




Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»**

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель программы аспирантуры


_____ А.Л. Каменева
д.т.н., профессор кафедры ИТМ

« 19 » « мая » 2022г.

Рабочая программа дисциплины по программе аспирантуры

**«Наноструктурированные пленки и покрытия в конструкционных и
функциональных материалах различного назначения: разработка и
методы получения»**

Научная специальность	2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы
Направленность (профиль) программы аспирантуры Выпускающая(ие) кафедра(ы)	Нанотехнологии и наноматериалы Инновационные технологии машиностроения
Форма обучения	Очная
Курс: 3	Семестр (ы): 5
Виды контроля с указанием семестра:	
Экзамен: 5	Зачет: Диф.зачет

Пермь 2022

1. Общие положения

Рабочая программа дисциплины «**Наноструктурированные пленки и покрытия в конструкционных и функциональных материалах различного назначения: разработка и методы получения**» разработана на основании следующих нормативных документов:

- Приказ Минобрнауки России от 20.10.2021 N 951 "Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)";
- Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 N 2122 "Об утверждении Положения о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)";
- Самостоятельно устанавливаемые требования к реализуемым программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Пермского национального исследовательского политехнического университета;
- Базовый план по программе аспирантуры;
- Паспорт научной специальности.

1.1. Цель учебной дисциплины – формирование комплекса знаний, умений и навыков в области разработки новых наноструктурированных пленок и покрытий в конструкционных и функциональных материалах, перспективных для использования в различных отраслях промышленности и медицине.

1.2 Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Наноструктурированные пленки и покрытия в конструкционных и функциональных материалах различного назначения: разработка и методы получения» является обязательной дисциплиной образовательного компонента плана аспиранта.

Дисциплина используется при подготовке к сдаче кандидатского экзамена по специальности 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы.

Кандидатский экзамен представляют собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени кандидата наук к проведению научных исследований по конкретной научной специальности и отрасли науки, по которой подготавливается или подготовлена диссертация.

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате изучения дисциплины аспирант должен демонстрировать следующие результаты:

Знать:

- современные наноструктурированные пленки и покрытия для использования в конструкционных и функциональных материалах;
- области прикладного применения наноструктурированных пленок и покрытий в конструкционных и функциональных материалах.

Уметь:

- выбирать и обосновывать наноструктурированные пленки и покрытия для использования в конструкционных и функциональных материалах;
- выбирать и обосновывать методы получения наноструктурированных пленок и покрытий для использования в конструкционных и функциональных материалах.

Владеть:

- навыками разработки составов наноструктурированные пленки и покрытия для использования в конструкционных и функциональных материалах;
- навыками подбора оптимальных методов и технологий для нанесения наноструктурированных пленок и покрытий в зависимости от эксплуатационного назначения инструмента, пар трения и деталей машин их конструкционных и функциональных материалов.

3. Структура учебной дисциплины по видам и формам учебной работы

Таблица 1

Объем и виды учебной работы

№ п.п.	Вид учебной работы	Трудоемкость, ч
		5 семестр
1	Аудиторная работа	20
	В том числе:	
	Лекции (Л)	5
	Практические занятия (ПЗ)	6
2	Контроль самостоятельной работы (КСР)	9
	Самостоятельная работа (СР)	88
	Форма итогового контроля:	Экзамен 36 час

4. Содержание учебной дисциплины

4.1. Содержание разделов и тем учебной дисциплины

Раздел 1. Наноструктурированные пленки и покрытия в конструкционных и функциональных материалах.

(Л – 2, ПР - 0, СР – 30)

Тема 1. Основы классификации и типы структур наноструктурированных пленок и покрытий (НПП) в конструкционных и функциональных материалах. Основные параметры НПП. Закономерности зародышеобразования и роста НПП. Механизмы роста НПП. Основные требования к поверхности упрочняемого изделия и осаждаемым НПП. НПП с высокими износостойкими, теплостойкими, ударостойкими, коррозионностойкими, физико-механическими и трибологическими свойствами. Основы разработки и использования новых технологических процессов и оборудования в производстве и модификации НПП. Области применения НПП.

