superlattice”. The structure is formed by using the capacity of multiple coatings of materials with crystal lattices and one-layer thickness 5-25 nm. For example, TiN/NbN, TaN/TiN coatings.

7) The monolayer nanostructure coatings.

Creating nanostructure coating is progressive direction nowadays.

In general, nanostructure coatings are materials with size of grains less than 100 nm. The lower limit is 2 nm. In these materials can be the manifestation of quantum effects. It considerably changes mechanical, optical and electrical properties of matter. The first researches showed that it changes such fundamental characteristics as specific heat capacity, modulus of elasticity, diffusion constant, magnetic properties and etc.

The occurrence of multiple interfaces plays main role in influence of unique properties of nanomaterials that allows, on the one hand, building a modification of structure and electronic structure of solid bodies, on the other

hand, using the new opportunities in alloying by elements independently of chemical nature and atomic sizes.

The coating methods of nanocomposite coverings

Obtaining nanocrystal materials can be divided into following three categories.

Materials formed by such methods as gaseous condensation in the atmosphere of inert gas or plasma-chemical method with receiving of superdispersed powder, aerosol and chemical synthesis, powder grinding in ball mill are treated to the first category. Primary nanostructured material represents nanodimensional particles or powders. For the following creation of volume nanocrystal materials use powders compaction (or pressing) method under pressure. However, materials obtained such a way have a number of deficiencies among which high porosity and sample heterogeneity by all volume that is caused by nonequilibrium of assembled particles in which a part of excess energy concentrates.

The second category includes volume materials the nanostructure of which is obtained by a method of intensive plastic deformation. The different schemes of mechanical deformation at low temperature are used for its realization such as intensive twisting under high pressure, angular compression and comprehensive forging using. Such action on the material leads to significant changes of material properties as it gets submicrograin structure.

Materials on whose surface the coverings with nanostructure are formed by different methods that allow improving service properties of primary material essentially are referred to the third category.

Magnetron sputtering, different kinds of plasma-chemical coverings deposition, electro-arc sputtering with plasmous assistation are perspective methods of functional deposition nowadays.

The materials of the fourth category are referred to volume materials with nanostructure which are divided into two classes. The atomic structure or chemical

composition changes in space continuously on whole volume in materials of the first class. For example glasses, solid solutions or implant materials in which nanostructure is obtained by high-temperature chilling.

The materials of the second class are built from nanodimensional compound blocks – crystallites.

There are many coating methods with nanostructure which provide different correlation between structure and material properties, it is possible to formulate some demands to all methods. The first of all, the importance of receiving of submicrograin structures having large angle grains boundary as in this case a materials properties change occurs. Secondly, the observance of correspondence between expenditures on coatings with nanostructure and by obtained material properties and its quality. In the third place, at the obtaining of nanostructured materials it is required to observe environmental safety that is important for such methods as reactive magnetron sputtering.

Equipment for deposition by PVD method

At PVD method the covering material into equipment is transferred from solid state to gaseous with the help of different physical processes. They can be divided in two big groups: evaporation and spraying processes. Evaporation is carried out at the expense of resistance, induction heating, electron-ray beams, low-voltage arc, hollow cathode, cathodic or anodic arc, laser beam. Processes can pass with additional ionization or without it, in the area of reactionary gas or without it, with potential bias or without it.

There is diode and magnetron scattering, at direct current or high-frequency current or without it, with additional modification of magnetic field or without it.

One of the three methods of ion plating is applied for coating on a tool in the majority of cases:

- ✓ electron beam evaporation,
- ✓ electric arc evaporation,
- ✓ sputtering by ion bombardment.

Processes occur in the medium of inert gas at reactionary gas (for example, nitrogen) at negative potential bias on coverable material. Reduced pressure (less than 10^{-2} bar or about 1 Pas) or high vacuum (10^{-5} bar or 10^{-3} Pas) is supported in the chamber for the improvement of particle transport.

As the covering is deposited on surface only, the coverable material should make complex planetary motion. There is placed material on special stands for realization of such movement. In the described case each of six satellites rotates about the axis but the satellite axis rotates round the stand axis. As a result each of all makes the movement under the tool providing steady coating.

Practically all modern equipment works on the closed cycle including:

- ✓ loading in the cleaned stand chamber with carefully cleaned material (tool) on which the covering will be put;
- ✓ air pumping-out from the chamber;
- ✓ chamber and material heating by external source and ionic bombardment (at positive bias voltage on the material);
- ✓ material cleaning by ionic etching (argonno-ionic or metallo-ionic) with the following pollution suction;
- ✓ evaporation or spraying and material ionization of “target” (for example, titanium) with simultaneous power supply, working gas (for example, argon) and reactionary gas (nitrogen for the formation of nitrides, hydrocarbon for the formation of carbides and oxygen for the formation oxides);
- ✓ particles transport (ions, atoms, molecules, electrons, radicals) in the medium of the ionized gas (plasma); particles collision with a material and condensation (negative bias voltage on a material is applied for process improvement);
- ✓ chamber and material cooling;
- ✓ stand unloading with a material after pressure balance.

