

2013, 8

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)



УТВЕРЖДАЮ
Проректор
по учебно-методической работе

А.А.Панфилов

« 14 » 01 2016 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
МЕТОДЫ НАНЕСЕНИЯ ВАКУУМНЫХ PVD-ПОКРЫТИЙ
(наименование дисциплины)

Направление подготовки 28.03.02 Наноинженерия

Профиль/программа подготовки

Уровень высшего образования бакалавриат

Форма обучения очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточного контроля (экз./зачет)
7	4, 144	18	-	18	63	Экзамен (45ч), КР
Итого	4, 144	18	-	18	63	Экзамен (45ч), КР

Владимир 2016

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины «Методы нанесения вакуумных PVD-покрытий» направлено на достижение следующих целей ОПОП 28.03.02 «Наноинженерия»:

Код цели	Формулировка цели
Ц2	Подготовка выпускников к <i>проектно-конструкторской и проектно-технологической деятельности</i> , включающей в себя участие в составе коллектива исполнителей в проведении расчетных и проектных работ при разработке процессов нанотехнологий

Целью дисциплины является изучение теоретических и экспериментальных основ вакуумных PVD-покрытий и основных технологий и методов их нанесения. Это подразумевает освоение и решения ряда взаимосвязанных научно-исследовательских и практических задач.

Основными задачами дисциплины являются:

получение теоретических навыков и компетенций в области существующих и перспективных вакуумных технологий; физико-химических основ получения покрытий; основ моделирования данных процессов, анализе новых областей использования PVD-покрытий в машиностроении; диагностики и испытаний наноматериалов и нанопокрываний в машиностроении; практических навыков в области получения покрытий.

Основные дидактические единицы (разделы): Введение в курс. Классификация вакуумных покрытий. Технологии формирования слоев нанометровой толщины в вакууме. Разработка технологических процессов (ТП) и исследование вакуумных PVD-покрытий для машиностроительных применений

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Методы нанесения вакуумных PVD-покрытий» изучается в 7-ом семестре подготовки бакалавров по направлению 28.03.02 после обязательного прохождения дисциплин «Методы диагностики в наноинженерии», «Введение в наноинженерию», «Основы нанотехнологий в машиностроении», «Физика», «Материаловедение», «Физико-химические основы нанотехнологий». Дисциплина является одной из *основных* в получении наноструктурированных пленок и покрытий, а также наноразмерных объектов различного назначения, *и базовой* для изучения последующих дисциплин ООП, в том числе для выпускной квалификационной работы,

При изучении дисциплины рассматриваются вопросы *теоретического характера*, а именно: классификация методов и технологий получения вакуумных покрытий; обзор физических принципов и основ получения вакуумных покрытий; высокотехнологичных установок для получения вакуумных PVD-покрытий; анализ областей использования наноструктурированных PVD-покрытий в отраслях машиностроения. Большое внимание уделяется изучению современного технологического оборудования в вакуумном машиностроении, в том числе для получения покрытий металлообрабатывающего инструмента, оснастки, ответственных деталей.

В рамках изучения дисциплины приобретаются *практические навыки работы* с вакуумными установками для нанесения PVD-покрытий, подготовки поверхностей под напыление механическими, химическими и физическими методами; навыками работы с экспериментальными приборами и установками для проверки физико-механических, химических, структурных и трибологических свойств покрытий и подготовке образцов для этих исследований; а также навыки работы с полученными изображениями и результатами, компьютерной обработкой результатов.

Целью дисциплины является изучение методов нанесения вакуумных PVD-покрытий, которые носят как теоретический, так и экспериментальный характер. Это подразумевает освоение и решения ряда взаимосвязанных научно-исследовательских и практических задач. Основными задачами дисциплины являются:

- получение теоретических навыков и компетенций в области математического описания существующих и перспективных технологий получения вакуумных PVD-покрытий;
- физико-химических основ получения вакуумных PVD-покрытий;
- основ моделирования данных процессов,
- анализе новых областей использования методов получения покрытий для различных применений;
- диагностики и испытаний нанопокровтий в машиностроении; практических навыков в области диагностики вакуумных покрытий.

Основной упор в курсе делается на научное направление кафедры *«Технологии машиностроения»*, а именно *«Наноструктурированные вакуумные покрытия в машиностроении»*, а также на работы в НОЦ *«Нанотехнологии»* ВлГУ.

