

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 30.10.2023 16:01:33

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования**

**«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»**

## Рабочая программа дисциплины (модуля)

# Технологии инженерии поверхности

Закреплена за подразделением Кафедра порошковой металлургии и функциональных покрытий

Направление подготовки 22.04.02 МЕТАЛЛУРГИЯ

Профиль Новые материалы. Порошковые и аддитивные технологии

Квалификация **Магистр**

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **4 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 144  
в том числе: Формы контроля в семестрах:  
экзамен 1

аудиторные занятия 54

самостоятельная работа 54

часов на контроль 36

### Распределение часов дисциплины по семестрам

| Семестр<br>(<Курс>.<Семестр на<br>курсе>) | 1 (1.1) |     | Итого |     |
|---|---------|-----|-------|-----|
|   | УП      | РП  | УП    | РП  |
| Неделя                                    | 18      |     |       |     |
| Вид занятий                               | УП      | РП  | УП    | РП  |
| Лекции                                    | 18      | 18  | 18    | 18  |
| Лабораторные                              | 18      | 18  | 18    | 18  |
| Практические                              | 18      | 18  | 18    | 18  |
| Итого ауд.                                | 54      | 54  | 54    | 54  |
| Контактная работа                         | 54      | 54  | 54    | 54  |
| Сам. работа                               | 54      | 54  | 54    | 54  |
| Часы на контроль                          | 36      | 36  | 36    | 36  |
| Итого                                     | 144     | 144 | 144   | 144 |

Программу составил(и):

*д.т.н., проф., Кирюханцев-Корнеев Ф.В.*

Рабочая программа

**Технологии инженерии поверхности**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - магистратура Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» по направлению подготовки 22.04.02 МЕТАЛЛУРГИЯ (приказ от 05.03.2020 г. № 95 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

22.04.02 Металлургия, 22.04.02-ММТ-23-16.plx Новые материалы. Порошковые и аддитивные технологии, утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

22.04.02 Металлургия, Новые материалы. Порошковые и аддитивные технологии, утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра порошковой металлургии и функциональных покрытий**

Протокол от 03.04.2023 г., №11

Руководитель подразделения Левашов Евгений Александрович, д.т.н., профессор

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

|     |  |
|-----|--|
| 1.1 | Цели освоения дисциплины:  |
| 1.2 | Научить основам комплексного научного подхода при проектировании и создании различных видов покрытий, полученных методами газотермического напыления, наплавочными методами и методами физического осаждения из паровой фазы, обучить выбору составов покрытий различного назначения с учетом требуемых свойств для конкретного применения, теоретическим основам конструирования покрытий, особенностям методов контроля свойств покрытий, управлять технологическими процессами получения покрытий, эксплуатировать оборудование для нанесения покрытий. |

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

| Блок ОП: |   | Б1.В |
|----------|---|------|
| 2.1      | <b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>  |      |
| 2.2      | <b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b> |      |
| 2.2.1    | Научно-исследовательская практика   |      |
| 2.2.2    | Процессы консолидации порошковых материалов   |      |
| 2.2.3    | Процессы СВС как основы синтеза неорганических материалов   |      |
| 2.2.4    | Материаловедение в аддитивных технологиях   |      |
| 2.2.5    | Методы аттестации функциональных поверхностей материалов  |      |
| 2.2.6    | Методы получения и исследование покрытий медицинского назначения  |      |
| 2.2.7    | Порошковые материалы с особыми свойствами   |      |
| 2.2.8    | Теоретические основы получения и технологии твердых сплавов   |      |
| 2.2.9    | Технологии наноматериалов и гибридных наноматериалов  |      |
| 2.2.10   | Технология получения композиционных материалов для авиакосмической промышленности                                     |      |
| 2.2.11   | Физико-химические основы и технологии жаропрочных и жаростойких материалов  |      |
| 2.2.12   | Физико-химические основы и технологии композиционных материалов. Технологии углеродных материалов и графитов          |      |
| 2.2.13   | Физико-химические основы и технологии тепловыделяющих и поглощающих материалов  |      |
| 2.2.14   | Цифровые аддитивные технологии в имплантологии  |      |
| 2.2.15   | Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы  |      |
| 2.2.16   | Преддипломная практика  |      |

**3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ**

|   |  |
|---|--|
| <b>ПК-4: Способен разрабатывать технологические процессы получения порошков, порошковых, композиционных материалов, покрытий и управлять ими, проводить их анализ для выбора мер и средств управления качеством продукции</b> |  |
| <b>Знать:</b>   |  |
| ПК-4-32 пути достижения требуемых свойств покрытий различного назначения  |  |
| ПК-4-31 общую характеристику технологического цикла получения покрытий  |  |
| <b>ПК-3: Способен анализировать результаты эксперимента, выбирать методы исследований, формировать новые направления исследований, определять сферы применения результатов исследований</b>                                   |  |
| <b>Знать:</b>   |  |
| ПК-3-33 современные образовательные и информационные технологии   |  |
| ПК-3-32 пути достижения требуемых свойств покрытий различного назначения  |  |
| ПК-3-31 определять и описывать фазовый состав покрытий  |  |
| <b>ПК-4: Способен разрабатывать технологические процессы получения порошков, порошковых, композиционных материалов, покрытий и управлять ими, проводить их анализ для выбора мер и средств управления качеством продукции</b> |  |
| <b>Уметь:</b>   |  |
| ПК-4-У2 проводить литературный и патентный поиск  |  |
| ПК-4-У1 описывать и анализировать технологические схемы производства покрытий, сопоставлять преимущества и  |  |

