

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по качеству и государственности

Дата подписания: 30.10.2023 16:04:03

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)

Физико-химические основы и технологии жаропрочных и жаростойких материалов

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 | Формы контроля в семестрах: |
| в том числе: | | зачет 3 |
| аудиторные занятия | 72 | |
| самостоятельная работа | 72 | |

Распределение часов дисциплины по семестрам

| Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>) | 3 (2.1) | | Итого | |
|---|---------|-----|-------|-----|
| | 19 | | | |
| Неделя | УП | РП | УП | РП |
| Вид занятий | УП | РП | УП | РП |
| Лекции | 36 | 36 | 36 | 36 |
| Лабораторные | 18 | 18 | 18 | 18 |
| Практические | 18 | 18 | 18 | 18 |
| Итого ауд. | 72 | 72 | 72 | 72 |
| Контактная работа | 72 | 72 | 72 | 72 |
| Сам. работа | 72 | 72 | 72 | 72 |
| Итого | 144 | 144 | 144 | 144 |

Программу составил(и):

к.т.н., ст.преп., Бычкова Марина Яковлевна; к.т.н., ст.преп., Логинов Павел Александрович; к.т.н., доц., Зайцев Александр Анатольевич

Рабочая программа

Физико-химические основы и технологии жаропрочных и жаростойких материалов

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 - Формирование у аспирантов знаний, умений и навыков по получению порошковых жаропрочных и жаростойких материалов с учетом эксплуатационных требований, предъявляемых в различных отраслях техники. Обучение основам технологических процессов, выбору составов исходного сырья. Ознакомление с основными методами контроля свойств жаропрочных и жаростойких материалов. |
|-----|--|

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

| | | |
|------------|---|------------|
| Блок ОП: | | Б1.В.ДВ.03 |
| 2.1 | Требования к предварительной подготовке обучающегося: | |
| 2.1.1 | Научно-исследовательская практика | |
| 2.1.2 | Процессы консолидации порошковых материалов | |
| 2.1.3 | Процессы СВС как основы синтеза неорганических материалов | |
| 2.1.4 | Закономерности, механизмы и методы диагностики процессов горения в СВС-системах | |
| 2.1.5 | Технологии инженерии поверхности | |
| 2.1.6 | Технологии получения порошкообразных материалов | |
| 2.2 | Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее: | |
| 2.2.1 | Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы | |
| 2.2.2 | Преддипломная практика | |

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

| | |
|---|--|
| 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 | |
| Знать: | |
| ПК-4-31 | Области применения жаропрочных и жаростойких порошковых материалов. |
| ПК-4-32 | Физико-химические основы технологических операций по получению жаропрочных и жаростойких порошковых материалов. |
| ПК-3: Способен анализировать результаты эксперимента, выбирать методы исследований, формировать новые направления исследований, определять сферы применения результатов исследований | |
| Знать: | |
| ПК-3-31 | Влияние параметров основных технологических операций по получению порошковых жаропрочных и жаростойких материалов на их эксплуатационные характеристики. |
| 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 | |
| Уметь: | |
| ПК-4-У1 | Описывать технологические операции получения жаропрочных и жаростойких порошковых материалов. |
| ПК-3: Способен анализировать результаты эксперимента, выбирать методы исследований, формировать новые направления исследований, определять сферы применения результатов исследований | |
| Уметь: | |
| ПК-3-У1 | Анализировать результаты экспериментов по получению порошковых материалов с особыми свойствами. |
| 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 | |
| Владеть: | |
| ПК-4-В1 | Методами определения характеристик порошковых жаропрочных и жаростойких материалов. |
| ПК-3: Способен анализировать результаты эксперимента, выбирать методы исследований, формировать новые направления исследований, определять сферы применения результатов исследований | |
| Владеть: | |
| ПК-3-В1 | Методами статистической обработки результатов экспериментов. |

