

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

Структурное подразделение «Металлургии цветных металлов»

УТВЕРЖДЕНА:

на заседании кафедры металлургии цветных металлов

Протокол №9 от 14 февраля 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

«ТЕОРИЯ ПИРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ»

Направление: 22.03.02 Металлургия

Электрометаллургия алюминия

Квалификация: Бакалавр

Форма обучения: очная

Документ подписан простой электронной
подписью
Составитель программы: Минеева Татьяна
Султановна
Дата подписания: 18.06.2025

Документ подписан простой электронной
подписью
Утвердил и согласовал: Немчинова Нина
Владимировна
Дата подписания: 18.06.2025

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

1.1 Дисциплина «Теория пирометаллургических процессов» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения

Код, наименование компетенции	Код индикатора компетенции
ПКС-1 Готовность использовать основные понятия термодинамики, химической кинетики, электрохимии, а также о строении вещества в области электролитического получения алюминия	ПКС-1.4
ПКС-6 Готовность использовать физико-математический аппарат при решении задач, возникающих в ходе изучения процесса электролитического получения алюминия	ПКС-6.2

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ПКС-1.4	Использует основные понятия, законы и модели термодинамики, переноса тепла и массы применительно к пирометаллургическим процессам цветной металлургии	Знать теоретические основы процессов получения металлов и их рафинирования, протекающих в пирометаллургических системах, направления их совершенствования на основе основных понятий, законов и моделей термодинамики. Уметь использовать основные понятия, законы и модели термодинамики при оценке термодинамической вероятности, расчете количественных параметров равновесия пирометаллургических процессов; анализировать фазовые равновесия на основе диаграмм состояния пирометаллургических систем. Владеть научным пониманием сущности и анализа физико-химических закономерностей процессов, протекающих в пирометаллургических системах, на основе основных понятий, законов и моделей термодинамики, навыками термодинамического анализа и расчёта фазовых равновесий пирометаллургических систем на основе основных понятий, законов и моделей термодинамики.
ПКС-6.2	Осуществляет расчеты в	Знать математические методы,

	<p style="text-align: center;">области теории пирометаллургических процессов</p>	<p>информативные для физико-химических расчетов в области теории пирометаллургических процессов</p> <p>Уметь выполнять расчеты термодинамики пирометаллургических процессов с использованием физико-математического аппарата</p> <p>Владеть необходимыми знаниями и умением использования физико-математического аппарата при выполнении физико-химических расчетов в теории пирометаллургических процессов</p>
--	--	---

2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Теория пирометаллургических процессов» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Аналитическая и физическая химия», «Математика», «Физика», «Химия», «Металлургические технологии»

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Металлургия легких металлов», «Металлургия редких металлов», «Металлургия тяжелых цветных металлов», «Металлургия благородных металлов», «Производственная практика: технологическая (проектно-технологическая) практика»

3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 4 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)	
	Всего	Семестр № 6
Общая трудоемкость дисциплины	144	144
Аудиторные занятия, в том числе:	40	40
лекции	20	20
лабораторные работы	10	10
практические/семинарские занятия	10	10
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	68	68
Трудоемкость промежуточной аттестации	36	36
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Экзамен, Курсовая работа	Экзамен, Курсовая работа

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Семестр № 6

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)		№	Кол. Час.	
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Теоретическая металлургия – научная основа металлургического производства	1	1					1	4	Эссе
2	Основы теории ликвационных процессов	2	2	1	4	1, 2	4	3, 4, 5, 6, 7, 8	17	Отчет по лабораторной работе
3	Основы теории процессов испарения и конденсации	4	3			3	2	3, 5, 8	13	
4	Теория процессов окисления и окислительного рафинирования металлов	5, 6	3			5	2	2, 5, 5, 8	8	Тест
5	Основы теории восстановления металлов из их соединений	7, 8	3	3	2			2, 4, 5, 6, 7, 8	10	Тест, Отчет по лабораторной работе
6	Металлургические шлаки	9, 10	4	5	4	4	2	2, 4, 5, 6, 7, 8	8	Отчет по лабораторной работе, Тест
7	Основы теории сульфидных плавок	11	2					2, 8	4	Тест
8	Физико-химические основы процессов обжига	13	2					2, 8	4	Тест
	Промежуточная аттестация								36	Экзамен, Курсовая работа
	Всего		20		10		10		104	