|   |
|---|
| недостатки, ограничения и перспективы возможных вариантов   |
| <b>ПК-3: Способен анализировать результаты эксперимента, выбирать методы исследований, формировать новые направления исследований, определять сферы применения результатов исследований</b>                                   |
| <b>Уметь:</b>   |
| ПК-3-У1 выполнять расчет составов покрытий при различных вариантах их получения   |
| ПК-3-У2 проводить статистическую обработку экспериментальных данных   |
| ПК-3-У3 определять и описывать фазовый состав покрытий  |
| <b>ПК-4: Способен разрабатывать технологические процессы получения порошков, порошковых, композиционных материалов, покрытий и управлять ими, проводить их анализ для выбора мер и средств управления качеством продукции</b> |
| <b>Владеть:</b>   |
| ПК-4-В1 навыками выбора и применения соответствующих методов моделирования физических, химических и технологических процессов   |
| <b>ПК-3: Способен анализировать результаты эксперимента, выбирать методы исследований, формировать новые направления исследований, определять сферы применения результатов исследований</b>                                   |
| <b>Владеть:</b>   |
| ПК-3-В1 иметь навыки проведения измерения физических и эксплуатационных свойств покрытий  |
| ПК-3-В2 методами исследования, планированием и проведением необходимых экспериментов, навыками интерпретировать результаты и делать выводы  |
| ПК-3-В3 методиками определения ресурсо-экологических показателей технологических процессов  |

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

| Код занятия | Наименование разделов и тем /вид занятия/   | Семестр / Курс | Часов | Формируемые индикаторы компетенций | Литература и эл. ресурсы       | Примечание | КМ  | Выполняемые работы |
|-------------|---|----------------|-------|------------------------------------|--------------------------------|------------|-----|--------------------|
|             | <b>Раздел 1. Газотермические технологии напыления</b>   |                |       |                                    |                                |            |     |                    |
| 1.1         | Плазменное и электродуговое напыление /Лек/   | 1              | 2     | ПК-3-32                            | Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.1<br>Э1 Э2 |            |     |                    |
| 1.2         | Сверхзвуковое газопламенное (HVOF) и детонационное напыление /Лек/  | 1              | 2     | ПК-3-32 ПК-4-31                    | Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.1<br>Э1 Э2 |            |     |                    |
| 1.3         | Холодное газодинамическое напыление. Контрольная работа №1. /Лек/   | 1              | 2     | ПК-4-31 ПК-4-32 ПК-3-32            | Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.1<br>Э1 Э2 |            | КМ1 |                    |
| 1.4         | Структурные особенности покрытий, полученных методами газотермического напыления /Пр/   | 1              | 2     | ПК-4-В1                            | Л3.2<br>Э1 Э2                  |            |     | Р1                 |
| 1.5         | Модифицирование поверхности методами плазменного напыления и плазменной наплавки /Лаб/  | 1              | 2     | ПК-4-У1 ПК-3-В1                    | Л3.2<br>Э1 Э2                  |            |     | Р2                 |
| 1.6         | Определение стойкости покрытий к абразивным, эрозионным и ударно-динамическим воздействиям /Пр/                                     | 1              | 4     | ПК-3-В2 ПК-3-В1                    | Л3.1 Л3.3<br>Э1 Э2             |            |     | Р3                 |
| 1.7         | Особенности применения метода оптической эмиссионной спектроскопии тлеющего разряда (GDOES) при исследовании защитных покрытий /Пр/ | 1              | 4     | ПК-3-У1 ПК-3-33                    | Л3.2<br>Э1 Э2                  |            |     | Р4                 |