| 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 |
| | Раздел 1. Теоретические основы жаропрочности и жаростойкости | | | | | | | |
| 1.1 | Теоретические основы жаропрочности материалов. /Лек/ | 3 | 2 | ПК-4-31 ПК-4-32 | Л1.2 Л1.17 Л1.18 Э1 Э2 | | | |
| 1.2 | Теоретические основы жаростойкости материалов. /Лек/ | 3 | 2 | ПК-4-31 ПК-4-32 | Л1.13 Э1 Э2 | | | |
| 1.3 | Определение жаропрочности и жаростойкости материалов. Проведение испытаний по стандартизованным методикам. /Пр/ | 3 | 2 | ПК-3-У1 | Л1.2 Л1.13 Э1 Э2 | | | Р1 |
| 1.4 | Подготовка к практическому занятию и контрольной работе №1. /Ср/ | 3 | 8 | ПК-4-У1 ПК-4-32 ПК-4-31 | Л1.2 Л1.13 Э1 Э2 Э3 | | | |
| | Раздел 2. Материалы на основе тугоплавких металлов и соединений | | | | | | | |
| 2.1 | Тугоплавкие металлы и их свойства. /Лек/ | 3 | 2 | ПК-3-31 ПК-4-31 ПК-4-32 | Л1.1 Л1.3 Л1.4 Э1 Э2 | | | |
| 2.2 | Технология получения порошков тугоплавких металлов и их консолидация. /Пр/ | 3 | 2 | ПК-3-31 ПК-4-32 ПК-4-У1 ПК-3-У1 | Л1.1 Л1.3 Л1.4 Л1.8 Э1 Э2 | | | Р2 |
| 2.3 | Сплавы на основе тугоплавких металлов и их свойства. Природа упрочнения основы. /Лек/ | 3 | 2 | ПК-3-31 ПК-4-31 ПК-4-32 | Л1.6 Э1 Э2 | | | |
| 2.4 | Технология получения сплавов на основе тугоплавких металлов. Способы введения легирующих элементов. /Пр/ | 3 | 2 | ПК-3-У1 ПК-4-У1 | Л1.6 Э1 Э2 | | | Р3 |
| 2.5 | Тугоплавкие соединения (карбиды, нитриды, бориды, силициды). Особенности структуры и свойств. /Лек/ | 3 | 2 | ПК-4-31 ПК-4-32 | Л1.10 Э1 Э2 | | | |
| 2.6 | Технология получения тугоплавких соединений. /Пр/ | 3 | 2 | ПК-3-У1 ПК-4-У1 | Л1.10 Э1 Э2 | | | Р4 |
| 2.7 | Получение порошка вольфрама водородным восстановлением ангидрида вольфрама. /Лаб/ | 3 | 4 | ПК-3-В1 ПК-4-В1 ПК-3-У1 | Л1.7Л3.1 Э1 Э2 | | | Р5 |
| 2.8 | Подготовка к практическим занятиям, лабораторной работе и контрольной работе №1. /Ср/ | 3 | 12 | ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-31 ПК-4-32 ПК-4-У1 | Л1.1 Л1.3 Л1.4 Л1.6 Л1.7 Л1.8 Л1.10 Э1 Э2 Э3 | | | |
| | Раздел 3. Дисперсно-упрочненные материалы | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|-----|--|---|----|---|---------------------------------|--|-----|-----|
| 3.1 | Теория упрочнения дисперсноупрочненных материалов. /Лек/ | 3 | 2 | ПК-4-31 ПК-4-32 ПК-3-31 | Л1.14 Э1 Э2 | | | |
| 3.2 | Технология получения дисперсно-упрочненных материалов и методы введения упрочнителей. Контрольная работа №1 "Теоретические основы жаропрочности и жаростойкости. Материалы на основе тугоплавких металлов и соединений. Дисперсно-упрочненные материалы". /Пр/ | 3 | 2 | ПК-3-У1 ПК-4-У1 ПК-3-31 ПК-4-31 ПК-4-32 | Л1.11 Л1.12 Л1.14 Э1 Э2 | | КМ1 | Р6 |
| 3.3 | Получение дисперсноупрочненных материалов и исследование их свойств. /Лаб/ | 3 | 4 | ПК-3-В1 ПК-4-В1 ПК-3-У1 | Л1.14Л3.1 Э1 Э2 | | | Р7 |
| 3.4 | Подготовка к практическим занятиям, лабораторной работе и контрольной работе №1. /Ср/ | 3 | 6 | ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-32 | Л1.6 Л1.11 Л1.14 Э1 Э2 Э3 | | | |
| | Раздел 4. Никелевые суперсплавы | | | | | | | |
| 4.1 | Жаропрочные никелевые суперсплавы: классификация, структура, свойства. /Лек/ | 3 | 4 | ПК-4-31 ПК-4-32 ПК-3-31 | Л1.15 Э1 Э2 | | | |
| 4.2 | Технология получения жаропрочных никелевых суперсплавов. /Пр/ | 3 | 2 | ПК-3-У1 ПК-4-У1 | Л1.15 Э1 Э2 | | | Р8 |
| 4.3 | Фазовые диаграммы Ni-Al-ЛЭ (ЛЭ-легирующий элемент). Выбор легирующих элементов и их влияние на структуру и свойства жаропрочных никелевых суперсплавов. /Лек/ | 3 | 4 | ПК-3-31 ПК-4-31 ПК-3-У1 | Л1.15 Э1 Э2 | | | |
| 4.4 | Механизмы высокотемпературной деформации жаропрочных никелевых суперсплавов. /Лек/ | 3 | 4 | ПК-3-31 ПК-4-31 ПК-3-У1 | Л1.15 Э1 Э2 | | | |
| 4.5 | Влияние термообработки на структуру и свойства жаропрочных никелевых суперсплавов. /Пр/ | 3 | 2 | ПК-3-У1 ПК-4-У1 | Л1.15 Э1 Э2 | | | Р9 |
| 4.6 | Исследование кинетики окисления жаропрочного никелевого суперсплава. /Лаб/ | 3 | 6 | ПК-3-В1 ПК-4-В1 ПК-3-У1 | Л1.13 Л1.15 Э1 Э2 | | | Р10 |
| 4.7 | Подготовка к практическим занятиям, лабораторной работе и контрольной работе №2. /Ср/ | 3 | 16 | ПК-3-31 ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-32 ПК-3-У1 | Л1.13 Л1.15 Э1 Э2 Э3 | | | |
| | Раздел 5. Интерметаллидные сплавы | | | | | | | |
| 5.1 | Интерметаллидные сплавы на основе системы Ni-Al: составы, структура, свойства. /Лек/ | 3 | 4 | ПК-3-31 ПК-4-31 ПК-4-32 | Л1.5 Э1 Э2 | | | |