В рамках данного курса будет рассмотрено устройство и принцип работы вакуумных установок для получения покрытий различного назначения и принципа действия, методы и технологические процессы получения вакуумных PVD-покрытий, будут изучены базовые физические явления, лежащие в основе различных методов получения пленок и покрытий, представлены примеры использования микроскопии и диагностики для исследования различных наноструктурированных покрытий и пленок. В ходе освоения курса студенты получают реальные практические навыки работы на вакуумных установках нанесения покрытий, сканирующих зондовых микроскопах и проведут измерения различных пленок и покрытий с нанометровым пространственным разрешением. Особое внимание будет уделено теоретическому и практическому освоению методов математической обработки и количественного анализа изображений срач тестирования, калотестирования, микроскопии и диагностики наноматериалов. В ходе изучения курса будет проведено несколько семинаров, на которых студенты получают возможность сделать доклады по использованию методов нанесения покрытий для перспективных изделий машиностроения, по исследованию новых перспективных пленок и наноматериалов, основываясь на статьях ведущих мировых научных изданий и интернет-публикациях.

Для успешного усвоения материала дисциплины необходимо знание общих курсов *«Физики»* из цикла общих математических и естественнонаучных дисциплин. Изучение дисциплины также рекомендовано студентам, бакалаврам и магистрам, планирующим использовать разнообразные методы получения вакуумных покрытий при выполнении курсовых и дипломных работ.

В результате изучения дисциплины студенты должны иметь четкое представление об общих принципах работы вакуумных установок, технологических процессах получения PVD-покрытий, областях применения вакуумных покрытий в машиностроении и других областях промышленности, методах проверки качества получаемых вакуумных покрытий.

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

После изучения данной дисциплины студент приобретает знания, умения и опыт, соответствующие результатам ОПОП направления 28.03.02:

Р2, Р5 (расшифровка результатов обучения приводится в ОПОП направления 28.03.02).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты обучения, согласующиеся с формируемыми компетенциями ОПОП:

способностью в составе коллектива исполнителей участвовать в проведении расчетных работ (по существующим методикам) при проектировании нанообъектов и формируемых на их основе изделий (включая электронные, механические, оптические) (ПК-6):

знать:

классификацию, основные методы и методики расчета нанесения PVD покрытий;

уметь:

в составе коллектива применять известные методики расчета технических и технологических параметров PVD покрытий;

владеть:

методиками расчета технических и технологических параметров PVD покрытий, применительно к технологиям и оборудованию, имеющемуся в вузе;

способностью в составе коллектива исполнителей участвовать в проектных работах по созданию и производству нанообъектов, модулей и изделий на их основе (ПК-7):

знать:

классификации и перспективные технологии и методы получения PVD покрытий;

уметь:

распределять роли в коллективе при проектных работах по созданию и получению PVD покрытий;

владеть:

методиками проектирования и расчета технических и технологических параметров перспективных PVD покрытий, применительно к технологиям и оборудованию, имеющемуся в вузе.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы 144 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Объем учебной работы с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости форма промежуточной аттестации
			Неделя семестра	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Контрольные работы,	СРС		
1	Раздел 1. Введение в курс. Классификация вакуумных покрытий.	7		6		6		21	6/50%	Рейтинг-контроль №1
1.1	Основные сокращения и определения		1-2	2		2		7	2/50%	
1.2	Методы нанесения вакуумных покрытий		3-4	2		2		7	2/50%	
1.3	Общие требования к ТП нанесения покрытий в вакууме		5-6	2		2		7	2/50%	
2	Раздел 2. Технологии формирования слоев нанометровой толщины в вакууме		6-11	6		6		21	6/50%	Рейтинг-контроль №2
2.1	Физические основы эпитаксии нанометровых слоев в вакууме		6-7	2		2		7	2/50%	
2.2	Принципы работы установок для получения нанометровых слоев в вакууме		8-9	2		2		7	2/50%	
2.3	Устройство и составные элементы установок для получения нанометровых слоев в вакууме	10-11	2		2		7	2/50%		
3	Раздел 3. Разработка технологических процессов (ТП) и исследование вакуумных PVD-покрытий для машиностроительных применений	12-17	6		6		21	6/50%	Рейтинг-контроль №3	
3.1	Разработка вакуумных ТП получения 2D PVD-покрытий	12-13	2		2		7	2/50%		
3.2	Разработка вакуумных ТП получения 3D PVD-покрытий	14-15	2		2		7	2/50%		
3.3	Методы исследования вакуумных PVD-покрытий для машиностроительных применений	16-17	2		2		7	2/50%		
Всего				18		18		63	18/50%	Экзамен (45ч.)

Тематический план курса

Раздел 1. Введение в курс. Классификация вакуумных покрытий.

Тема 1-1. Основные сокращения и определения.

Требования, предъявляемые к поверхности. Классификация покрытий. Основные методы нанесения неорганических покрытий. Схема процессов и основные параметры магнетронного, газотермического и вакуумного конденсационного нанесения покрытий.

Тема 1-2. Методы нанесения вакуумных покрытий.