|  |  |   |    |   |   |  |     |    |
|--|--|---|----|---|---|--|-----|----|
| 1.8  | Подготовка к лабораторным и контрольным работам, практическим занятиям /Ср/  | 1 | 18 | ПК-4-У2                                 | Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.1Л3.<br>2 Л3.3<br>Э1 Э2 Э3  |  |     |    |
| <b>Раздел 2. Наплавочные технологии</b>                |  |   |    |   |   |  |     |    |
| 2.1  | Электродуговая и плазменная наплавка /Лек/   | 1 | 2  | ПК-4-31 ПК-4-32 ПК-3-32                 | Л1.1 Л1.3<br>Л1.7Л2.2<br>Л2.7<br>Э1 Э2  |  |     |    |
| 2.2  | Технология электроискрового легирования (ESA). Гибридные технологии поверхностного упрочнения. /Лек/                                       | 1 | 2  | ПК-3-33 ПК-3-32 ПК-4-31                 | Л1.1 Л1.3<br>Л1.6<br>Л1.7Л2.3<br>Л2.6<br>Э1 Э2  |  |     |    |
| 2.3  | Лазерная наплавка. Контрольная работа №2. /Лек/  | 1 | 2  | ПК-4-31 ПК-4-32 ПК-3-32 ПК-4-У1         | Л1.7Л2.5<br>Э1 Э2   |  | КМ2 |    |
| 2.4  | Исследование кинетики массопереноса и процессов формирования покрытий методом электроискрового легирования /Лаб/                           | 1 | 2  | ПК-3-У2 ПК-3-33 ПК-3-В2                 | Л3.3<br>Э1 Э2   |  |     | Р6 |
| 2.5  | Модификация поверхности ответственных изделий с применением метода электроискрового легирования в контролируемых газовых средах /Лаб/      | 1 | 2  | ПК-4-32 ПК-3-В3                         | Л3.2 Л3.3<br>Э1 Э2  |  |     | Р7 |
| 2.6  | Определение структуры и свойств покрытий, полученных с использованием электроискрового легирования и гибридной технологии ESA-PCAE-MS /Пр/ | 1 | 4  | ПК-3-У3 ПК-3-В1                         | Л3.2 Л3.3<br>Э1 Э2  |  |     | Р5 |
| 2.7  | Технология импульсного катодно-дугового испарения и гибридная технология ESA-PCAE-MS /Лаб/   | 1 | 4  | ПК-3-У3 ПК-3-У2 ПК-4-32                 | Л3.2 Л3.3<br>Э1 Э2  |  |     | Р8 |
| 2.8  | Подготовка к лабораторным и контрольным работам, практическим занятиям /Ср/  | 1 | 18 | ПК-4-У2 ПК-4-У1 ПК-4-В1                 | Л1.1 Л1.3<br>Л1.6<br>Л1.7Л2.2<br>Л2.3 Л2.5<br>Л2.6<br>Л2.7Л3.1<br>Л3.2 Л3.3<br>Э1 Э2 Э3 |  |     |    |
| <b>Раздел 3. Ионно-плазменные вакуумные технологии</b> |  |   |    |   |   |  |     |    |
| 3.1  | Электронно-лучевое термическое испарение (EB-PVD) /Лек/  | 1 | 2  | ПК-3-32 ПК-3-33 ПК-4-31 ПК-4-32         | Л1.4Л2.4<br>Э1 Э2   |  |     |    |
| 3.2  | Вакуумное катодно-дуговое испарение /Лек/  | 1 | 2  | ПК-4-31 ПК-4-32                         | Л1.4Л2.4<br>Э1 Э2   |  |     |    |
| 3.3  | Магнетронное напыление (DCMS, PMS, HIPIMS). Контрольная работа №3 /Лек/  | 1 | 2  | ПК-3-32 ПК-3-33 ПК-4-31 ПК-4-32 ПК-4-У1 | Л1.4Л2.4<br>Э1 Э2   |  | КМ3 |    |

|     |   |   |    |   |                                   |  |  |     |
|-----|---|---|----|---|-----------------------------------|--|--|-----|
| 3.4 | Нанесение нанокomпозиционных покрытий методом высокоомощного импульсного магнетронного напыления (HIPIMS) /Лаб/   | 1 | 2  | ПК-3-33 ПК-3-У3 ПК-3-В2                 | Л1.4Л2.4Л3.<br>2 Л3.3<br>Э1 Э2    |  |  | Р9  |
| 3.5 | Применение керамических катодных материалов, получаемых методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, в ионно-плазменных технологиях нанесения покрытий /Лаб/ | 1 | 2  | ПК-3-В3 ПК-4-32 ПК-4-31 ПК-4-В1         | Л1.4Л2.4Л3.<br>2 Л3.3<br>Э1 Э2    |  |  | Р10 |
| 3.6 | Применение магнетронных распылительных систем несбалансированного типа для нанесения многокомпонентных покрытий /Лаб/   | 1 | 4  | ПК-3-У1 ПК-4-У1 ПК-4-32                 | Л1.4Л2.4Л3.<br>2 Л3.3<br>Э1 Э2    |  |  | Р11 |
| 3.7 | Закономерности влияния структурных особенностей на механические, трибологические и антикоррозионные свойства ионно-плазменных покрытий /Пр/                                   | 1 | 4  | ПК-4-32 ПК-3-31 ПК-3-В1                 | Л1.4Л2.4Л3.<br>2 Л3.3<br>Э1 Э2    |  |  | Р12 |
| 3.8 | Подготовка к лабораторным и контрольным работам, практическим занятиям /Ср/   | 1 | 18 | ПК-4-У2 ПК-4-31 ПК-3-32 ПК-3-У3 ПК-4-У1 | Л1.4Л2.4Л3.<br>2 Л3.3<br>Э1 Э2 Э3 |  |  |     |

