

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по безопасности и общим вопросам

Дата подписания: 30.09.2023 16:41:18

Уникальный программный ключ:

d7a26b9e8ca85e98ac3de2ab454b4659d961f749

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

## Рабочая программа дисциплины (модуля)

# Термодинамика и кинетика металлургических процессов

Закреплена за подразделением Кафедра металлургии стали, новых производственных технологий и защиты металлов

Направление подготовки 22.04.02 МЕТАЛЛУРГИЯ

Профиль Современные технологии получения и защиты металлических материалов

Квалификация **Магистр**

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **3 ЗЕТ**

Часов по учебному плану	108	Формы контроля в семестрах:
в том числе:		зачет 1
аудиторные занятия	34	
самостоятельная работа	74	

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	1 (1.1)		Итого	
	УП	РП	УП	РП
Неделя	18			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	17	17	17	17
Практические	17	17	17	17
Итого ауд.	34	34	34	34
Контактная работа	34	34	34	34
Сам. работа	74	74	74	74
Итого	108	108	108	108

Программу составил(и):

*д.т.н., профессор, Павлов Александр Васильевич*

Рабочая программа

**Термодинамика и кинетика металлургических процессов**

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-22-9.plx Современные технологии получения и защиты металлических материалов, утвержденного Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

22.04.02 Металлургия, Современные технологии получения и защиты металлических материалов, утвержденной Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" 22.09.2022, протокол № 8-22

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра металлургии стали, новых производственных технологий и защиты металлов**

Протокол от 09.06.2022 г., №11

Руководитель подразделения А.В. Дуб

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

1.1	Научить использованию основных законов и понятий физической химии для расчетов и анализа термодинамических и кинетических закономерностей процессов, протекающих в металлургических системах, разработке на этой основе технологических рекомендаций, направленных на повышение эффективности производства и качества продукции.
-----	--

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Блок ОП:		Б1.О
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	Защитные покрытия на металлопродукции	
2.2.3	Модификация поверхности конструкционных сплавов для создания материалов нового поколения	
2.2.4	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.5	Преддипломная практика	

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

<b>ПК-2: Способен проводить материаловедческие исследования при разработке новых металлических и композиционных материалов системы "металл-покрытие"</b>	
<b>Знать:</b>	
ПК-2-31 основные законов и понятия физической химии для расчетов и анализа термодинамических и кинетических закономерностей процессов	
<b>ОПК-1: Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний, знаний в междисциплинарных областях в области металлургии</b>	
<b>Уметь:</b>	
ОПК-1-У1 осуществлять решение задач по подготовке исходных условий для компьютерного расчета равновесных концентраций при заданных значениях температуры и давления	
<b>ПК-2: Способен проводить материаловедческие исследования при разработке новых металлических и композиционных материалов системы "металл-покрытие"</b>	
<b>Владеть:</b>	
ПК-2-В2 постановки и решения задач получения и рафинирования металла на основе термодинамического анализа	
ПК-2-В1 владения техникой термохимического анализа гетерогенных металлургических систем	

**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. Термодинамика процессов с участием металлических и шлаковых растворов</b>							
1.1	01. Компьютерный расчет равновесия между металлом шлаком с помощью современных пакетов прикладных термодинамических программ. /Лек/	1	5	ОПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л1.1 Л1.2Л2.2			
1.2	Проработка лекционного материала (Раздел №1, Лекция №1) /Ср/	1	6	ОПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л1.1 Л1.2Л2.2 Э1			
1.3	02. Термодинамика расплавов железа – углерод – кислород. /Лек/	1	2	ОПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л1.1 Л1.2Л2.2			

1.4	Проработка лекционного материала (Раздел №1, Лекция №2) /Ср/	1	14	ОПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л1.1 Л1.2Л2.2 Э1			
1.5	03. Термодинамический анализ взаимодействия расплавов с оксидами. /Лек/	1	2	ОПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л1.1 Л1.2Л2.2			
1.6	Проработка лекционного материала (Раздел №1, Лекция №3) /Ср/	1	6	ОПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л1.1 Л1.2Л2.2 Э1			
1.7	04. Расчет термодинамических характеристик раскисления стали. /Лек/	1	2	ОПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л1.1 Л1.2Л2.2			
1.8	Проработка лекционного материала (Раздел №1, Лекция №4) /Ср/	1	6	ОПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л1.1 Л1.2Л2.2 Э1			
1.9	05. Термодинамика растворов азота и водорода в расплавах. /Лек/	1	2	ОПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л1.1 Л1.2Л2.2			
1.10	Проработка лекционного материала (Раздел №1, Лекция №5) /Ср/	1	6	ОПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л1.1 Л1.2Л2.2 Э1			
1.11	Подготовка к практическим занятиям №1-№7 /Ср/	1	24	ОПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1			P1
1.12	Практическая работа №1: Компьютерный расчет обезуглероживания стали /Пр/	1	1	ОПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3			
1.13	Практическая работа №2: Компьютерный расчет дефосфорации стали /Пр/	1	1	ОПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3			
1.14	Практическая работа №3: Компьютерный расчет раскисления стали /Пр/	1	1	ОПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3			
1.15	Практическая работа №4: Компьютерный расчет легирования стали /Пр/	1	2	ОПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3			
1.16	Практическая работа №5: Компьютерный расчет десульфурации стали /Пр/	1	4	ОПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3			
1.17	Практическая работа №6: Компьютерный расчет растворимости азота и водорода /Пр/	1	4	ОПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3			
1.18	Практическая работа №7: Компьютерный расчет обезуглероживания высокохромистых расплавов /Пр/	1	4	ОПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3			
	<b>Раздел 2. Кинетика процессов с участием металлических и шлаковых растворов</b>							
2.1	01. Общая характеристика кинетики металлургических реакций. /Лек/	1	2	ОПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л1.1 Л1.2Л2.2			
2.2	Проработка лекционного материала (Раздел №2, Лекция №1) /Ср/	1	6	ОПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л1.1 Л1.2Л2.2 Э1			