Методы вакуумного напыления и их классификация. Основные общие параметры напыления и их влияние на эффективность процесса. Способы и технологические особенности отдельных видов напыления.

Тема 1-3. Общие требования к ТП нанесения покрытий в вакууме.

Функциональные схемы установок для вакуумного напыления. Общие требования, предъявляемые к установкам. Распылительные и вакуумные устройства установок для напыления. Энергопитание установок для напыления. Механизмы подачи материала в установках для напыления. Обзор установок для различных видов напыления.

Раздел 2. Технологии формирования слоев нанометровой толщины в вакууме.

Тема 2-1. Физические основы вакуумных методов получения нанометровых слоев при напылении.

Методы вакуумного конденсационного напыления и их классификация. Основные общие параметры вакуумного конденсационного напыления и их влияние на эффективность процесса. Способы и технологические особенности вакуумного конденсационного напыления покрытий термическим испарением. Способы и технологические особенности вакуумного конденсационного напыления покрытий взрывным, реакционным и ионным распылением материала. Методы нанесения покрытий, близкие к вакуумному осаждению.

Тема 2-2. Принципы работы установок для получения нанометровых слоев в вакууме.

Принципы работы основных систем установок для вакуумного напыления покрытий. Получение различного вида вакуума в промышленности. Влияние технологических параметров вакуума на качество покрытия.

Тема 2-3. Устройство и составные элементы установок для получения нанометровых слоев в вакууме.

Основные элементы установок и их классификация. Вакуумная система установок. Устройства для испарения и распыления материалов. Системы электропитания в установках для вакуумного напыления. Установки для вакуумного напыления покрытий.

Раздел 3. Разработка технологических процессов (ТП) и исследование вакуумных PVD-покрытий для машиностроительных применений.

Тема 3-1. Разработка вакуумных ТП получения 2D PVD-покрытий.

Выбор 2D покрытий. Выбор состава покрытия и его толщины. Применение промежуточных слоев. Выбор методов и способов напыления 2D покрытий. Напыление чистых металлов. Напыление металлических сплавов. Напыление соединений металлоидного типа и сплавов на их основе. Напыление соединений типа латтик.

Тема 3-2. Разработка вакуумных ТП получения 3D PVD-покрытий.

Выбор 3D покрытий. Выбор состава покрытия и его толщины. Применение промежуточных слоев. Выбор методов и способов напыления 3D покрытий. Напыление чистых металлов. Напыление металлических сплавов. Напыление соединений металлоидного типа и сплавов на их основе. Напыление соединений 3D типа.

Тема 3-3. Методы исследования вакуумных PVD-покрытий для машиностроительных применений.

Контроль напыленных покрытий. Анализ физико-механических свойств покрытий. Анализ толщины, структурного и химического состава покрытий, трибологические характеристики покрытий.

Перечень лабораторных работ по курсу

№ п/п	Учебно-образовательный модуль	Наименование работы	Объем в часах
1.	Раздел 1. Введение в курс. Классификация вакуумных покрытий.	Лабораторная работа №1. Методы и технология нанесения покрытий, их назначение. Принципы работы оборудования для нанесения покрытий.	2
		Лабораторная работа №2. Технологические основы ультразвуковой очистки Технологические установки для ультразвуковой очистки.	2
		Лабораторная работа №3. Подготовка поверхности деталей под вакуумное напыление.	2
2.	Раздел 2. Технологии формирования слоев нанометровой толщины в вакууме.	Лабораторная работа №4. Изучение устройства установки вакуумного нанесения покрытий UNICOAT 600 SL+.	2
		Лабораторная работа №5 Изучение устройства управляющей программы Unicoat 600 SL+.	2
		Лабораторная работа №6. Изучение технологического процесса вакуумного нанесения 2D нанокompозитов «Superlattice».	2
3.	Раздел 3. Разработка технологических процессов (ТП) и исследование вакуумных PVD-покрытий для машиностроительных применений.	Лабораторная работа №7. Изучение технологического процесса получения покрытия TiN в вакуумной установке UniCoat 600 SL+.	2
		Лабораторная работа №8-9 Технологические процессы вакуумного нанесения декоративных покрытий.	4
Всего			18

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Дисциплина «Методы нанесения вакуумных PVD-покрытий» включает в себя лекционные и лабораторные занятия и в комплексе данных занятий обеспечивает у студентов требуемые компетенции.

Лекционные занятия проводятся в форме лекций, как в традиционной форме, так и с использованием презентаций и видеороликов, мультимедийных фильмов.