| | | | | | | | | |
|---|--|---|----|---|---------------------------|--|-----|-----|
| 5.2 | Интерметаллидные сплавы на основе системы Ti-Al: составы, структура, свойства. /Лек/ | 3 | 4 | ПК-3-31 ПК-4-31 ПК-4-32 | Л1.5 Э1 Э2 | | | |
| 5.3 | Технологии получения интерметаллидных сплавов на основе систем Ni-Al и Ti-Al. /Лек/ | 3 | 2 | ПК-3-31 ПК-4-31 ПК-4-32 | Л1.5 Э1 Э2 | | | |
| 5.4 | Контрольная работа №2 "Никелевые суперсплавы. Интерметаллидные сплавы". /Пр/ | 3 | 2 | ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-31 ПК-4-32 ПК-4-У1 | Л1.5 Э1 Э2 | | КМ2 | |
| 5.5 | Получение моноалюминида никеля методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. /Лаб/ | 3 | 4 | ПК-3-В1 ПК-4-В1 ПК-3-У1 | Л1.5 Л1.9Л3.2 Э1 Э2 | | | Р11 |
| 5.6 | Подготовка к практическому занятию, лабораторной работе и контрольной работе №2. /Ср/ | 3 | 10 | ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-32 | Л1.5 Л1.9 Э1 Э2 Э3 | | | |
| Раздел 6. Волокнистые композиционные материалы | | | | | | | | |
| 6.1 | Теория упрочнения волокнистых материалов. /Лек/ | 3 | 2 | ПК-4-31 ПК-4-32 ПК-3-31 | Л1.16 Э1 Э2 | | | |
| 6.2 | Технология получения волокнистых материалов. Способы получения волокон и усов. Свойства материалов. /Пр/ | 3 | 2 | ПК-3-У1 ПК-4-У1 | Л1.16Л2.1 Э1 Э2 | | | Р12 |
| 6.3 | Подготовка к практическому занятию и экзамену по дисциплине. /Ср/ | 3 | 20 | ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-32 | Л1.16 Э1 Э2 Э3 | | | |