2.3	02. Признаки для выявления лимитирующей стадии процесса. /Лек/	1	2	ОПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л1.1 Л1.2Л2.2			
2.4	Проработка лекционного материала (Раздел №2, Лекция №2) /Ср/	1	6	ОПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-В1 ПК-2-В2	Л1.1 Л1.2Л2.2 Э1			РЗ

### 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	Экзамен	ОПК-1-У1;ПК-2-31;ПК-2-В1;ПК-2-В2	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сложные металлургические системы. Химические и физико-химические особенности. Способы анализа.</li> <li>2. Газовые атмосферы металлургических агрегатов. Классификация, химические свойства, кислородный потенциал.</li> <li>3. Условия равновесия в газовых атмосферах. Способы расчета равновесного состава в сложных газовых системах при изотермических условиях.</li> <li>4. Равновесие в газах при адиабатических условиях. Расчет температуры горения газового топлива.</li> <li>5. Кинетические свойства газовых атмосфер металлургических систем. Диффузия в газах, капиллярная диффузия.</li> <li>6. Твердые металлургические фазы. Кристаллическая структура, химическая связь, дефекты кристаллической структуры.</li> <li>7. Диаграмма железо – кислород. Оксиды железа, вюстит и проблема нестехиометричности.</li> <li>9. Стандартные состояния реагентов в металлургических процессах, в т.ч. компонентов расплавов. Количественное описание отклонений от законов Рауля и Генри.</li> <li>10. Виды коэффициентов активности и их определение при проведении расчетов. Параметры взаимодействия компонентов.</li> <li>11. Расчет растворимостей газов в жидком железе и многокомпонентных расплавах на его основе (при различных температурах и давлениях).</li> <li>12. Термодинамика раскисления стали.</li> <li>13. Взаимодействие кислорода с жидким железом. Растворимость. Предел растворимости. Влияние давления, температуры и легирующих на взаимодействие Fe-O.</li> <li>14. Взаимодействие Fe-C-O в расплавах. Влияние давления температуры и легирующих на взаимодействие Fe-C-O.</li> <li>15. Водород в расплавах на основе железа. Влияние давления, температуры и легирующих элементов на взаимодействие водорода с железом.</li> <li>16. Особенности кинетики гетерогенных реакций металлургического производства.</li> <li>17. Признаки определения лимитирующего этапа сложного гетерогенного процесса</li> </ol>