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Вопросы для текущего контроля

Рейтинг-контроль №1

1. Классификация вакуумных покрытий.
2. Классификация технологий получения вакуумных покрытий и пленок.
3. Обзор установок для получения вакуумных покрытий.
4. Особенности PVD технологий получения нанопокровтий.
5. Устройства вакуумной установки UNICOAT 600 SL.
6. Особенности схемы вакуумного напыления 2D и 3D-наноструктурных покрытий на установке UNICOAT 600 SL.
7. Структура покрытий, получаемых PVD-технологиями.
8. Основные физико-механические свойства вакуумных покрытий и пленок.

Рейтинг-контроль №2

1. Модели технологических процессов нанесения PVD-покрытий.
2. Физические основы процесса вакуумного нанесения покрытий: скорость термического испарения в вакууме, энергетический спектр испаренных атомов, их угловое распределение.
3. Физические основы процесса вакуумного нанесения покрытий: расчет скорости осаждения при баллистическом и диффузионном транспорте вещества от источника к подложке, способы нагрева загрузки и конструкции испарителей, испарение сплавов и соединений.
4. Физика магнетронного распыления: электроны в скрещенных электрическом и магнитном полях.
5. Типы и характеристики магнетронных распылительных систем.
6. Потоки энергичных частиц на поверхность растущих пленок при магнетронном вакуумном напылении.
7. Особенности физических процессов при реактивном ионно-плазменном напылении: поглощение газов и гистерезисные явления при реактивном напылении, напыление в режиме постоянных парциальных давлений.
8. Лазерное испарение и его физические особенности: взаимодействие лазерных пучков с поверхностью материалов, глубины проникновения, коэффициенты отражения, механизмы передачи энергии, испарение материалов под действием лазеров, импульсное лазерное испарение, влияние мощности и длительности импульса.

Рейтинг-контроль 3

1. Методы измерения и исследования физико-механических и трибологических свойств вакуумных покрытий.
2. Особенности технологии нанесения PVD-покрытий на пластмассы.

3. Особенности получения вакуумных наноструктурированных покрытий режущего инструмента.
4. ТП алмазоподобных покрытий в вакууме.
5. Оптимизация ТП нанесения PVD-покрытий.
6. Методы подготовки поверхности к напылению: механическая, химическая, плазмохимическая и ионная обработка поверхности, вакуум-термическая и химико-термическая подготовка поверхности.
7. Особенности нанесения PVD-покрытий: методы нагрева и охлаждение подложек, измерения температуры, плазмостойкие нагреватели, геометрия внеосевого напыления, влияние потенциала подложки на плазменное окисление пленок.
8. Составные части оборудования для нанесения покрытий: вакуумные насосы, вентили, контролеры расхода газов, блоки питания испарителей, электронных пушек, мишеней, планетарные механизмы подложкодержателей, заслонки.

Вопросы к экзамену

1. Классификация вакуумных покрытий.
2. Классификация технологий получения вакуумных покрытий и пленок.
3. Обзор установок для получения вакуумных покрытий.
4. Особенности PVD технологий получения нанопокровтий.
5. Устройства вакуумной установки UNICOAT 600 SL.
6. Особенности схемы вакуумного напыления 2D и 3D-наноструктурных покрытий на установке UNICOAT 600 SL.
7. Структура покрытий, получаемых PVD-технологиями.
8. Основные физико-механические свойства вакуумных покрытий и пленок.
9. Модели технологических процессов нанесения PVD-покрытий.
10. Физические основы процесса вакуумного нанесения покрытий: скорость термического испарения в вакууме, энергетический спектр испаренных атомов, их угловое распределение.
11. Физические основы процесса вакуумного нанесения покрытий: расчет скорости осаждения при баллистическом и диффузионном транспорте вещества от источника к подложке, способы нагрева загрузки и конструкции испарителей, испарение сплавов и соединений.
12. Физика магнетронного распыления: электроны в скрещенных электрическом и магнитном полях.
13. Типы и характеристики магнетронных распылительных систем.
14. Потоки энергичных частиц на поверхность растущих пленок при магнетронном вакуумном напылении.
15. Особенности физических процессов при реактивном ионно-плазменном напылении: поглощение газов и гистерезисные явления при реактивном напылении, напыление в режиме постоянных парциальных давлений.
16. Лазерное испарение и его физические особенности: взаимодействие лазерных пучков с поверхностью материалов, глубины проникновения, коэффициенты отражения, механизмы передачи энергии, испарение материалов под действием лазеров, импульсное лазерное испарение, влияние мощности и длительности импульса.
17. Методы измерения и исследования физико-механических и трибологических свойств вакуумных покрытий.
18. Особенности технологии нанесения PVD-покрытий на пластмассы.
19. Особенности получения вакуумных наноструктурированных покрытий режущего инструмента.
20. ТП алмазоподобных покрытий в вакууме.
21. Оптимизация ТП нанесения PVD-покрытий.