4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Семестр № 6

№	Тема	Краткое содержание
1	Теоретическая металлургия – научная основа металлургического производства	В основу металлургических способов переработки сырья положен принцип перевода обрабатываемого сырья в гетерогенную систему, фазы которой отличаются по составу и физическим свойствам. Сущность любого металлургического процесса сводится к получению из исходного сырья двух продуктов, один из которых обогащён извлекаемым компонентом, а другой обеднён им. Эти продукты могут быть разделены достаточно простыми

		<p>приёмами. Metallургические процессы представляют собой совокупность физических явлений и физико-химических превращений. Академики А.А. Байков и А.Н. Вольский подчёркивали, что металлургия – прежде всего наука о закономерностях превращений веществ в ходе их переработки. Для сложных металлургических систем, имеющих специфические особенности, которые зачастую становятся определяющими на практике, наряду с использованием законов фундаментальных наук требуется специальная область знаний – теоретическая металлургия. Знание общих принципов и теоретических основ способов получения цветных металлов позволит совершенствовать существующие и разрабатывать новые технологии.</p>
2	<p>Основы теории ликвационных процессов</p>	<p>Ликвация – это нарушение однородности расплава в жидком состоянии или в процессе его затвердевания. Ликвационное рафинирование металлов основано на различии в температурах плавления, плотностях и малой взаимной растворимости металла и примеси. Оно может осуществляться различными способами: 1) кристаллизация – охлаждение и выдержка расплава при определённой температуре с выделением примеси в виде твёрдой или самостоятельной жидкой фазы, нерастворимой в остальном расплаве; 2) зейгерование- нагревание черновых металлов до температуры, при которой происходит выплавление легкоплавкой составляющей; 3) при постоянной температуре путём введения в расплав реагентов, образующих с примесями тугоплавкие соединения. Независимо от способа ликвационные процессы протекают в две стадии: образование из гомогенного сплава гетерогенной системы и разделение полученных фаз, скорость которого определяется по формуле Стокса. Оценка возможности процесса и его эффективности проводится на основе анализа диаграмм систем рафинируемый металл – примесь. Получение сверхчистых металлов и полупроводников обеспечивают кристаллофизические способы: направленная кристаллизация и зонная плавка.</p>
3	<p>Основы теории процессов испарения и конденсации</p>	<p>Равновесие между парообразной и конденсированной фазами характеризуется давлением насыщенного пара. Оно может быть рассчитано (ур-ние Клапейрона – Клаузиуса) и определено экспериментально. С повышением температуры давление пара возрастает, по этой</p>

		зависимости определяются точка кипения и точка росы. По различию в закономерностях испарения двухкомпонентные системы подразделяют на «смеси» и «растворы». Давление и состав пара смеси не зависит от её состава. Давление пара раствора подчиняется закону Рауля, пар обогащается низкокипящим компонентом, а раствор обогащается высококипящим. Составы сосуществующих фаз определяются по диаграмме кипения. Различие составов кипящей жидкости и получаемого пара положено в основу дистилляционных и ректификационных способов рафинирования. Использование вакуума позволяет существенно понизить температуру процесса и повысить степень чистоты дистиллята.
4	Теория процессов окисления и окислительного рафинирования металлов	Теория окислительных процессов основана на учении о сродстве металлов к кислороду, оцениваемом величиной давления диссоциации оксидов металлов – равновесного давления кислорода, развивающегося при диссоциации оксида. Направление протекания реакции в сторону образования или диссоциации оксида определяется соотношением давления диссоциации и парциального давления кислорода в газовой фазе. Давление диссоциации оксидов зависит от температуры и возрастает с ее повышением, а в расплавах и от активностей Me и MeO . При повышении концентрации оксида давление его диссоциации возрастает, а сродство к кислороду уменьшается. Эта зависимость определяет механизм окислительного рафинирования, при котором сначала окисляется рафинируемый металл с образованием MeO , растворяющегося в расплавленной ванне и отдающего кислород примесям с большим сродством к последнему, порядок выгорания примесей и выбор раскислителя. В полном соответствии с термодинамическим анализом протекает окислительное рафинирование черновой меди.
5	Основы теории восстановления металлов из их соединений	Основное требование к восстановителю – более высокое сродство к кислороду (хлору, сере), чем у восстанавливаемого металла. В качестве восстановителей применяют H_2 , CH_4 , металлы, твердый углерод (уголь, кокс) и CO , использование которого получило наибольшее распространение. Взаимодействие в системе углерод-кислород представляется совокупностью реакций первичного и вторичного горения, из которых наиболее важна полнота протекания реакции газификации углерода $C + CO_2 = 2CO$.