### 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

#### 5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

| Код<br>КМ | Контрольное мероприятие | Проверяемые индикаторы компетенций | Вопросы для подготовки |
|-----------|-------------------------|------------------------------------|------------------------|
|-----------|-------------------------|------------------------------------|------------------------|

|     |                       |   |  |
|-----|-----------------------|---|--|
| КМ1 | контрольная работа №1 | ПК-3-32;ПК-3-В3;ПК-4-31;ПК-4-32         | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Технология электродугового напыления</li> <li>2. Принципиальная схема плазменного напыления</li> <li>3. Сравнительная характеристика исходных материалов (порошок, проволока, прутки)</li> <li>4. Схемы плазмотронов с вихревой стабилизацией, полым катодом, изолирующими вставками, каскадной дугой, с самоустанавливающейся длиной дуги, жидкостной стабилизацией</li> <li>5. Схемы и принципы действия высокочастотных плазмотронов</li> <li>6. Влияние параметров плазмотрона на тепловые характеристики плазменной струи</li> <li>7. Условия нагрева и плавления материала, подаваемого в виде проволоки и порошка</li> <li>8. Основные характеристики эффективности плазменного напыления. Влияние места и количества точек ввода порошка и параметров дуги.</li> <li>9. Скорость движения частиц в высокотемпературной струе. Характер изменения скорости частиц и температуры плазмы вдоль оси плазмотрона</li> <li>10. Взаимодействие напыляемого материала с поверхностью подложки.</li> <li>11. Нанесение покрытий из материалов, не плавящихся в плазменной струе, оксидов и тугоплавких соединений</li> <li>12. Газопламенное напыление и сверхзвуковое газопламенное напыление (HVOF, HVOF)</li> <li>13. Детонационное напыление. Структурные особенности и характерные свойства получаемых покрытий</li> <li>14. Отслоение и растрескивание покрытий, разнотолщинность – причины брака причины и способы устранения</li> <li>15. Холодное газодинамическое напыление (технология Cold spray)</li> <li>16. Особенности практического применения методов газотермического напыления</li> </ol> |
| КМ2 | контрольная работа №2 | ПК-3-32;ПК-3-В3;ПК-4-31;ПК-4-32;ПК-4-У1 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Технология электродуговой наплавки. Основные схемы реализации процесса.</li> <li>2. Исходные материалы для электродуговой наплавки.</li> <li>3. Конструктивные особенности применяемых электродных материалов и способы их получения</li> <li>4. Автоматическая электродуговая наплавка</li> <li>5. Преимущества и недостатки наплавки.</li> <li>6. Плазменная наплавка.</li> <li>7. Теоретические основы метода электроискрового легирования (ESA)</li> <li>8. Процессы ESA в контролируемых газовых средах и вакууме (VESA)</li> <li>9. Основные типы виброинструмента для ESA</li> <li>10. Металлические, керамические и металлокерамические материалы для изготовления ESA-электродов</li> <li>11. Гибридная технология ESA-PCAE-MS</li> <li>12. Механизмы повышения эксплуатационных свойств изделий при использовании технологии ESA и гибридной технологии ESA-PCAE-MS</li> <li>13. Особенности процесса терморекреационного упрочнения (CRAPED)</li> <li>14. Основные схемы реализации процессов ESA и CRAPED</li> <li>15. Технология лазерной наплавки</li> <li>16. Виды постобработок наплавленных слоёв</li> <li>17. Практическое применение технологии ESA</li> </ol>  |

|     |                       |   |   |
|-----|-----------------------|---|---|
| КМЗ | контрольная работа №3 | ПК-3-В3;ПК-4-31;ПК-4-32;ПК-4-У1;ПК-4-В1 | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Технологии физического осаждения из пара (PVD): научные основы, преимущества и недостатки</li><li>2. Теоретические основы метода термического испарения</li><li>3. Способы нагрева при использовании метода термического испарения. Электронно-лучевой нагрев (EB-PVD)</li><li>4. Основные технологические параметры метода термического испарения и конструкции установок для его реализации</li><li>5. Теоретические основы методов распыления</li><li>6. Сравнение методов испарения и распыления при нанесении многокомпонентных покрытий</li><li>7. Принцип действия магнетронного распылителя</li><li>8. Вольт-амперная характеристика, напряжение зажигания и мощность разряда при магнетронном распылении</li><li>9. Цилиндрические и кольцевые магнетронные системы (MS)</li><li>10. Классификация MS по типу электропитания и по конфигурации магнитных полей</li><li>11. Метод катодно-дугового испарения (CAE): принцип, схема, технологические характеристики</li><li>13. Преимущества и недостатки метода CAE. Технология PCAE для керамических катодных материалов. Схемы с криволинейным плазмодом.</li><li>14. Технологические способы устранения капельной фазы в методах дугового осаждения</li><li>15. Схемы промышленных PVD установок</li><li>16. Технология HIPIMS</li><li>17. Использование комбинированных способов поверхностной модификации</li></ol> |
|-----|-----------------------|---|---|