22. Методы подготовки поверхности к напылению: механическая, химическая, плазмохимическая и ионная обработка поверхности, вакуум-термическая и химико-термическая подготовка поверхности.
23. Особенности нанесения PVD-покрытий: методы нагрева и охлаждения подложек, измерения температуры, плазмостойкие нагреватели, геометрия внеосевого напыления, влияние потенциала подложки на плазменное окисление пленок.
24. Составные части оборудования для нанесения покрытий: вакуумные насосы, вентили, контролеры расхода газов, блоки питания испарителей, электронных пушек, мишеней, планетарные механизмы подложкодержателей, заслонки.

Практические задачи

1. Предложить конструкцию и химический состав многослойного покрытия, полученного вакуумными методами, обеспечивающего наибольшее повышение интенсивности износа при скорости резания 157 м/мин, подача на зуб – 0,25 мм/зуб и одновременно обладающего как можно более высокой трещиностойкостью.
2. Предложить конструкцию и химический состав многослойного покрытия, полученного вакуумными методами, обеспечивающего наибольшее повышение интенсивности износа при скорости резания 247 м/мин, подача на зуб – 0,4 мм/зуб и одновременно обладающего как можно более высокой прочностью сцепления с инструментальной основой.
3. Предложить конструкцию и химический состав многослойного покрытия, полученного вакуумными методами, обеспечивающего наибольшее повышение прочности сцепления с инструментальной основой и одновременно обладающего как можно более высокой трещиностойкостью.
4. Предложить конструкцию и химический состав многослойного покрытия, полученного вакуумными методами, обеспечивающего максимальную производительность при точении серого чугуна с использованием СОЖ.
5. Предложить конструкцию и химический состав многослойного покрытия, полученного вакуумными методами, обеспечивающего максимальную производительность при фрезеровании алюминиевого сплава Д16Т без использования СОЖ.
6. Предложить конструкцию и химический состав многослойного покрытия, полученного вакуумными методами, обеспечивающего максимальное качество поверхностного слоя производительность при точении жаропрочных сталей.
7. Предложить варианты ионной имплантации черных металлов для повышения износостойкости валов в вакуумной среде.
8. Предложить варианты ионной имплантации металлов для повышения прочности поверхностного слоя изделия (зубчатые шестерни и колеса).
9. Предложить варианты ионной имплантации металлов для повышения коррозионной стойкости ответственных деталей в агрессивной среде.
10. Предложить варианты ионной имплантации нержавеющей стали для повышения износостойкости шестерен в вакуумной среде.

Тесты и задания

Тест №1: Максимуму функции распределения молекул по скоростям соответствует

1. средняя квадратичная скорость;
2. скорость теплового движения молекул;
3. средняя арифметическая скорость;
4. наиболее вероятная скорость;
5. нет правильного ответа.

Тест №2: Попадание атмосферного воздуха во включенную термopарную лампу ПМТ-2

1. Приводит к повышению чувствительности лампы;
2. Повышает верхний предел измерения;
3. Не опасно;
4. Приводит к выходу лампы из строя;
5. Приводит к возникновению пробоя между электродами.

Тест №3: Функция распределения частиц по скоростям показывает долю частиц, скорости которых

1. больше наиболее вероятной;
2. меньше наиболее вероятной;
3. лежат в интервале скоростей от V до $V+dV$;
4. равны среднеквадратичной;
5. нет правильного ответа.

Тест №4: Среднюю арифметическую скорость молекул можно определить по формуле:

- | | | | |
|----|--------------------------------|----|-----------------------------|
| 1. | $V = \sqrt{\frac{kT}{3\pi m}}$ | 4. | $V = \sqrt{\frac{8kT}{RM}}$ |
| 2. | $V = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$ | 5. | $V = \sqrt{\frac{8kT}{m}}$ |
| 3. | $V = \sqrt{\frac{2kT}{m}}$ | | |

Тест №5: Молекула после удара о стенку отлетает от нее

1. под углом падения;
2. по нормали к поверхности стенки;
3. преимущественно вдоль поверхности;
4. в направлении обратном направлению падения;
5. нет правильного ответа.

Тест №6: Длина свободного пробега частицы – это

1. средний путь между двумя последовательными соударениями;
2. средний путь за единицу времени;
3. максимальный путь, пройденный за единицу времени;
4. путь, при прохождении которого вероятность столкновения частиц равна единице;
5. полный путь за единицу времени.

Тест №7: Формула Сезерленда учитывает влияние

1. массы молекулы на давление;
2. температуры на среднюю скорость;
3. массы молекулы на наиболее вероятную скорость;
4. давления на скорость частицы;
5. температуры на сечение соударения частиц.