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

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

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

| | | | |
|-----|---|---|---|
| КМ1 | Контрольная работа №1 "Теоретические основы жаропрочности и жаростойкости. Материалы на основе тугоплавких металлов и соединений. Дисперсно-упрочненные материалы". | ПК-3-31;ПК-3-У1;ПК-4-31;ПК-4-32;ПК-4-У1 | <ol style="list-style-type: none"> 1. Стадии и температурные режимы процесса восстановления оксида вольфрама при получении металлического вольфрама. 2. Факторы, оказывающие влияние на формирование крупности зерна W в процессе получения металлического вольфрама. 3. Марки вольфрамового порошка. 4. Способы и режимы прессования вольфрамовых штабиков при получении металлического вольфрама. 5. Стадии и механизм спекания вольфрамовых штабиков при получении металлического вольфрама. 6. Сплавы на основе вольфрама (влияние легирующих элементов на температуру плавления вольфрама и характер упрочнения). 7. Способы плавки вольфрама и деформационной обработки штабиков в изделие при получении металлического вольфрама. 8. Структурные изменения в тонкой вольфрамовой проволоке в процессе рекристаллизации (по Смителлсу). 9. Пути повышения прочности и формоустойчивости вольфрамовой нити. 10. Тугоплавкие соединения: структура (эмпирическое правило Хэгга) и свойства. 11. Способы получения силицидов. 12. Способы получения карбидов 13. Способы получения нитридов. 14. Способы получения боридов. 15. Сравнение основных типов жаропрочных материалов. 16. Природа упрочнения и свойства дисперсноупрочненных материалов. 17. Факторы, влияющие на свойства дисперсноупрочненных и волокнистых материалов. 18. Сравнение свойств волокнистых и дисперсноупрочненных материалов. 19. Условия достижения высокой жаропрочности дисперсноупрочненных материалов. 20. Основные этапы технологии получения дисперсноупрочненных материалов. 21. Способы введения оксидной добавки в дисперсноупрочненные материалы. 22. Теория прочности волокнистых материалов. Механизм разрушения. 23. Методы изготовления волокнистых материалов. 24. Основы технологии получения волокнистых материалов. 25. Технология получения дисперсионнотвердеющих материалов. 26. Природа упрочнения и свойства дисперсионнотвердеющих материалов. 27. Методы проведения средне- и высокотемпературных испытаний на статическую прочность. 28. Методы проведения средне- и высокотемпературных усталостных испытаний. 29. Теоретические представления об усталостной прочности композиционных материалов и сплавов при повышенных температурах. 30. Методы проведения испытаний на ползучесть композиционных материалов и сплавов. 31. Теоретические представления о ползучести композиционных материалов и сплавов при повышенных температурах. 32. Методы проведения испытаний на жаростойкость. 33. Механизмы газовой коррозии композиционных материалов и сплавов при повышенных температурах. |
|-----|---|---|---|

| | | | |
|-----|---|---|---|
| КМ2 | Контрольная работа №2 "Никелевые суперсплавы. Интерметаллидные сплавы". | ПК-3-31;ПК-3-У1;ПК-4-31;ПК-4-32;ПК-4-У1 | <ol style="list-style-type: none"> 1. История появления жаропрочных никелевых суперсплавов. Поколения жаропрочных никелевых суперсплавов и области применения. 2. Фазовая диаграмма Ni-Al - основа для разработки жаропрочных никелевых сплавов. Энтальпия образования сплавов системы Ni-Al. 3. Фазы со сверхструктурой L12. Особенности температурной зависимости напряжения текучести фаз со со сверхструктурой L12. Наиболее важные фазы со сверхструктурой L12 для разработки жаропрочных сплавов. 4. Параметры кристаллической решетки фазы Ni3Al (γ') в зависимости от состава. Размерное несоответствие между γ- и γ'-фазами. 5. Дальний порядок в γ'-фазе. 6. Роль различных легирующих элементов в жаропрочных никелевых суперсплавах. Выбор системы легирования для создания оптимальной структуры. 7. Структура современных жаропрочных никелевых суперсплавов. 8. Тройные фазовые диаграммы в системе Ni-Al-X (X-металл, металлоид, неметалл I-VIII групп Периодической системы). 9. Термообработка никелевых суперсплавов с γ/γ'-структурой: температурные и временные интервалы процессов закалки и старения. 9. Морфология γ'-фазы в жаропрочных никелевых суперсплавах с γ/γ'-структурой в зависимости от вида термообработки. 10. Теоретическая модель роста γ'-фазы при термообработке жаропрочных никелевых суперсплавов с γ/γ'-структурой. 11. Методы получения жаропрочных никелевых суперсплавов (индукционная плавка, направленная кристаллизация, порошковая/гранульная металлургия, аддитивные технологии, и др.) 12. Монокристаллические жаропрочные никелевые суперсплавы: структура, методы получения и свойства. 13. Механические и эксплуатационные свойства наиболее распространенных отечественных марок жаропрочных никелевых суперсплавов с γ/γ'-структурой. 14. Механические и эксплуатационные свойства наиболее распространенных зарубежных марок жаропрочных никелевых суперсплавов с γ/γ'-структурой. 15. Двойные и тройные фазовые диаграммы в системе Ti-Al-X (X-металл, металлоид, неметалл I-VIII групп Периодической системы) 1. 16. Фазовые превращения и виды микроструктур в интерметаллидных сплавах на основе Ti-Al. 17. Деформационное поведение однофазных интерметаллидных γ-TiAl сплавов. 18. Деформационное поведение двухфазных γ-TiAl / α2-Ti3Al сплавов. 19. Механизмы упрочнения в интерметаллидных сплавах на основе Ti-Al. 20. Технологии изготовления изделий из интерметаллидных сплавов на основе Ni-Al и Ti-Al. 21. Влияние легирующих компонентов на структуру, фазовый состав и свойства интерметаллидных сплавов на основе Ni-Al. 22. Физико-механические свойства интерметаллидных сплавов на основе Ni-Al. 23. Способы повышения пластичности интерметаллидных сплавов на основе Ni-Al. 24. Жаростойкость интерметаллидных сплавов на основе Ti-Al и Ni-Al. |
|-----|---|---|---|