|     |         |   |  |
|-----|---------|---|--|
| КМ4 | экзамен | ПК-3-В3;ПК-3-32;ПК-4-31;ПК-4-32;ПК-4-У1;ПК-4-В1;ПК-3-33;ПК-3-У1;ПК-3-У3 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Технология электродугового напыления</li> <li>2. Принципиальная схема плазменного напыления</li> <li>3. Сравнительная характеристика исходных материалов (порошок, проволока, прутки)</li> <li>4. Схемы плазмотронов с вихревой стабилизацией, полым катодом, изолирующими вставками, каскадной дугой, с самоустанавливающейся длиной дуги, жидкостной стабилизацией</li> <li>5. Схемы и принципы действия высокочастотных плазмотронов</li> <li>6. Влияние параметров плазмотрона на тепловые характеристики плазменной струи</li> <li>7. Условия нагрева и плавления материала, подаваемого в виде проволоки и порошка</li> <li>8. Основные характеристики эффективности плазменного напыления. Влияние места и количества точек ввода порошка и параметров дуги.</li> <li>9. Скорость движения частиц в высокотемпературной струе. Характер изменения скорости частиц и температуры плазмы вдоль оси плазмотрона</li> <li>10. Взаимодействие напыляемого материала с поверхностью подложки.</li> <li>11. Нанесение покрытий из материалов, не плавящихся в плазменной струе, оксидов и тугоплавких соединений</li> <li>12. Газопламенное напыление и сверхзвуковое газопламенное напыление (HVOF, HVAF)</li> <li>13. Детонационное напыление. Структурные особенности и характерные свойства получаемых покрытий</li> <li>14. Отслоение и растрескивание покрытий, разнотолщинность – причины брака причины и способы устранения</li> <li>15. Холодное газодинамическое напыление (технология Cold spray)</li> <li>16. Особенности практического применения методов газотермического напыления</li> <li>17. Технология электродуговой наплавки. Основные схемы реализации процесса.</li> <li>18. Исходные материалы для электродуговой наплавки.</li> <li>19. Конструктивные особенности применяемых электродных материалов и способы их получения</li> <li>20. Автоматическая электродуговая наплавка</li> <li>21. Преимущества и недостатки наплавки.</li> <li>22. Плазменная наплавка.</li> <li>23. Теоретические основы метода электроискрового легирования (ESA)</li> <li>24. Процессы ESA в контролируемых газовых средах и вакууме (VESA)</li> <li>25. Основные типы виброинструмента для ESA</li> <li>26. Металлические, керамические и металлокерамические материалы для изготовления ESA-электродов</li> <li>27. Гибридная технология ESA-PCAE-MS</li> <li>28. Механизмы повышения эксплуатационных свойств изделий при использовании технологии ESA и гибридной технологии ESA-PCAE-MS</li> <li>29. Особенности процесса терморекреационного упрочнения (CRAPED)</li> <li>30. Основные схемы реализации процессов ESA и CRAPED</li> <li>31. Технология лазерной наплавки</li> <li>32. Виды постобработок наплавленных слоёв</li> <li>33. Практическое применение технологии ESA</li> <li>34. Технологии физического осаждения из пара (PVD): научные основы, преимущества и недостатки</li> <li>35. Теоретические основы метода термического испарения</li> <li>36. Способы нагрева при использовании метода термического испарения. Электронно-лучевой нагрев (EB-PVD)</li> <li>37. Основные технологические параметры метода термического испарения и конструкции установок для его реализации</li> <li>38. Теоретические основы методов распыления</li> <li>39. Сравнение методов испарения и распыления при нанесении многокомпонентных покрытий</li> <li>40. Принцип действия магнетронного распылителя</li> <li>41. Вольт-амперная характеристика, напряжение зажигания и</li> </ol> |
|-----|---------|---|--|

|   |  |                                    | <p>мощность разряда при магнетронном распылении</p> <p>42. Цилиндрические и кольцевые магнетронные системы (MS)</p> <p>43. Классификация MS по типу электропитания и по конфигурации магнитных полей</p> <p>44. Метод катодно-дугового испарения (CAE): принцип, схема, технологические характеристики</p> <p>45. Преимущества и недостатки метода CAE. Технология PCAE для керамических катодных материалов. Схемы с криволинейным плазмоводом.</p> <p>46. Технологические способы устранения капельной фазы в методах дугового осаждения</p> <p>47. Схемы промышленных PVD установок</p> <p>48. Технология HIPIMS</p> <p>49. Использование комбинированных способов поверхностной модификации</p> |
|---|--|------------------------------------|---|
| <b>5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)</b> |  |                                    |   |
| Код работы  | Название работы  | Проверяемые индикаторы компетенций | Содержание работы   |
| P1  | Практическое занятие<br>"Структурные особенности покрытий, полученных методами газотермического напыления"   | ПК-4-В1                            | Ознакомление студентов с натурными образцами газотермических покрытий. Обработка данных, полученных в ходе исследований шлифов покрытий на растровом электронном и оптическом микроскопах.  |
| P2  | Лабораторная работа<br>"Модифицирование поверхности методами плазменного напыления и плазменной наплавки"  | ПК-3-В1;ПК-4-У1                    | Знакомство с прибором Multiplaz для плазменной резки и сварки. Демонстрация принципа работы устройства при использовании сопел различной конфигурации и исходных материалов (порошок, проволока). Ознакомление со схемой реализации процесса плазменной наплавки.   |
| P3  | Практическое занятие<br>"Определение стойкости покрытий к абразивным, эрозионным и ударно-динамическим воздействиям"                                     | ПК-3-В1;ПК-3-В2                    | Проведение исследования покрытий для определения стойкости к абразивным, эрозионным и ударно-динамическим воздействиям с использованием приборов Calowear-tester (НИИТАвтопром), Impact tester (Cemcon), УЗДН-2Т. Выполнение расчётов коэффициентов износа.   |
| P4  | Практическое занятие<br>"Особенности применения метода оптической эмиссионной спектроскопии тлеющего разряда (GDOES) при исследовании защитных покрытий" | ПК-3-З3;ПК-3-У1                    | Проведение исследований покрытий с использованием метода GDOES. Ознакомление с прибором Profiler-2 (Horiba Jobin Yvon) и программным обеспечением Quantum-XP. Измерение характерных систем "покрытие-подложка", полученных различными методами при использовании металлических или неметаллических прекурсоров.   |