Тема 2. Кристаллическая структура и ее параметры. Силы связи в кристаллах. Ионные, ковалентные, металлические и молекулярные кристаллы и их основные свойства. Кристаллическая структура вещества и ее описание. Рентгеноструктурный анализ. Электронная структура твердого тела. Электрические, магнитные и оптические свойства твердых тел. Дефекты кристаллической структуры. Точечные, линейные, поверхностные и объемные дефекты. Теплоемкость и теплопроводность. Температурные зависимости электропроводности наноструктурированных пленок и покрытий в конструкционных и функциональных материалах.

Раздел 2. Методы получения наноструктурированных пленок и покрытий для использования в конструкционных и функциональных материалах.

(Л – 3, ПР - 4, СР – 30)

Тема 3. Методы получения НПП, основанные на химических процессах. Химическое осаждение из паровой фазы (CVD-технологии). Основы нанесения покрытий методом CVD. Основные стадии и особенности процесса нанесения НПП методом CVD. Осаждение с

использованием плазмы тлеющего разряда. Световая и электронная литография. Осаждение из растворов металлоорганических соединений. Химическое и электрохимическое анодирование.

Тема 4. Методы получения НПП, основанные на физических процессах. Физическое осаждение из паровой фазы (PVD-технологии): термическое испарение (электродуговое, лазерное (лазерное легирование или имплантация, лазерная аморфизация поверхности), электронно-лучевое, индукционное, резистивное), ионное распыление (катодное, магнетронное, ионно-лучевое, высокочастотное, в несамостоятельном разряде). Интенсивная пластическая деформация поверхностного слоя, ультразвуковое воздействие. Проектирование технологических ионно-плазменных и лазерных процессов для улучшения качества поверхности изделий. Контроль качества в процессе и после получения НПП.

Раздел 3. Наноструктурированные пленки и покрытия в конструкционных и функциональных материалах различного назначения.

(Л – 0, ПР - 2, СР – 28)

Тема 5. Применение. Полинанокристаллические алмазы и алмазоподобные покрытия, а также сверхтвердые вещества на базе фуллеренов (например, сфероподобные молекулы C₆₀) и фуллеритов (легированных фуллеренов, например Fe_xC₆₀_{1-x}). Наноструктурированные многослойные пленки сложного состава на основе кубического VN, C₃N₄, TiC, TiN, TiAlN с очень высокой или ультравысокой (до 70 ГПа) твердостью, с аморфной и наноструктурой из углерода и нитрида углерода, TiC, TiN и TiCN. Самосмазывающиеся нанопокрытия на основе TiB₂-MoS₂ с твердостью 20 ГПа и коэффициентом трения скольжения по стали 0,05. Наноструктурированные пленки углерода и композиционные нанопокрытия на основе углерода и Si, SiO_x, SiN_x с хорошей биосовместимостью, химической, термической и механической стойкостью для узлов биосенсоров, протезов и имплантантов.

4.2. Перечень тем практических занятий

Таблица 2

Темы практических занятий (из пункта 4.1)

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы практического занятия	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства
1	4	Разработка конструкции наноструктурированного износостойкого покрытия и подбор метода его нанесения	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
2	5	Разработка конструкции биосовместимого покрытия и подбор метода его нанесения	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.

4.3. Перечень тем для самостоятельной работы аспирантов

Самостоятельная работа аспирантов заключается в теоретическом изучении конкретных вопросов и выполнении творческих заданий.

Таблица 3

Темы самостоятельных заданий

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы самостоятельной работы	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства
1	1	Износостойкие, теплостойкие, ударостойкие, коррозионностойкие, физико-механические и трибологические наноструктурированные покрытия.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
2	5	Наноструктурированные многослойные пленки с очень высокой твердостью, самосмазывающиеся нанопокрытия с низким коэффициентом трения скольжения, с хорошей биосовместимостью, химической, термической и механической стойкостью	Творческое задание	Темы творческих заданий

5. Методические указания для аспирантов по изучению дисциплины

При изучении дисциплины «Наноструктурированные пленки и покрытия в конструкционных и функциональных материалах различного назначения: разработка и методы получения» аспирантам целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически;
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела;
3. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции;

6. Перечень учебно-методического, библиотечно-справочного и информационного, информационно-справочного обеспечения для работы аспиранта по дисциплине