| | | | |
|-----|-------|---|--|
| КМЗ | Зачет | ПК-3-31;ПК-3-У1;ПК-3-В1;ПК-4-31;ПК-4-32;ПК-4-У1;ПК-4-В1 | <ol style="list-style-type: none"> 1. Стадии и температурные режимы процесса восстановления трёхокси вольфрама при получении металлического вольфрама. Научные основы процесса восстановления. Марки вольфрамового порошка. 2. Факторы, оказывающие влияние на формирование крупности зерна W в процессе получения металлического вольфрама. Марки вольфрамового порошка. 3. Основные этапы технологии получения металлического вольфрама. 4. Стадии и механизм спекания вольфрамовых штабиков при получении металлического вольфрама. 5. Влияние легирующих элементов на температуру плавления вольфрама и характер упрочнения. Марки вольфрамового порошка. 6. Структурные изменения в тонкой вольфрамовой проволоке в процессе рекристаллизации (по Смиттеллеу). Пути повышения прочности и формоустойчивости вольфрамовой нити. 7. Получение компактных изделий из порошков вольфрама и молибдена. 8. Тугоплавкие соединения: структура (эмпирическое правило Хэгга) и свойства. 9. Способы получения карбидов. 10. Способы получения силицидов. 11. Способы получения боридов. 12. Сравнение природы упрочнения, технологии и свойств дисперсноупрочненных и дисперсионотвердеющих материалов. 13. Факторы, влияющие на свойства дисперсноупрочненных и волокнистых материалов. 14. Сравнение свойств волокнистых и дисперсноупрочненных материалов. 15. Условия достижения высокой жаропрочности дисперсноупрочненных материалов. 16. Теория упрочнения дисперсноупрочненных материалов. 17. Методы введения оксидной добавки в дисперсноупрочненные материалы. 18. Основные этапы технологии получения дисперсноупрочненных материалов. 19. Теория упрочнения волокнистых материалов. 20. Прочность и механизм разрушения волокнистых материалов. 21. Основы технологии получения волокнистых материалов. 22. Способы изготовления волокнистых материалов. 23. История появления жаропрочных никелевых суперсплавов. Поколения жаропрочных никелевых суперсплавов и области применения. 24. Фазовая диаграмма Ni-Al - основа для разработки жаропрочных никелевых сплавов. Энтальпия образования сплавов системы Ni-Al. 25. Фазы со сверхструктурой L12. Особенности температурной зависимости напряжения текучести фаз со со сверхструктурой L12. Наиболее важные фазы со сверхструктурой L12 для разработки жаропрочных сплавов. 26. Параметры кристаллической решетки фазы Ni₃Al (γ') в зависимости от состава. Размерное несоответствие между γ- и γ'-фазами. 27. Дальний порядок в γ'-фазе. 28. Роль различных легирующих элементов в жаропрочных никелевых суперсплавах. Выбор системы легирования для создания оптимальной структуры. 29. Структура современных жаропрочных никелевых суперсплавов. 30. Тройные фазовые диаграммы в системе Ni-Al-X (X-металл, металлоид, неметалл I-VIII групп Периодической системы). 31. Термообработка никелевых суперсплавов с γ/γ'-структурой: температурные и временные интервалы процессов закалки и старения. 32. Морфология γ'-фазы в жаропрочных никелевых суперсплавах с γ/γ'-структурой в зависимости от вида термообработки. 33. Теоретическая модель роста γ'-фазы при термообработке жаропрочных никелевых суперсплавов с γ/γ'-структурой. |
|-----|-------|---|--|