|    |  |                         |   |
|----|--|-------------------------|---|
| P5 | Практическая работа<br>"Определение структуры и свойств покрытий, полученных с использованием электроискрового легирования и гибридной технологии ESA-PCAE-MS" | ПК-3-У3;ПК-3-В1         | Обработка данных структурных исследований (растровая электронная микроскопия, рентгенофазовый анализ, оптическая профилометрия) и результатов индентирования (микро/нано-твердомеры) однослойных электроискровых покрытий и многослойных покрытий, полученных по гибридной технологии, сочетающей электроискровое легирование, импульсное катодно-дуговое испарение и магнетронное напыление. Анализ влияния материала подложки и электродов на структуру и свойства полученных покрытий. |
| P6 | Лабораторная работа<br>"Исследование кинетики массопереноса и процессов формирования покрытий методом электроискрового легирования"                            | ПК-3-33;ПК-3-У2;ПК-3-В2 | Получение покрытий методом электроискрового легирования при использовании металлических/керамических электродов и подложек различного состава. Определение кинетики массопереноса весовым методом. Вычисление коэффициентов массопереноса. Анализ результатов. Установление закономерностей влияния режимов и состава электродов на процесс массопереноса.  |
| P7 | Лабораторная работа<br>"Модификация поверхности ответственных изделий с применением метода электроискрового легирования в контролируемых газовых средах"       | ПК-3-В3;ПК-4-32         | Ознакомление с устройствами, позволяющими реализовывать процесс электроискрового легирования в газовых средах, таких как аргон и азот, а также в условиях форвакуума. Демонстрация возможностей установки типа УВН-2М с 3D-модулем перемещения электрода. Нанесение покрытий в реакционных режимах при варьировании энергетических параметров и расхода газа.   |
| P8 | Лабораторная работа "Технология импульсного катодно-дугового испарения и гибридная технология ESA-PCAE-MS"   | ПК-3-У2;ПК-3-У3;ПК-4-32 | Демонстрация работы импульсного катодно-дугового источника. Ознакомление с принципом нанесения многослойных покрытий в вакуумной установке при последовательной реализации методов ESA и PCAE/MS. Расчёт скорости нанесения индивидуальных слоёв по микрофотографиям структуры ("cross-section"). Анализ топографии поверхности индивидуальных слоёв по микрофотографиям структуры ("plan-view")  |
| P9 | Лабораторная работа "Нанесение нанокomпозиционных покрытий методом высокомоощного импульсного магнетронного напыления (HIPIMS)"                                | ПК-3-33;ПК-3-У3;ПК-3-В2 | Демонстрация возможностей магнетронной распылительной системы при реализации метода HIPIMS. Ознакомление с принципами управления блоком TruPlasma 4002 TRUMPF. Изготовление образцов тонкоплёночных покрытий.   |

|     |   |                                 |   |
|-----|---|---------------------------------|---|
| P10 | Лабораторная работа<br>"Применение керамических катодных материалов, получаемых методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, в ионно-плазменных технологиях нанесения покрытий " | ПК-3-В3;ПК-4-31;ПК-4-32;ПК-4-В1 | Ознакомление с возможностями получения керамических, функционально-градиентных и армированных катодов-мишеней методом СВС. Демонстрация образцов катодов. Участие в экспериментах по получению покрытий с использованием СВС-мишеней.   |
| P11 | Лабораторная работа<br>"Применение магнетронных распылительных систем несбалансированного типа для нанесения многокомпонентных покрытий"  | ПК-3-У1;ПК-4-32;ПК-4-У1         | Знакомство с установками несбалансированного магнетронного напыления, работающих в дуальном режиме и режиме "плазменного котла" (CFUBMS). Знакомство с ПО установки Teer UDP-850. Проведение операций по подготовке подложек. Нанесение покрытий при варьировании токов на магнетроны, скорости вращения и расхода реакционного газа.   |
| P12 | Практическое занятие<br>"Закономерности влияния структурных особенностей на механические, трибологические и антикоррозионные свойства ионно-плазменных покрытий "                                 | ПК-3-31;ПК-3-В1;ПК-4-32         | Обработка результатов исследования типичных ионно-плазменных покрытий, полученных по ранее использованным режимам (на лабораторных работах). Установление взаимосвязи между размером кристаллитов и объёмной долей аморфной фазы (либо толщины слоёв - в случае многослойных покрытий), твёрдостью, упруго-пластическими свойствами, а также особенностями поведения покрытий в условиях трибоконтакта и воздействия агрессивных жидких сред. |