		<p>При газовом восстановлении область восстановительных составов газов для данного MeO расположена выше соответствующей равновесной кривой, газ одного и того же состава является восстановительным для одних и окислительным для других MeO. При протекании процесса в расплавах металлы распределяются между шлаковой и металлической фазами в соответствии со сродством к кислороду, поэтому возможно получение лишь черного металла. Металлотермия применяется, когда неприемлемы C и H₂ вследствие взаимодействия с восстановленным Me.</p>
6	Металлургические шлаки	<p>Шлак – сплав оксидов металлов, образующих между собой химические соединения, твёрдые и жидкие растворы, эвтектические смеси. Шлаки формируются из компонентов пустой породы и флюсов. Основная функция шлака – выведение из процесса пустой породы и отделение ее от полезных продуктов плавки. Наряду с этим шлак является средой, в которой протекают сложные физико-химические процессы, осаждение металла (штейна); терморегулятором плавки и т.д. Состав шлака определяет результаты плавки, т.к. его физико-химические свойства (плавкость, вязкость, поверхностное натяжение и др.) являются структурно-чувствительными. Существуют две теории строения шлаковых расплавов: молекулярная и ионная, прямым подтверждением которой является электропроводность шлаков. С точки зрения последней шлак – расплав ионов катионов металлов-модификаторов и сложных кислородсодержащих анионов, преимущественно на основе кремния. Различают три вида потерь металлов со шлаками: химические, физические и механические. Последние преобладают, их снижение может быть достигнуто путем повышения эффективности разделения продуктов плавки за счет повышения межфазного натяжения, перемешивания с извлекающей фазой, газовой флотации.</p>
7	Основы теории сульфидных плавки	<p>Давлением диссоциации сульфидов, определяющим их устойчивость (сродство к сере), называется равновесное давление паров серы, выделяющейся при диссоциации сульфида. При плавках сульфидного сырья высшие сульфиды диссоциируют до низших, которые образуют сплав – штейн. Для практики имеют значение медные и никелевые штейны. Представление о природе медных штейнов дает диаграмма тройной системы Si- Fe-S. Штейны расположены между</p>

		<p>областью расслаивания и линией $\text{Si}_2\text{S}-\text{FeS}$ (содержание S ~25%). Никелевые штейны характеризуются высокой степенью металлизации. Основу сульфидных плавков составляют реакции между сульфидами и оксидами:</p> <p>1. $[\text{MeS}] + 2[\text{MeO}] = 3[\text{Me}] + \text{SO}_2$-реакционная плавка, она протекает в первом периоде конвертирования;</p> <p>2. $[\text{Me}'\text{S}]_{\text{шт}} + (\text{MeO})_{\text{шл}} = [\text{MeS}]_{\text{шт}} + (\text{Me}'\text{O})_{\text{шл}}$ взаимодействие, определяющее распределение металлов между шлаком и штейном.</p> <p>Рафинирование с помощью серы применяют для удаления примесей, обладающих большим сродством к сере, чем основной металл, например, для тонкого обезмеживания свинца после ликвационного.</p>
8	Физико-химические основы процессов обжига	<p>При обжиге сырьё нагревают до температуры, при которой происходит изменение его химического состава без расплавления материала. В процессах обжига могут протекать как твёрдофазные превращения, так и взаимодействие твёрдой и газообразной фаз. Каждый из видов обжига (окислительный, хлорирующий, восстановительный, кальцинирующий) требует для своего осуществления определённых условий. Так, при окислительном обжиге происходит взаимодействие твёрдых сульфидов с кислородом с образованием твердых продуктов (оксидов или сульфатов) и газовой фазы (оксидов серы). Возможность протекания обжига по типу сульфатизирующего определяется соотношением давления диссоциации сульфата и парциального давления SO_3 в газовой фазе. При низких температурах устойчивы сульфаты, при высоких – оксиды. Окисление сульфидов – экзотермический процесс. Температура воспламенения сульфидов – это температура, при которой выделяющегося тепла достаточно для распространения реакции по всей массе обжигаемого материала и процесс протекает самопроизвольно. Кинетические закономерности обжига зависят как от физических свойств сульфида и его реакционной поверхности, так и от температуры, характера движения и состава газовой фазы. Прогрессивным способом, позволяющим существенно интенсифицировать процесс, является обжиг в кипящем слое</p>