Тест №8: Закон Дальтона выполняется

1. для любых газов;
2. для любых химически взаимодействующих газов;
3. только для химически не взаимодействующих газов;
4. только для атомарных газов;
5. только для молекулярных газов.

Тест №9: Предельный вакуум механического вращательно-масляного двухступенчатого насоса составляет

1. 10^{-8} мм рт.ст.;
2. 10^{-3} мм рт.ст.;
3. 10^0 мм рт.ст.;

4. 10^1 мм рт.ст.;

5. 10^3 мм рт.ст.;

Тест №10: С какого давления можно запускать пароструйный насос

1. С атмосферного давления.

2. С давления выше атмосферного.

3. С давления менее 0,001 мм.рт.ст.

4. С давления менее 0,1 мм.рт.ст.

5. С любого давления.

Самостоятельная работа студентов

Ниже приводится перечень тем для самостоятельного прохождения студентом:

1. Теоретические основы вакуумной техники.

2. Физические основы получения термовакuumных покрытий.

3. Ионно-плазменные покрытия.

4. Ионная имплантация.

Темы рефератов:

1. Основные понятия кинетической теории разреженных газов, основные положения. Закон распределения молекул по скоростям.
2. Давление газа с точки зрения молекулярно-кинетической теории. Закон Дальтона. Единицы давления.
3. Число молекул, ударяющихся о стенку, их средняя энергия.
4. Кинетические характеристики молекулярного движения. Понятие сечения и средней длины свободного пробега. Распределение молекул по длинам свободного пробега.
5. Процессы переноса в газах. Виды процессов переноса. Общее уравнение переноса. Вязкость.
6. Теплопроводность газов. Зависимость теплопроводности от внешних факторов. Коэффициент аккомодации.
7. Диффузионное движение. Нестационарная диффузия. Взаимная диффузия и самодиффузия.
8. Явления переноса при низких давлениях. Разность давлений между различно нагретыми частями газа. Эффузия.
9. Понятие о степенях вакуума и скорости откачки. Основное уравнение вакуумной техники.
10. Классификация вакуумных насосов и их основные характеристики. Методы определения скорости действия насоса.
11. Течение газа по трубопроводам. Методика расчета пропускной способности сложного трубопровода
12. Объемная откачка. Вращательные вакуумные насосы. Принцип газового балласта. Рабочие жидкости вакуумных насосов.
13. Физические принципы пароструйной откачки. Диффузионные, эжекторные и бустерные насосы. Рабочие жидкости и сервисное оборудование для пароструйных насосов.
14. Молекулярная откачка. Конструкция и принцип действия турбомолекулярного насоса.
15. Насосы ионно-сорбционного типа. Геттерные, орбитронные и магнитроразрядные насосы.

16. Сорбция при низких температурах. Криогенные насосы. Классификация, принцип действия.
17. Классификация приборов для измерения вакуума. Жидкостные манометры.
18. Вакуумметры для измерения среднего вакуума. Механические деформационные и тепловые манометры.
19. Измерение высокого вакуума. Ионизационные манометры.
20. Градуировка манометров. Методы изотермического расширения, постоянного объема, переменной проводимости.
21. Измерение парциальных давлений. Основные параметры масс-спектрометров. Принцип действия магнитного масс-спектрометра.
22. Масс-спектрометры нестационарного типа. Основные отличительные особенности времяпролетного, радиочастотного и квадрупольного масс-спектрометров. Градуировка масс-спектрометров.
23. Течеискание. Требования к герметичности вакуумных систем. Методы течеискания. Пробные вещества для течеискания и критерии их выбора.
24. Конструктивные элементы вакуумных систем. Общие сведения, разъемные и неразъемные соединения.
25. Коммутационная вакуумная аппаратура: вентили, клапаны, вспомогательное оборудование. Системы ввода движения в вакуумные установки.

Курсовая работа

Примерная тематика курсовой работы:

1. Разработка технологического процесса нанесения 3D-наноструктурированного покрытия TiAlN.
2. Разработка технологического процесса нанесения 2D-наноструктурированного покрытия типа superlattice на примере TiN/AlN.
3. Разработка управляющей программы и технологии нанесения декоративного нанопокрытия на корпусную деталь из алюминиевого сплава.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

а) основная литература (электронно-библиотечная система ВлГУ):

1. Наноматериалы: учебное пособие / Д.И. Рыжонков, В.В. Лёвина, Э.Л. Дзидзигури. — Москва: Бинوم. Лаборатория знаний, 2012. — 365 с.: (Нанотехнология). — Библиогр.: с. 363. — ISBN 978-5-94774-724-9.
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996310975.html>.
2. Методы получения и свойства нанообъектов [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Н.И. Минько, В.В. Строкова, И.В. Жерновский, В.М. Нарцев. - 2-е изд., стер. - М.: ФЛИНТА, 2013. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785976503267.html>.
3. Методы получения и исследования наноматериалов и наноструктур [Электронный ресурс] / Е.Д. Мишина. - М.: БИНОМ, 2013. <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996321315.html>.
4. Материалы и методы нанотехнологий [Электронный ресурс] / Старостин В.В. - М.: БИНОМ, 2012. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996314447.html>.
5. Нелинейные явления в нано- и микрогетерогенных системах [Электронный ресурс] / С.А. Гриднев, Ю.Е. Калинин, А.В. Ситников, О.В. Стогней. - М.: БИНОМ, 2012. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996302949.html>.