At correctly selected parameters the process is carried out automatically with high reliability and reproducibility degree. A compulsory condition is careful material cleaning before coating, carried out by preprocessing (washing) in several

chemical mediums, partially with ultrasonic machining. After that the washing in pure water and drying follows. The tool shouldn't have any traces of thermal treatment. Microjet machining is often applied for surface preparation for covering.

In the equipment using evaporation by an electronic beam, the high voltage (1-10 kV) is brought to the cathode with a glowing arc. The focused and accelerated electrons beam (approximately 200) directed to a target with a metal covering material is created as a result. The target is established in the centre of horizontally located graphite, ceramics or copper caldron. Positive voltage is brought to the caldron. The negative voltage named bias voltage is brought to an opposite stand with coverable tools.

The positive ions of the evaporated matter (for example, titanium) enter a reaction with reactionary gas (for example, nitrogen) and form a covering material (titanium nitride) which is deposited on the coverable tool. The covering chamber is made from stainless steel with double walls with heating and cooling systems.

The electric arc is lighted at the using of arc evaporation. In the English-speaking literature the method is named AIP (Arc Ion Plating). After arc initiation its moving on target surface included in the copper cooled cathode is operated with the help of magnet system. The main purpose is to provide steady easing from target surface and to extend its lifetime. The cathode is established vertically on chamber walls, and negative voltage is brought to it. The local melt appears at the moment of arc ignition on surface of target arises. The evaporation of metallic target is started, however the unionized metals particles (drops) deposited on a tool surface are also accelerated at evaporation together with material ions. The presence of such drop phase is the central disadvantage of arc method as drops worsen covering quality. Drops are deleted by the following processing after coating. The greatest drops quantity is formed during the moment of arc ignition. The LARC technology of firm Platit allows excepting completely practically ingress of this primary drop phase on a coverable material.

On arc equipment it is possible to deposit composite (consisting of several metals) and multilayered coverings. Various targets are applied for this purpose.

On opposite chamber walls it is possible to establish some targets of pure metals (for example, titanium and aluminum), and it is possible to use one target of alloy. At a place deficiency it is possible to use the combined targets consisting of several “pure” targets reduced on one cathodic block. The application of several identical targets increases the speed of coating.

Around the equipment using a method of spraying, the widest application the equipment on magnetron basis (MSIP – Magnetron Sputtering Ion Plating) applies. At the high voltage application in the atmosphere of inert gas (as a rule, argon) there is a glow discharge. Inert gas ions from the plasma possessing high energy hit the target insert as the cathode. At the expense of a shock impulse the material is sprayed, passing an intermediate liquid phase. In this case unlike equipment with a cauldron, it is possible a free targets location. By means of magnetic fields (closed and opened) an electrons way is extended (on a spiral along magnetic field lines), plasma density and shock energy increase. Behind target the magnetic system defining the distribution of area material dispersion on all target surface is located.

For the combination of positive properties of various coating methods the equipment uniting these methods are produced. Equipment with several arc and two magnetron cathodes are spread allowing to deposit TiAlN coating with a surface layer from a reducing friction metal-carbon covering. Also there is the universal equipment allowing combining arc and magnetron spraying with CVD- and P-CVD-processes.

Thereby it is always possible to select the equipment realizing that coating method which is the optimal for the given application conditions and the set covering material. Coating processes by PVD methods are rapidly developing last years, but CVD processes are not. The CVD equipment for diamond coatings is an exception.

Vacuum-arc methods

The quantity of evaporation equipment intended for protective, decorative, heat-insulating coatings on metals, glass, plastic, ceramic etc.

All evaporation processes, plasm-chemical reactions, ionic bombardment and covering condensation occur in the vacuum chamber the metal case of which serves as the anode.

Vacuum-arc methods are based on matter generation by a cathode spot of vacuum arc: high-current and low-voltage discharge developing exclusively in steams cathode material. The vacuum arc is characterized by a low discharge burning voltage comparable with ionization atoms potential of cathode material, the big current density in the field of cathode coupling, high plasma concentration in cathode region, the emission of high-speed plasmous streams from a cathode spot. The electric arc discharge in vacuum consists of three stages: breakdown, spark and arc.

Due to the impression of voltage to vacuum gap between electrodes the appreciable current appears named dark or pre-breakdown current. It is ascertained that this current in the conditions of carefully cleaned electrodes in superhigh vacuum is only caused by electronic component. The part of ionic component grows in process of increase of both electrodes pollution. The dark current exponentially increases in pure conditions with the growth of the applied voltage and doesn't depend on cathode temperature that identifies it as a current of autoelectronic emission.