#### 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	Домашняя работа 1	ОПК-1-У1;ПК-2-31;ПК-2-В1;ПК-2-В2	<p>Примерные задачи</p> <p>В системе, содержащей в начальный момент времени 2,5 моль O<sub>2</sub>, 1 моль CH<sub>4</sub>, 0,5 моль CO и 1 моль CO<sub>2</sub> протекают следующие реакции: C+CO<sub>2</sub> = 2CO, CH<sub>4</sub> + ½O<sub>2</sub> = CO+2H<sub>2</sub>, Условия таковы, что K<sub>p1</sub> =0,1; K<sub>p2</sub> = 100. Оценить конечный состав.</p> <p>Расчет растворимостей газов в жидком железе и многокомпонентных расплавах на его основе (при различных температурах и давлениях).</p> <p>Железоуглеродистый расплав подвергают глубокому обезуглероживанию в области концентраций, находящихся ниже критических. Плавка, проведенная при 1873 К показала, что для снижения концентрации углерода с 0,2 до 0,05% потребовалось 5 минут. Сколько времени потребуется для получения такого же обезуглероживания, если провести его при температуре 1973 К? Энергия активации процесса E=80 кДж/моль.</p> <p>сколько раз коэффициент диффузии N<sub>2</sub> отличается от коэффициента диффузии CO в порах магнетита со средним размером 0,001 мкм при одной и той же температуре?</p>
P2	Домашняя работа 2	ПК-2-31	<p>Растворение азота и нитридообразование в расплавах на основе железа. Влияние давления, температуры и легирующих элементов на взаимодействие азота с железом. Как рассчитать возможность нитридообразования в заданном расплаве?</p> <p>Расчитать растворимость водорода в стали (индивидуальное задание) при давлении от 1 атм до 0,00001 атм</p>
P3	Домашняя работа 3	ПК-2-В1;ПК-2-31	<p>Расчитать конечную концентрацию азота после 30-ти минутной выдержки расплава в вакууме, Если начальная концентрация была равна 0,05%. Коэффициент массопередачи азота в металле β = 10-4 м/с, отношение площади зеркала металла к объему F/V = 8м-1. Принять, что процесс деазотации лимитируется внутренней массопередачей. Энергия активации процесса E= 60 кДж/моль.</p> <p>В конвертере при 1873 К проводят кислородную продувку железоуглеродистого расплава. Критическая концентрация углерода составила 05%. Эффективная константа скорости обезуглероживания во внешнедиффузионной области k<sub>1</sub>=0,2%/мин; а во внутридиффузионной области k<sub>2</sub> = 0,4 мин<sup>-1</sup>. Оценить длительность обезуглероживания с 3 до 0,05% С. Как изменится продолжительность обезуглероживания, если его провести при 1923 К с тем же расходом кислорода. Энергии активации процесса во внешнедиффузионной области E<sub>внеш.</sub>=10 кДж/моль, во внешнедиффузионной области E=80 кДж/моль.</p>

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

Экзамен по дисциплине не предусмотрен

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

Для получения зачет по дисциплине необходимо наличие:

1. Практических работ №1-№7
2. Курсового проекта (защита+пояснительная записка)

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 6.1. Рекомендуемая литература

#### 6.1.1. Основная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Петелин А. Л., Михалина Е. С.	Термодинамика и кинетика металлургических процессов. Курс лекций: учеб. пособие для студ. вузов спец. Металлургия чер. металлов	Электронная библиотека	М.: Учеба, 2005

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.2	Михалина Е. С., Петелин А. Л.	Термодинамика и кинетика металлургических процессов. Окислительно-восстановительные системы: учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. 'Металлургия'	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2011

### 6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Григорян В. А., Стомахин А. Я., Уточкин Ю. И., др.	Физико-химические расчеты электросталеплавильных процессов. Сб. задач с решениями: учебное пособие для студ. вузов спец. - Metallургия	Электронная библиотека	М.: Учеба, 2007
Л2.2	Бокштейн Б. С., Менделев М. И., Похвиснев Ю. В.	Физическая химия: термодинамика и кинетика: учебник	Электронная библиотека	М.: Изд-во МИСиС, 2012

### 6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Котельников Г. И., Павлов А. В., Толстолицкий А. А., др.	Термодинамика и кинетика металлургических процессов. Физико-химические расчеты распределения компонентов между металлом, шлаком и газом с использованием компьютерной программы 'ГИББС - МИСиС': учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. 150100 - Metallургия	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2011
Л3.2	Котельников Г. И., Семин А. Е., Толстолицкий А. А., др.	Теория и технология металлургии стали: технологические расчеты на базе равновесного распределения компонентов в системе металл - шлак - газ с использованием компьютерной программы 'ГИББС - МИСиС': учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. 150100 - Metallургия	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2011
Л3.3	Котельников Г. И., Павлов А. В., Косырев К. Л., др.	Термодинамика и кинетика металлургических процессов. Физико-химические расчеты по термодинамике и кинетике поведения газов и неметаллических включений в стали: практикум: учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. - Metallургия	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2013

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

Э1	Курс "Прикладная термодинамика и кинетика металлургических процессов" на платформе LMS Canvas	<a href="https://lms.misis.ru/login/ldap">https://lms.misis.ru/login/ldap</a>
----	---	---

### 6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	ИВТАН ТЕРМО
П.2	Therm_DZ
П.3	Microsoft Office
П.4	LMS Canvas

П.5	MS Teams
П.6	ThermoCalc
П.7	Statistica Base Windows v6
<b>6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных</b>	

#### 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
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.
А-311	Компьютерный класс:	комплект учебной мебели на 14 рабочих мест, оснащенных компьютерами с подключением к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета
А-311	Компьютерный класс:	комплект учебной мебели на 14 рабочих мест, оснащенных компьютерами с подключением к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета

#### 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Для успешного освоения дисциплины "Термодинамика и кинетика металлургических процессов" обучающемуся необходимо:

1. Посещать лекционные и практические занятия
2. Зарегистрироваться на электронный курс «Термодинамика и кинетика металлургических процессов»
3. При самостоятельной работе активно пользоваться основной и дополнительной литературой, а также рекомендованными электронными ресурсами.
4. При возникновении каких-либо вопросов своевременно обращаться к преподавателю (очно/MS Teams)