б) дополнительная литература (электронно-библиотечная система ВлГУ):

1. Беляев, И.В. Информационный каталог современного экспериментального оборудования и научных приборов на базе научно-образовательных организаций и ведущих предприятий Владимирской области / И.В. Беляев, В.А. Кечин, Г.А. Гладкий. — Владимир: Владимирский гос. университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых (ВлГУ), 2011. — 44 с. <http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/2993/1/00588.pdf>.
2. Морозов В.В., Сысоев Э.П. Нанотехнологии в керамике: монография в 2-х частях [Электронный ресурс]. Ч.1. Наночастицы 2010. - 276 с. Ч.2: Нанопленки, нанопокрyтия, наномембраны, нанотрубки, наностержни, нанопроволока. 2011 – 167 с.
<http://e.lib.vlsu.ru:80/handle/123456789/2226>
<http://e.lib.vlsu.ru:80/handle/123456789/2487>
3. Лазерное наноструктурирование материалов: методы реализации и диагностики [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.М. Аракелян [и др.]; Владимирский государственный университет (ВлГУ), 2010. — 140 с. — ISBN 978-5-9984-0083-4
<http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/2105/3/00698.pdf>.
4. Микроструктуры, наноструктуры и гидродинамические неустойчивости, индуцированные лазерным излучением на поверхности твердых тел: монография / С.М. Аракелян [и др.]; — Владимир: Владимирский гос. университет (ВлГУ), 2010. — 144 с.. — ISBN 978-5-9984-0094-0. <http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/3067/1/00698.pdf>.
5. Наноструктурные покрытия: пер. с англ. / под ред. А. Кавалейро, Дж. Т. М. де Хоссона. — Москва: Техносфера, 2011. — 750 с. : ил. — (Мир материалов и технологий) — ISBN 978-5-94836-182-6.

в) периодические издания:

1. Нанотехнологии: наука и производство: информационно-аналитический журнал. — Москва: Образование плюс.
2. Нанотехнологии: информационно-аналитический журнал. — Москва: Образование плюс.
3. Российские нанотехнологии. — Москва: Парк-медиа.
4. Нанотехнологии: разработка и применение: научно-технический журнал.

г) Интернет-ресурсы:

http://www.portalnano.ru/	http://www.ru-tech.ru/pub/nano
http://www.ntsр.info/	http://www.nanotech.ru/
http://www.nanonewsnet.ru/	http://nano-info.ru/
http://www.rusnanoforum.ru/	http://www.iacnano.ru/
http://www.nanometer.ru/	http://www.nanoprom.net/
www.rusnano.com	http://www.nanobusiness.fi/

Учебно-методические издания

1. Жданов А.В. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Методы нанесения вакуумных PVD-покрытий» для студентов направления 28.03.02 [Электронный ресурс] / сост. Жданов А.В.; Влад. гос. ун-т. ТМС - Владимир, 2016. - Доступ из корпоративной сети ВлГУ. - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>
2. Жданов А.В. Методические рекомендации к выполнению самостоятельной работы по дисциплине «Методы нанесения вакуумных PVD-покрытий» для студентов направления 28.03.02 [Электронный ресурс] / сост. Жданов А.В.; Влад. гос. ун-т. ТМС - Владимир, 2016. - Доступ из корпоративной сети ВлГУ. - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>
3. Жданов А.В. Методические рекомендации к выполнению курсовой работы по дисциплине «Методы нанесения вакуумных PVD-покрытий» для студентов направления 28.03.02 [Электронный ресурс] / сост. Жданов А.В.; Влад. гос. ун-т. ТМС - Владимир, 2016. - Доступ из корпоративной сети ВлГУ. - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>
4. Жданов А.В. Оценочные средства по дисциплине «Методы нанесения вакуумных PVD-покрытий» для студентов направления 28.03.02 [Электронный ресурс] / сост. Жданов А.В.; Влад. гос. ун-т. ТМС - Владимир, 2016. - Доступ из корпоративной сети ВлГУ. - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