### 5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

Образец билета для экзамена по дисциплине "Технологии инженерии поверхности"

Национальный исследовательский технологический университет "МИСИС"  
Институт технологий

Кафедра порошковой металлургии и функциональных покрытий  
Направление подготовки "Металлургия", 22.04.02  
Технологии инженерии поверхности

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №2

1. Принципиальная схема плазменного напыления.
2. Теоретические основы метода электроискрового легирования (ESA).
3. Технологические способы устранения капельной фазы в методах дугового осаждения.

" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Зав. кафедрой, проф., д.т.н.

Е.А. Левашов

#### 5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

Методика оценки обучающегося на экзамене

Оценка «отлично» - обучающийся показывает глубокие знания в объеме программы дисциплины, уверенно устанавливает логические связи между отдельными разделами дисциплины, грамотно и непротиворечиво излагает материал при ответе, знает источники дополнительной информации.

Оценка «хорошо» - обучающийся показывает достаточно полные знания в объеме пройденной программы, допускает незначительные ошибки при освещении заданных вопросов и установлении логических связей между отдельными разделами дисциплины, четко излагает материал без существенных противоречий в информации.

Оценка «удовлетворительно» - обучающийся показывает знания в объеме пройденной программы, исправляет допущенные ошибки после уточняющих вопросов преподавателя, знает основные и дополнительные источники информации по программе дисциплины.

Оценка «неудовлетворительно» - обучающийся допускает грубые ошибки в ответе, не способен установить логические связи между разделами дисциплины, не может дать ответ на основной и/или дополнительный вопрос.

Оценка «не явка» – обучающийся на экзамен не явился.

### 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

#### 6.1. Рекомендуемая литература

##### 6.1.1. Основная литература

|      | Авторы, составители   | Заглавие   | Библиотека             | Издательство, год   |
|------|---|--|------------------------|---|
| Л1.1 | Фрумин И. И.  | Автоматическая электродуговая наплавка: научная литература   | Электронная библиотека | Харьков: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1961 |
| Л1.2 | Лепешев А. А.   | Плазменное напыление аморфных и нанокристаллических материалов: монография   | Электронная библиотека | Красноярск: Сибирский федеральный университет (СФУ), 2013   |
| Л1.3 | Багрянский К. В.  | Электродуговая сварка и наплавка под керамическими флюсами: практическое пособие   | Электронная библиотека | Киев: Техніка, 1976   |
| Л1.4 | Кудинов В. В., Бобров Г. В., Митин Б. С.                              | Нанесение покрытий напылением: Теория, технология и оборудование: Учебник для вузов  | Библиотека МИСиС       | М.: Металлургия, 1992   |
| Л1.5 | Фомин В. М., Алхимов А. П., Клинков С. В., Косарев В. Ф., Фомин В. М. | Холодное газодинамическое напыление. Теория и практика: монография   | Электронная библиотека | Москва: Физматлит, 2009   |
| Л1.6 | Доронин О. Н., Левашов Евгений Александрович                          | Разработка электроискровой технологии упрочнения прокатных валков из белого чугуна: автореф. дис... к.т.н., спец. 05.16.06 - "Порошковая металлургия и композиционные материалы" | Электронная библиотека | М.: [МИСиС], 2013   |
| Л1.7 | Веремеевич Анатолий Николаевич, Персиянов С. В.                       | Лазерная наплавка деталей металлургического оборудования: Лаб. практикум для слушателей спец. фак. и студ. спец. 0408  | Библиотека МИСиС       | М.: [МИСиС], 1987   |

##### 6.1.2. Дополнительная литература

|      | Авторы, составители                                      | Заглавие  | Библиотека             | Издательство, год              |
|------|--|---|------------------------|--------------------------------|
| Л2.1 | Ильющенко А. Ф., Шевцов А. И., Оков И. Н., Громыко Г. Ф. | Процессы формирования газотермических покрытий и их моделирование: монография | Электронная библиотека | Минск: Белорусская наука, 2011 |
| Л2.2 | Коротков В. А.   | Ремонтная сварка и наплавка: учебно-методическое пособие                      | Электронная библиотека | Москва: Директ-Медиа, 2014     |