6.1. Библиотечные фонды и библиотечно-справочные системы

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке+кафедре; местонахождение электронных изданий
1	2	3
1 Основная литература		
1	<i>Каменева А. Л. Изучение функциональных свойств многослойных пленок на основе двух- и трехкомпонентных нитридов тугоплавких металлов и их соединений с легкоплавкими металлами и неметаллами : учебное пособие. Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2020. 210 с.</i>	5+ЭБ
2	Рогов В.А. Технология конструкционных материалов. Нанотехнологии-: учебник для вузов. Москва : Юрайт, 2016. 191 с.	5+ЭБ
3	Мишина Е. Д., Шерстюк Н. Э., Евдокимов А. А. Методы получения и исследования наноматериалов и наноструктур. Лабораторный практикум по нанотехнологиям : учебное пособие. Москва : Лаборатория знаний, 2021.	е-книга
2 Дополнительная литература		
2.1 Учебно-методические, научные издания		
1	<i>Эволюция представлений о структурных зонах поликристаллических наноструктурированных плёнок, формируемых методами вакуумных технологий : монография / А. Л. Каменева ; Пермский национальный исследовательский политехнический университет .— Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2012 .— 188 с.</i>	6 +ЭБ
2	<i>Многокомпонентные наноструктурированные покрытия на основе нитридов металлов III и IV групп периодической системы для упрочнения резьбовых соединений: разработка, получение, исследование и испытание : учебное пособие / А. Л. Каменева ; Пермский национальный исследовательский политехнический университет .— Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2013 .— 169 с.</i>	8 +ЭБ
3	<i>Наука о материалах и высокие технологии: современные проблемы, прогноз развития в Российской Федерации : учебное пособие / В. Н. Анциферов. Пермский государственный технический университет. — Пермь: Изд-во ПГТУ, 2009 .— 42 с.</i>	20
4	<i>Елисеев А. А. Лукашин А. В. Функциональные наноматериалы / под ред. Ю. Д. Третьякова. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 456с.</i>	1
5	Лу П. Дж., Бухелье А., Хартчук А., Новотны Л. Справочник по микроскопии для нанотехнологии. Москва : Науч. мир, 2011. 712 тс.	3
2.2 Периодические издания		

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке+кафедре; местонахождение электронных изданий
1	2	3
1	Упрочняющие технологии и покрытия = <i>Strengthening Technologies and Coatings</i> : научно-технический и производственный журнал / Издательство "Машиностроение". — Москва : Машиностроение, 2005- . — В вузах: ПНИПУ 2011-2014. — Издаётся с 2005 года . — Ежемесячное.	
2	Реферативные журналы «Металлургия», «Машиностроение»	
3	«Заводская лаборатория»	
4	«Известия вузов». Серии «Чёрная металлургия», «Цветная металлургия»	
2.3 Нормативно-технические издания		
1	Не предусмотрены	
2.4 Официальные издания		
1	Не предусмотрены	

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

6.2.1. Информационные и информационно-справочные системы

<https://www.freepatentsonline.com/8216702.pdf>, <https://www.dissercat.com/>
<https://escholarship.org/uc/item/85t453d2> <https://e.lanbook.com/> <https://www.fips.ru/elektronnye-servisy/> <https://findpatent.ru/>

6.2.2. Профессиональные базы данных

Elibrary, Scopus, Web of science.

7. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

7.1. Основное учебное оборудование. Рабочее место аспиранта.

Таблица 4

№ п.п.	Наименование и марка оборудования (стенда, макета, плаката, лабораторное оборудование)	Кол-во ед.	Форма приобретения / владения (собственность, оперативное управление, аренда и т.п.)	Номер аудитории
1	2	3	4	5
1	Персональные компьютеры (локальная компьютерная сеть).....	18	Оперативное управление	Персональные компьютеры (локальна

2	Электронный проектор “NEC M300X”	1	Оперативное управление	Электронный проектор “NEC M300X”
---	-------------------------------------	---	------------------------	-------------------------------------

8. Фонд оценочных средств

Освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра. Формой контроля освоения результатов обучения по дисциплине является кандидатский экзамен, проводимый с учетом результатов текущего контроля.

8.1. Описание показателей и критериев оценивания, описание шкал оценивания.

Контроль качества освоения дисциплины включает в себя текущий контроль успеваемости и промежуточную аттестацию аспирантов

Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости обеспечивает оценку освоения дисциплин и проводится в форме собеседования и защиты отчета о творческом задании.