Autoelectronic emission plays the main role in breakdown occurrence between the electrodes in vacuum. At the enough high density of emissive current linked with the voltage of electric current, the Joule heating leads to transition from pure emission to thermoautoemission. The current increase promotes a further temperature growth of the emitter tip etc. The process develops as the avalanche. Beginning cathode material evaporation in the presence of electronic stream leads to ions occurrence and the indemnification of spatial electrons discharge. It leads to dramatic current rush and breakdown development.

For various electrodes materials and various vacuum degrees the rate of breakdown stress is different and can reach hundreds volt. The discharge between the electrodes which are in vacuum can be caused an auxiliary spark on one of electrodes, even if breakdown voltage for the given distance between electrodes in the absence of incendiary spark considerably more the applied voltage. For the creation of incendiary spark the additional incendiary electrode are usually used. Voltage on this electrode is submitted from the separate power supply.

At the moment of voltage supply on the cathode a pulse electrode feed of arc ignition turns on. Ignition impulses move until the arc on the cathode lights up. Then an electrode ignition feed stops. The arc passes along the cathode making rotation on cathode surface. Arc confinement on the cathode occurs at the expense of a magnetic field directed by leaking cathode current. At the arc approach to arc quenching electrode the block of arc quenching turns on and it dies away. The process is repeated again with arc ignition until voltage on the evaporator cathode would be switched off.

The supply of reacting gases in vacuum space (nitrogen, methane, etc.) in the conditions of ionic bombardment leads to covering condensation on working surfaces due to the leaking of plasm-chemical reactions. With regard to the formation of nitrides the plasm-chemical reaction looks like: $Me^+ + N^+ \rightarrow MeN$.

The major method parameters are flux density and ions energy. Ions energy is defined by the atomic structure of evaporated material, the value of accelerating voltage applied to the details.

Method disadvantage is a presence of drop fraction in plasmous stream and on the condensation surface.

The using of electroarc sprays in vacuum evaporation equipment is explained by following reasons:

- ✓ comparative equipment cheapness;
- ✓ the comparative manufacturing simplicity of long-length sprays;
- ✓ the lowered demands to accuracy of working pressure maintenance of reactionary gas at reactive sputtering;

✓ the possibility of increase distance from target to substrate.

An interesting feature of superhard ($H \geq 40$ GPa) nanostructured films consists that besides high hardness these materials possess high durability and are characterised by elastic recovery W_e reaching of 90 %. Nanocrystalline films are the new materials class possessed high hardness (40-70 GPa) and elasticity, and the methods of their receiving by variation of process parameters, allow changing purposefully values H , E , W_e .

Wear-resistant coverings for the metal-cutting tool should possess low abrasive wear and high fatigue strength, and also the stability to deformation and strain.

According to the classical wear theory the low abrasive wear is usually linked with high hardness, and high fatigue strength corresponds to the great values of the Young modulus E (elasticity). The material hardness H which, however, is not independent characteristic is usually measured in practice, and linked with elastic and plastic material properties.

The great value of the Young modulus E is characterized for the most of volume materials of high hardness, therefore, such materials are brittle. For the assessment of materials stability to elastic strain deformation the relation hardness value to elastic modulus H/E named also an index material plasticity is used, and for the assessment of material resistance of plastic deformation the H^3/E^2 parameter is applied. Hence it follows that for stability increase to elastic strain deformation and plastic deformation reduction the material should possess high hardness at the low elastic modulus.

Research purposes and tasks

With the using of electroarc synthesis sources of new multicomponent nanocrystal coverings with high adhesive and strength properties for functional application in mechanical engineering, instrument engineering and power

engineering it is needed to meet a number of basic scientific and technical challenges. The stages of the solvings of these problems are shown in the work.

The first of all, the generation concept of multicomponent arc discharges plasma with macroparticles filtration is offered and the general scheme of equipment design for the carrying out of technological processes. The main work principles and parameters of generation sources of multielement metal plasma with the using of composite special structure cathodes and the additional ionization source of reactive gas are described.

The second of all, the results of experimental works by the synthesizing of superhard nitride nanocrystal coverings on Ti and Al basis possessing hardness 30-40 GPa are set out.

The third of all, researches directed to the adhesion increase by means of preliminary surface processing and the supply of pulse-frequency negative bias potential on processed details in the formation process of a functional covering are carried out.

The fourth of all, the functional properties and qualities of synthesized coverings of concrete function were analyzed during laboratory tests and these properties were compared with the base processes parameters of their formation.

It is planned to use the obtained results at the production of new ionic-plasmous technologies and equipment samples for the synthesis of nanocrystal wear-resistance, high-adhesive coverings free from the drop fraction of cathode erosion in case of the method application of electroarc deposition from multielement discharge plasma. The results level of the operated researches is comparable with the world.