| | | | <p>34. Методы получения жаропрочных никелевых суперсплавов (индукционная плавка, направленная кристаллизация, порошковая/гранульная металлургия, аддитивные технологии, и др.)</p> <p>35. Монокристаллические жаропрочные никелевые суперсплавы: структура, методы получения и свойства.</p> <p>36. Механические и эксплуатационные свойства наиболее распространенных отечественных марок жаропрочных никелевых суперсплавов с γ/γ'-структурой.</p> <p>37. Механические и эксплуатационные свойства наиболее распространенных зарубежных марок жаропрочных никелевых суперсплавов с γ/γ'-структурой.</p> <p>38. Двойные и тройные фазовые диаграммы в системе Ti-Al-X (X-металл, металлоид, неметалл I-VIII групп Периодической системы) I.</p> <p>39. Фазовые превращения и виды микроструктур в интерметаллидных сплавах на основе Ti-Al.</p> <p>40. Деформационное поведение однофазных интерметаллидных γ-TiAl сплавов.</p> <p>41. Деформационное поведение двухфазных γ-TiAl / α2-Ti3Al сплавов.</p> <p>42. Механизмы упрочнения в интерметаллидных сплавах на основе Ti-Al.</p> <p>43. Технологии изготовления изделий из интерметаллидных сплавов на основе Ni-Al и Ti-Al.</p> <p>44. Влияние легирующих компонентов на структуру, фазовый состав и свойства интерметаллидных сплавов на основе Ni-Al.</p> <p>45. Физико-механические свойства интерметаллидных сплавов на основе Ni-Al.</p> <p>46. Способы повышения пластичности интерметаллидных сплавов на основе Ni-Al.</p> <p>47. Жаростойкость интерметаллидных сплавов на основе Ti-Al и Ni-Al.</p> |
|---|---|------------------------------------|---|
| 5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.) | | | |
| Код работы | Название работы | Проверяемые индикаторы компетенций | Содержание работы |
| P1 | Практическое занятие "Определение жаропрочности и жаростойкости материалов. Проведение испытаний по стандартизованным методикам". | ПК-3-У1 | Изучение стандартизованных методик определения жаропрочности и жаростойкости перспективных композиционных материалов. Подбор условий испытаний: схема приложения нагрузки и диапазон температур при испытании на жаропрочность; состав газовой среды, температура и продолжительность выдержки при испытании на жаростойкость. |
| P2 | Практическое занятие "Технология получения порошков тугоплавких металлов и их консолидация". | ПК-3-31;ПК-4-32;ПК-4-У1;ПК-3-У1 | Изучение технологической цепочки получения тугоплавких металлов (W, Mo, Ta, Nb и др.) от процесса переработки рудных концентратов до консолидации порошков методами порошковой металлургии и вакуумной плавки. |
| P3 | Практическое занятие "Технология получения сплавов на основе тугоплавких металлов. Способы введения легирующих элементов". | ПК-3-У1;ПК-4-У1 | Изучение технологической цепочки получения сплавов на основе тугоплавких металлов (W, Mo, Ta, Nb, Re, Zr и др.). Изучение способов введения легирующих элементов и оценка их влияния на прочностные свойства сплавов. |