• Собеседование

Для оценки **знаний** аспирантов проводится собеседование в виде специальной беседы преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной для выяснения объема знаний по определенному разделу, теме, проблеме.

Собеседование может выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

• Защита отчета о творческом задании

Для оценки **умений и владений** аспирантов используется творческое задание, имеющее нестандартное решение и позволяющее интегрировать знания различных областей, аргументировать собственную точку зрения.

Творческие задания могут выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

Промежуточная аттестация

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего контроля. Промежуточная аттестация проводится в виде экзамена по дисциплине, в устно-письменной форме по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) и практическое задание (ПЗ).

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания. Пример билета представлен в приложении 1.

• Шкалы оценивания результатов обучения при сдаче экзамена:

Оценка результатов обучения по дисциплине проводится по 5-балльной системе оценивания путем выборочного контроля во время экзамена.

Шкалы и критерии оценки результатов обучения при сдаче экзамена приведены в табл. 5.

Таблица 5

Шкала оценивания результатов освоения на экзамене

Оценка	Критерии оценивания
5	Аспирант продемонстрировал сформированные и систематические знания при ответе на теоретический вопрос билета. Показал отличные знания в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на все или большинство дополнительных вопросов. Аспирант правильно выполнил контрольное задание билета. Показал успешное и

Оценка	Критерии оценивания
	систематическое применение полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на все или большинство дополнительных вопросов.
4	Аспирант продемонстрировал сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания при ответе на теоретический вопрос билета. Показал недостаточно уверенные знания в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов. Аспирант выполнил контрольное задание билета с небольшими неточностями. Показал в целом успешное, но сопровождающееся отдельными ошибками применение навыков полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов.
3	Аспирант продемонстрировал неполные знания при ответе на теоретический вопрос билета с существенными неточностями. Показал неуверенные знания в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей. Аспирант выполнил контрольное задание билета с существенными неточностями. Показал в целом успешное, но не систематическое применение полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей.
2	При ответе на теоретический вопрос билета аспирант продемонстрировал фрагментарные знания при ответе на теоретический вопрос билета. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов. При выполнении контрольного задания билета аспирант продемонстрировал частично освоенное умение и применение полученных навыков при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неточностей.

9. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине

Задания для текущего контроля и проведения промежуточной аттестации должны быть направлены на оценивание:

1. уровня освоения теоретических понятий, научных основ профессиональной деятельности;
2. степени готовности аспиранта применять теоретические знания и профессионально значимую информацию и оценивание сформированности когнитивных умений.
3. приобретенных умений, профессионально значимых для профессиональной деятельности.

10. Типовые контрольные вопросы и задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов освоения дисциплины

Перечень контрольных вопросов и заданий для сдачи кандидатского экзамена по научной специальности 2.6.6. «Нанотехнологии и наноматериалы» разработан с учетом научных достижений научно-исследовательской школы кафедры.

Типовые творческие задания:

1. Какими материалы относятся к наноструктурированным пленкам и покрытиям?
2. Какими методами наносятся наноструктурированные пленки и покрытия?

3. Какая область применения наноструктурированных пленок и покрытий?

Типовые контрольные задания:

1. Подобрать оптимальный метод получения наноструктурированных пленок и покрытий в конструкционных и функциональных материалах.
2. Подобрать оптимальный метод получения биосовместимых наноструктурированных пленок и покрытий.
3. Подобрать оптимальный метод получения самосмазывающихся наноструктурированных пленок и покрытий.

Полный комплект вопросов и заданий в форме утвержденных билетов хранится на кафедре «ИТМ».

Программа
Нанотехнологии и наноматериалы

Кафедра
Инновационные технологии машиностроения

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГАОУ ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический
университет» (ПНИПУ)

«Нанотехнологии и наноматериалы»

БИЛЕТ № 1

1. Функциональные металлические, керамические, композиционные материалы.
2. Охарактеризовать особенности структуры и свойств ультра мелкозернистых материалов.
3. Подобрать технологию повышения прочности и пластичности детали/пары трения/инструмента в зависимости от их материала.

Заведующий кафедрой _____
(подпись)

Фамилия И.О.

« ____ » _____ 202 ____ г.

Лист регистрации изменений

№ п.п.	Содержание изменения	Дата, номер протокола заседания кафедры. Подпись заведующего кафедрой
1	2	3
1		
2		
3		
4		