4.3 Перечень лабораторных работ

Семестр № 6

№	Наименование лабораторной работы	Кол-во академических часов
1	Изучение процессов ликвации	4
3	Металлотермическое восстановление хлоридов	2
5	Изучение физических свойств шлаков	4

4.4 Перечень практических занятий

Семестр № 6

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Анализ типовых диаграмм состояния пирометаллургических систем	2
2	Расчеты процессов ликвационного рафинирования с использованием диаграмм состояния	2
3	Расчеты процессов испарения. Построение диаграмм «давление пара – состав» двухкомпонентных систем	2
4	Расчеты шлаков металлургических плавков	2
5	Расчеты и примеры процессов окислительного рафинирования	2

4.5 Самостоятельная работа

Семестр № 6

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Выполнение письменных творческих работ (писем, докладов, сообщений, ЭССЕ)	4
2	Выполнение тренировочных и обучающих тестов	10
3	Написание курсового проекта (работы)	20
4	Оформление отчетов по лабораторным и практическим работам	3
5	Подготовка к практическим занятиям	7
6	Подготовка к практическим занятиям (лабораторным работам)	3
7	Подготовка к сдаче и защите отчетов	3
8	Проработка разделов теоретического материала	18

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: тренинг, исследовательский метод

5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

5.1.1 Методические указания для обучающихся по курсовому проектированию/работе:

Теория пирометаллургических процессов: Методические указания по выполнению курсовой работы [электронный ресурс] /сост. Минеева Т.С. –Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013.– 23с.

5.1.2 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

Теория пирометаллургических процессов: Методические указания по проведению практических занятий [электронный ресурс] /сост.Минеева Т.С. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013. – 43с.

5.1.3 Методические указания для обучающихся по лабораторным работам:

Теория пирометаллургических процессов: Методические указания по выполнению лабораторных работ /сост. Минеева Т.С. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013.– 46с.

5.1.4 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

Теория пирометаллургических процессов: Методические указания по выполнению самостоятельной работы [электронный ресурс] /сост. Минеева Т.С. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013.– 19с.

6 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине

6.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля

6.1.1 семестр 6 | Эссе

Описание процедуры.

Данный вид самостоятельной работы предполагает индивидуальное самостоятельное выполнение письменной работы (эссе) по предлагаемой тематике с использованием рекомендуемой литературы и информационных ресурсов.

На последней неделе семестра обучающийся представляет подготовленный материал в виде отчетного документа (текст эссе должен быть выполнен с помощью ПК, напечатан на листах белой бумаги формата А4, иметь титульный лист, объем до 2 стр.) Допускается представление преподавателю в электронно виде.

Вопросы для контроля:

1. Сущность любого металлургического процесса (на конкретном примере).
2. Разделение фаз гетерогенных пирометаллургических систем.

Критерии оценивания.

Оформление в соответствии с СТО.005-2020. Полнота раскрытия рассматриваемых вопросов. Изложение и аргументация собственной позиции (обязательно).

6.1.2 семестр 6 | Отчет по лабораторной работе

Описание процедуры.

Перед проведением лабораторных работ все обучающиеся обязаны ознакомиться с правилами охраны труда и строго их выполнять. К выполнению лабораторных работ допускаются обучающиеся, прослушавшие инструктаж по технике безопасности и сделав

соответствующую запись в журнале по ТБ в аудитории, предназначенной для проведения лабораторных работ по данной дисциплине.