|      | Авторы, составители  | Заглавие   | Библиотека             | Издательство, год           |
|------|--|--|------------------------|-----------------------------|
| Л2.3 | Левашов Евгений Александрович, Новиков А. В., Курбаткина Виктория Владимировна | Технология и свойства СВС-порошков, материалов и изделий: лаб. практикум   | Электронная библиотека | М.: Учеба, 2007             |
| Л2.4 |  | Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия  | Библиотека МИСиС       | ,                           |
| Л2.5 | Григорьянц А. Г., Казарян М. А., Лябин Н. А.                                   | Лазерная прецизионная микрообработка материалов: монография  | Электронная библиотека | Москва: Физматлит, 2017     |
| Л2.6 | Замулаева Е. И., Левашов Евгений Александрович                                 | Разработка наноструктурированных электродов и покрытий на основе WC-Co: автореф. дис... к.т.н., спец. 05.16.06 - "Порошковая металлургия и композиционные материалы" | Электронная библиотека | М.: [МИСиС], 2009           |
| Л2.7 | Зайцев П. И.   | Аргонодуговая наплавка интерметаллида Fe <sub>3</sub> Al с подачей разнородных проволок на основе Fe и Al: студенческая научная работа                               | Электронная библиотека | Санкт-Петербург: б.и., 2020 |

### 6.1.3. Методические разработки

|      | Авторы, составители  | Заглавие  | Библиотека             | Издательство, год              |
|------|--|---|------------------------|--------------------------------|
| Л3.1 | Белый А. В., Калининченко А. С., Девойно О. Г., Кукареко В. А.                                 | Инженерия поверхностей конструкционных материалов с использованием плазменных и пучковых технологий: монография   | Электронная библиотека | Минск: Беларуская навука, 2017 |
| Л3.2 | Кириуханцев-Корнеев Филипп Владимирович  | Научные и технологические принципы нанесения покрытий методами физического и химического осаждения. Методы получения и исследования покрытий: практикум | Библиотека МИСиС       | М.: Изд-во МИСиС, 2015         |
| Л3.3 | Петржик Михаил Иванович, Кириуханцев-Корнеев Филипп Владимирович, Воробьева Мария Вячеславовна | Методы аттестации наноструктурных поверхностей. Методы формирования и исследования функциональных поверхностей: лаб. практикум                          | Библиотека МИСиС       | М.: Изд-во МИСиС, 2015         |

### 6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

|    |  |   |
|----|--|---|
| Э1 | Учебно-методическая литература для студентов   | <a href="https://www.studmed.ru/">https://www.studmed.ru/</a> |
| Э2 | Государственная публичная научно-техническая библиотека России   | <a href="http://www.gpntb.ru/">http://www.gpntb.ru/</a>       |
| Э3 | Сайт Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный институт промышленной собственности» | <a href="http://www1.fips.ru">www1.fips.ru</a>                |

### 6.3 Перечень программного обеспечения

|     |                      |
|-----|----------------------|
| П.1 | Microsoft Office     |
| П.2 | MS Teams             |
| П.3 | Microsoft PowerPoint |
| П.4 | Microsoft Excel      |

**6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных****7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

| Ауд.                               | Назначение   | Оснащение  |
|------------------------------------|--|--|
| Любой корпус<br>Мультимедийная     | Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий: | комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus  |
| К-107                              | Лаборатория  | демонстрационное оборудование, в том числе доска учебная мультимедийный проектор, экран проекционный, гидравлический пресс ручной, гидравлический пресс с электроприводом, два оптических микроскопа, технические весы, аналитические весы, твердомеры (по Бринеллю и Виккерсу, две муфельные печи, шкаф вытяжной (2 секции), оборудование для определения физических технологических свойств порошков |
| К-06                               | Лаборатория  | лабораторная вакуумная печь с вольфрамовым нагревателем, вакуумная печь, электропечь SNOL72/1200 2 шт., весы аналитические   |
| К-01                               | Лаборатория ионно-плазменного осаждения функциональных покрытий:                                     | прибор Импакт Тестор, установка UDP 850/4, трибометр высокотемпературный, ультразвуковой генератор УЗГ-3-4   |
| Читальный зал №3 (Б)               |  | комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink B7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.   |
| Читальный зал №4 (Б)               |  | комплект учебной мебели на 20 рабочих мест, компьютеры с подключением к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета  |
| Читальный зал электронных ресурсов |  | комплект учебной мебели на 55 мест для обучающихся, 50 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.   |
| К-107                              | Лаборатория  | демонстрационное оборудование, в том числе доска учебная мультимедийный проектор, экран проекционный, гидравлический пресс ручной, гидравлический пресс с электроприводом, два оптических микроскопа, технические весы, аналитические весы, твердомеры (по Бринеллю и Виккерсу, две муфельные печи, шкаф вытяжной (2 секции), оборудование для определения физических технологических свойств порошков |

**8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

При изучении дисциплины "Технологии инженерии поверхности" необходимо использовать следующие учебные пособия, которые невозможно выбрать в "менеджере РПД":

1. Кирюханцев-Корнеев Ф.В. Современные технологии нанесения упрочняющих покрытий на поверхности изделий сложных пространственных форм: курс лекций.- М.: Изд. дом НИТУ МИСИС, 2020.- 104 с.
2. Теоретические основы получения наноструктурированных поверхностей: методы получения и исследования наноструктурных пленок и покрытий: практикум / Ф.В. Кирюханцев-Корнеев, А.Д. Сытченко, А.Н. Швейко.- М.: Изд. дом НИТУ МИСИС, 2021.- 88 с.