| | | | |
|-----|--|-------------------------|--|
| P4 | Практическое занятие "Технология получения тугоплавких соединений". | ПК-3-У1;ПК-4-У1 | Изучение технологий получения порошков карбидов, боридов, нитридов и силицидов тугоплавких и других металлов, в том числе методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). |
| P5 | Лабораторная работа "Получение порошка вольфрама водородным восстановлением ангидрида вольфрама". | ПК-3-В1;ПК-4-В1;ПК-3-У1 | Получение порошка вольфрама с требуемым размером частиц путем восстановления оксида вольфрама (WO ₃) водородом в электропечах сопротивления. Определение насыпной плотности, текучести, размера и формы частиц порошка вольфрама, полученного при различных температуре и выдержке. |
| P6 | Практическое занятие "Технология получения дисперсно-упрочненных материалов и методы введения упрочнителей". | ПК-3-У1;ПК-4-У1 | Изучение технологии получения дисперсно-упрочненных материалов на примере сплавов ВДУ-1, ВДУ-2 и ВДУ-3. Изучение методов введения упрочнителей в матрицу (механическое и химическое смешивание, поверхностное или внутренне окисление или азотирование порошков). |
| P7 | Лабораторная работа "Получение дисперсноупрочненных материалов и исследование их свойств". | ПК-3-В1;ПК-4-В1;ПК-3-У1 | Получение дисперсноупрочненных материалов путем прессования и спекания образцов из смесей меди с оксидом алюминия в различной концентрации. Определение плотности, пористости, усадки при спекании, твердости и прочности на сжатие в сравнении со спеченными образцами из чистой меди. |
| P8 | Практическое занятие "Технология получения жаропрочных никелевых суперсплавов". | ПК-3-У1;ПК-4-У1 | Изучение технологии получения жаропрочных никелевых суперсплавов, в том числе методами гранульной металлургии. Способы консолидации (горячее прессование, горячее изостатическое прессование и др.) распыленных порошков сплавов. |
| P9 | Практическое занятие "Влияние термообработки на структуру и свойства жаропрочных никелевых суперсплавов". | ПК-3-У1;ПК-4-У1 | Термообработка жаропрочных никелевых суперсплавов (закалка и старение): стадийность процесса, диапазон температур и продолжительность выдержки. Влияние термообработки на прочностные и эксплуатационные свойства жаропрочных никелевых суперсплавов. |
| P10 | Лабораторная работа "Исследование кинетики окисления жаропрочного никелевого суперсплава". | ПК-3-В1;ПК-4-В1;ПК-3-У1 | Проведение серии выдержек образцов сплава ЭП742 и АЖК в окислительной атмосфере при температуре 900...950 °С. Построение для указанных сплавов кинетических кривых зависимости удельного привеса от продолжительности выдержки. Определение толщины окисленного слоя по микрофотографиям, полученным с помощью растрового электронного микроскопа. |
| P11 | Лабораторная работа "Получение моноалюминида никеля методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза". | ПК-3-В1;ПК-4-В1;ПК-3-У1 | Получение образцов моноалюминида никеля (NiAl) из элементарных порошков никеля и алюминия в режиме горения: подготовка реакционной смеси, формование брикетов, синтез в реакторе. Определение фазового состава продуктов синтеза. |

| | | | |
|-----|--|-----------------|--|
| P12 | Практическое занятие "Технология получения волокнистых материалов. Способы получения волокон и усов. Свойства материалов". | ПК-3-У1;ПК-4-У1 | Изучение технологий получения двухфазных волокнистых материалов в зависимости от способа организации процесса (введение волокон (усов/проволоки) в матрицу извне или формирование волокон непосредственно в материале матрицы). Изучение механических и физико-механических способов производства волокон и усов. Прочностные свойства волокнистых материалов. |
|-----|--|-----------------|--|

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

Программой дисциплины "Физико-химические основы и технологии жаропрочных и жаростойких материалов" экзамен не предусмотрен.

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

Оценка "зачет" ставится при получении положительных оценок за две контрольные работы и демонстрации достаточных знаний по изученным разделам во время устного опроса.

При "незачет" ставится при получении хотя бы одной неудовлетворительной оценки за контрольную работу и/или демонстрации недостаточных знаний во время устного опроса.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

6.1. Рекомендуемая литература

6.1.1. Основная литература

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|---|---|------------------------|------------------------|
| Л1.1 | Зеликман А. Н., Никитина Л. С. | Вольфрам | Библиотека МИСиС | М.: Металлургия, 1978 |
| Л1.2 | Химушин Ф. Ф. | Жаропрочные стали и сплавы | Библиотека МИСиС | М.: Металлургия, 1964 |
| Л1.3 | Зеликман А. Н. | Металлургия тугоплавких редких металлов: Учебник для вузов | Библиотека МИСиС | М.: Металлургия, 1986 |
| Л1.4 | Зеликман А. Н. | Молибден | Библиотека МИСиС | М.: Металлургия, 1970 |
| Л1.5 | Левашов Евгений Александрович, Рогачев Александр Сергеевич, Курбаткина Виктория Владимировна, др. | Перспективные материалы и технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза: учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. 150100 - Металлургия | Электронная библиотека | М.: Изд-во МИСиС, 2011 |
| Л1.6 | Либенсон Г. А. | Производство спеченных изделий: Учебник для машиностроит. техникумов по спец. 'Порошковая металлургия' | Библиотека МИСиС | М.: Металлургия, 1982 |
| Л1.7 | Либенсон Г. А., Лопатин В. Ю., Комарницкий Г. В. | Т.1: Производство металлических порошков | Электронная библиотека | , 2001 |
| Л1.8 | Либенсон Г. А., Лопатин В. Ю., Комарницкий Г. В. | Т.2: Формование и спекание | Электронная библиотека | , 2002 |
| Л1.9 | Левашов Евгений Александрович, Новиков А. В., Курбаткина Виктория Владимировна | Технология и свойства СВС-порошков, материалов и изделий: лаб. практикум | Электронная библиотека | М.: Учеба, 2007 |