1. Задание на выполнение лабораторной работы обучающийся получает на предыдущем занятии. При подготовке к лабораторной работе обучающийся обязан ознакомиться с её содержанием, повторить или изучить теоретический материал, относящийся к работе, используя рекомендуемую литературу, понять цель и задачи работы.

2. К началу занятий должна быть подготовлен шаблон отчета по лабораторной работе, в который необходимо включить необходимые расчётные формулы, подготовить таблицы для наблюдений.

3. Отчет оформляется для каждой лабораторной работы. Отчёт должен содержать название работы, изложение цели и задач работы, краткое теоретическое введение, схему установки и краткое описание методики проведения работы, таблицу с опытными и расчётными данными; графики (там, где это требуется), справочные данные, выводы по работе. Отчёты по лабораторным работам оформляются в соответствии с требованиями методических указаний по выполнению лабораторных работ и требованиями СТО «027-2021 СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА. Учебно-методическая деятельность. Общие требования к организации и проведению лабораторных работ».

4. На следующем занятии отчёт предоставляется преподавателю для проверки. При защите отчёта проверяется знание теоретического материала соответствующих разделов курса и вопросов методики, связанной с выполнением работы.

Вопросы для контроля (на примере лабораторной работы «Металлотермическое восстановление хлоридов»):

1. Что такое металлотермия и какова область ее применения?

2. Требования к металлам-восстановителям.

3. Чем определяется направление протекания металлотермической реакции?

4. Что называется давлением диссоциации хлорида металла? Какой термодинамической функцией оно является?

5. Зачем для металлотермических процессов требуется создание защитной атмосферы? Как она создается при проведении данной работы?

6. Почему при протекании металлотермического восстановления в расплаве получают сплав, а не металл?

7. Что такое температура металлотермической реакции и от чего она зависит?

8. В чем преимущество вакуумной металлотермии?

Критерии оценивания.

Правильность оформления отчетов и полнота ответов на вопросы по контрольным вопросам, приведенным к каждой лабораторной работе в методических указаниях. Подробное описание лабораторных работ и вопросы к защите отчета представлены в методических указаниях.

6.1.3 семестр 6 | Тест

Описание процедуры.

При подготовке к тестированию самостоятельно изучить теоретический материал с помощью основной и дополнительной литературы и информационных ресурсов и проработать конспект лекционного материала.

Пример теста:(по теме "Металлургические шлаки")

Вариант

1. Что является основной функцией шлака?

- a) получение штейна
 - b) выведение из процесса пустой породы
 - c) получение металла
2. Степень кислотности шлака – это отношение
- a) количества кислых оксидов к количеству основных
 - b) количество кислых оксидов к общему количеству оксидов
 - c) кислорода кислых оксидов к кислороду основных оксидов
3. Назначение флюсов:
- a) удешевление шлака
 - b) снижение выхода шлаков
 - c) оптимизация составов шлаков
4. Интервал плавкости шлаков зависит от:
- a) плотности шлаков
 - b) поверхностного натяжения шлаков
 - c) степени кислотности шлаков
5. Какое структурно-чувствительное свойство шлаков является непосредственным доказательством их ионного строения?
- a) вязкость
 - b) электропроводность
 - c) плотность
6. Как изменяется поверхностное натяжение шлаковых расплавов при добавлении ПАВ?
- a) повышается
 - b) ПАВ не влияют на поверхностное натяжение
 - c) понижается
7. Какая форма потерь преобладает в общем балансе потерь металлов со шлаками?
- a) химические
 - b) механические
 - c) физические
8. Какое отношение определяет сложность строения кремнекислородных комплексов и силикатов?
- a) Si : Me
 - b) O : Si
 - c) O : Me
9. Какая структура типична для коротких шлаков после затвердевания?
- a) форфоровидная
 - b) стекловидная
 - c) камневидная
10. Электропроводность шлаков с повышением температуры
- a) понижается
 - b) не меняется
 - c) повышается
11. При каком отношении O : Si силикаты имеют кольцевую структуру
- a) 3:1
 - b) 4:1
 - c) 2:1
12. Поверхностное натяжение шлаков не зависит от их состава.
13. Шлак является средой, в которой протекают основные физико-химические превращения.
14. Химические потери металлов со шлаками зависят от степени окисленности шлаков.
15. Каким типом проводимости характеризуются шлаки?
- a) ионной