- 1) Портал Центр дистанционного обучения ВлГУ [электронный ресурс] / - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>
- 2) Раздел официального сайта ВлГУ, содержащий описание образовательной программы [электронный ресурс] / - Режим доступа: Образовательная программа 28.03.02 «Наноинженерия»
<http://op.vlsu.ru/index.php?id=169>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для обеспечения учебного процесса по дисциплине «Методы нанесения вакуумных PVD-покрытий» предусмотрено использование следующих лабораторий кафедры ТМС:

1. Лаборатория 2D- и 3D наноструктурированных покрытий (ауд. 119-4)

Краткая характеристика помещения:

Общая площадь – 102 кв.м (2 этажа). 1 этаж – лабораторное и производственное оборудование (67 кв.м), 2 этаж – учебный класс на 15 посадочных мест (36 кв.м). Соответствуют нормам СанПиН 2.2.1./2.1.1.1278-03, СанПиН 2.2.4.548-96, СанПиН 2.2.2./2.4.1340-03, СанПиН 2.4.3.1186-03, ППБ 01-03, СНИП 21-01-97, СНИП 23-05, НПБ 104-03

Оборудование:

1. Установка для нанесения наноструктурированных покрытий UniCoat 600SL+; Производитель – РФ, год выпуска - 2008.

Установка для нанесения покрытий методом PVD с максимальной толщиной многослойного сэндвич-покрытия до 20 мкм на весь диапазон используемого концевого ин-

струмента с системой визуализации, управления и термометрирования технологического процесса в течение всего цикла изготовления. Основные типы покрытий: традиционные покрытия – TiN, TiCN, Ti-C:H; 3D-нанокompозитные покрытия; 2D-нанокompозитные покрытия и пленки (в том числе алмазоподобные)- суперлаттики. Соответствует требованиям ОСТ 107.444.0001.004 ПДИР440310.002ТУ

Основные технические характеристики: размер мишеней, мм - 492x78 , ширина зоны эффективного распыления мишени, мм – 72; габаритные размеры магнетронов, мм - 550x105x60; - возможность работы каждой пары в дуальном режиме; количество магнетронов, шт. – 4; выходная мощность, кВт - 2x12; выходной ток, А - 0.5-20; блок питания магнетронов импульсный с задаваемой частотой 0.1-40 кГц, оснащен системой стабилизации параметров и системой дугогашения; возможность работы блока в дуальном режиме и независимой работы каждого канала; диаметр инструмента, мм - от 2 до 200 мм; размеры вакуумной камеры, мм – 600 x 600 x 600

2. Стационарная установка для измерения микротвердости HVS 1000.

Производитель – Тайвань. Предназначен для измерения микротвердости в том числе и покрытий.

3. Испытательная система на растяжение термокамерой WDW-100.


Жесткость силовой рамы: 100 кН/мм, Наибольшая предельная нагрузка: 100 кН (10 тс); Тип привода: электромеханический, Точность измерения нагрузки: $\pm 1,0\%$ (по заказу 0,5%), Диапазон измерения нагрузки: 400 Н ~ 100 кН; (0.4%-100% полной шкалы, автоматически переключаемые шкалы), 6 шкал, Разрешение нагрузки: 0,001% FS, Диапазон измерения деформации: 2 – 100%, Точность измерения деформации: $\pm 1,0\%$.

4. Калотестер CSM CAT (Модель CAT-S-AE), Производитель: CSM (Швейцария).

5. Микрокомбитестер CSM MCT Производитель: CSM (Швейцария).

6. Трибометр CSM (Модель TRB-S-CE-000) Производитель: CSM (Швейцария).

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС
ВО по направлению 28.03.02 «Наноинженерия»

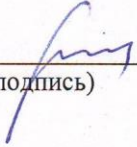
Рабочую программу составил к.т.н., доцент Жаанов А.В. 
(ФИО, подпись)

Рецензент:
(представитель работодателя) ООО «Конструкторское
машиностроения», генеральный директор

Дарсалия Р.Г.
(место работы, должность, ФИО, подпись)

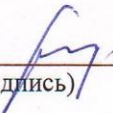


Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Технология машиностроения
Протокол № 5/1 от 14.01.2016 года

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор Морозов В.В. 
(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии
направления 28.03.02 «Наноинженерия»


Протокол № 5/1 от 14.01.2016 года

Председатель комиссии д.т.н., профессор Морозов В.В. 
(ФИО, подпись)

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на 2016/2017 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 1.09.2016 года

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор Морозов В.В. 

Рабочая программа одобрена на _____ учебный год

Протокол заседания кафедры № _____ от _____ года

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор Морозов В.В. _____

Рабочая программа одобрена на _____ учебный год

Протокол заседания кафедры № _____ от _____ года

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор Морозов В.В. _____