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|-------|---|--|------------------------|------------------------|
| Л1.10 | Панов Владимир Сергеевич | Тугоплавкие металлы IV-VI групп и их соединения. Структура, свойства, методы получения: учеб. пособие | Электронная библиотека | М.: Учеба, 2006 |
| Л1.11 | Варенков Анатолий Николаевич, Донских Наталия Михайловна | Композиционные материалы: Учеб. пособие по выполнению курсовой работы для студ. спец. 070800 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 2000 |
| Л1.12 | Варенков Анатолий Николаевич, Донских Наталия Михайловна | Композиционные материалы: Учеб. пособие по расчетам технол. и эксплуатационных параметров волокнистых композиционных материалов для студ. спец. 070800 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 2000 |
| Л1.13 | Васильев Владимир Юрьевич, Пустов Юрий Александрович, Рачок Александр Григорьевич | Коррозионностойкие и жаростойкие материалы: Лаб. практикум для студ. спец. 07.08.00 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 1997 |
| Л1.14 | Нарва Валентина Константиновна | Технология порошковых материалов и изделий: курс лекций | Электронная библиотека | М.: Изд-во МИСиС, 2012 |
| Л1.15 | Каблов Е. Н. | Авиационные материалы: Избр. тр., 1932-2002: Юбилейный научно-техн. сб. | Библиотека МИСиС | М.: Изд-во МИСиС, 2002 |
| Л1.16 | Варенков А. Н., Костиков В. И. | Высокотемпературные материалы: Композиционные материалы, армированные волокнами: Курс лекций | Библиотека МИСиС | М.: [МИСиС], 1974 |
| Л1.17 | Жадан В. Т., Осадчий В. А. | Исследование структуры и особенностей деформации порошковых жаропрочных сплавов | Библиотека МИСиС | М.: [МИСиС], 1984 |
| Л1.18 | Золоторевский В. С., Портной В. К., Евсеев Ю. В., Новиков И. И. | Механические свойства металлов: ч. 3 : разд.: Длительная прочность. Жаропрочность. Усталость: лаб. практикум для студ. спец. 11.07 | Библиотека МИСиС | М.: [МИСиС], 1988 |

6.1.2. Дополнительная литература

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|---|--|------------------|-------------------|
| Л2.1 | Варенков А. Н., Варенков А. Н., Ягубчиков А. Н. | Изучение возможности использования дискретных волокон в композиционном материале углерод-углерод | Библиотека МИСиС | М.: [МИСиС], 1988 |

6.1.3. Методические разработки

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|--|--|------------------|-------------------|
| Л3.1 | Панов Владимир Сергеевич, Нарва Валентина Константиновна, Дубынина Любовь Вячеславовна | Технология получения и свойства спеченных материалов и изделий из них: лаб. практикум для студ. вузов спец. - Порошковая металлургия, композиционные материалы, покрытия | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 2007 |

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|--|--|------------------|-------------------|
| ЛЗ.2 | Левашов Евгений Александрович, Новиков А. В., Курбаткина Виктория Владимировна | Технология и свойства СВС-порошков, материалов и изделий: лаб. практикум | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 2007 |

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

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

6.3 Перечень программного обеспечения

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

6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

| Ауд. | Назначение | Оснащение |
|--------------------------------|--|--|
| Любой корпус 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, 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 |
| 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-04 | Лаборатория | вакуумная шахтная печь, печи для спекания в различных средах, гранулятор смеситель, мельницы |
| К-06 | Лаборатория | лабораторная вакуумная печь с вольфрамовым нагревателем, вакуумная печь, электропечь SNOL72/1200 2 шт., весы аналитические |
| 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

Вместо учебника "Производство спеченных изделий" можно использовать более поздний учебник "Производство порошковых материалов" того же автора, выбор которого в менеджере РПД невозможен.