- b) электронной
 c) дырочной
16. Чем принципиально отличаются длинные и короткие шлаки?
 a) плавкостью
 b) вязкостью
 c) электропроводностью
17. Согласно ионной теории строения шлаков силикат $3\text{MeO} \cdot 2\text{SiO}_2$ диссоциирует по реакции
 $3\text{MeO} \cdot 2\text{SiO}_2 \leftrightarrow 3\text{Me}^{2+} + \text{Si}_2\text{O}_7^{6-}$
18. При каком отношении O:Si образуются сдвоенные тетраэдры?
 a) 4:1
 b) 2:1
 c) 3,5:1
19. В общем балансе потерь металлов со шлаками преобладают электрохимические потери
20. Вязкость шлаков обусловлена наличием малоподвижных кремнекислородных комплексов.

Критерии оценивания.

Тест считается успешно пройденным при правильных ответах на вопросы теста более 75%

6.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

6.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания индикаторов достижения компетенции в рамках промежуточной аттестации

Индикатор достижения компетенции	Критерии оценивания	Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации
ПКС-1.4	Способен использовать основные понятия, законы и модели термодинамики, переноса тепла и массы для понимания теоретических основ процессов, протекающих в пирометаллургических системах.	Устное собеседование по вопросам к экзамену
ПКС-6.2	Способен выполнять расчетно-теоретическую работу, используя	Выполнение и защита курсовой

	физико-математический аппарат для термодинамического анализа и расчета фазовых равновесий пирометаллургических систем.	работы
--	--	--------

6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

6.2.2.1 Семестр 6, Типовые оценочные средства для проведения экзамена по дисциплине

6.2.2.1.1 Описание процедуры

Экзамен проводится в виде собеседования по вопросам экзаменационного билета. Для успешной сдачи экзамена обучающемуся заранее выдаются контрольные вопросы. Критерии оценки ответов доводятся до сведения обучающихся. Результат объявляется после сдачи и выставляется в электронную экзаменационную ведомость.

Вопросы к экзамену

1. Предмет теории пирометаллургических процессов. Краткая история развития теоретической металлургии. Сущность и назначение металлургического процесса. Способы разделения фаз в цветной металлургии. Технологическая классификация пирометаллургических процессов.
2. Ликвация, способы и стадии процесса. Формула Стокса. Ликвационное рафинирование металлов. Разбор на основе диаграмм состояния систем: Pb – Ag, Pb – Ag – Zn, Ni₃S₂ – Cu₂S – Na₂S, Al – Si, Sn – Fe, Cu – Pb, Zn – Pb. Направленная кристаллизация и зонная плавка.
3. Закономерности испарения в однокомпонентных системах. Теоретические основы процесса конденсации.
4. Закономерности испарения в двухкомпонентных системах – «смесях» и «растворах». Диаграмма кипения. Дистилляционные и ректификационные способы рафинирования. Роль внешнего давления в процессах испарения.
5. Шлаки. Функции и требования к ним. Химическая характеристика шлаков. Плавкость шлаков.
6. Вязкость шлаков. Электропроводность, поверхностное натяжение, плотность шлаков. Влияние температуры и состава.
7. Молекулярная и ионная теория строения шлаков. Строение кремнекислородных комплексов.
8. Потери металлов со шлаками. Характеристика основных форм потерь.
9. Термодинамика процессов окисления металлов и диссоциации оксидов. Давление диссоциации оксидов металлов. Диссоциация оксидов металлов в системах с растворами.
10. Окислительное рафинирование металлов. Механизм и порядок выгорания примесей. Окислительное рафинирование меди и свинца. Раскисление металлов.
11. Физико – химические основы процессов восстановления оксидов металлов. Восстановители цветной металлургии, требования к ним. Реакции горения углерода. Теоретические основы механизма окисления углерода.
12. Термодинамика восстановления оксидов металлов оксидом углерода. Термодинамика восстановления растворенных оксидов оксидом углерода из шлаков. Углетермическое восстановление оксидов металлов.

13. Металлотермия. Термодинамика процесса. Области применения. Вакуумная металлотермия. Магнетермическое восстановление титана.
14. Термодинамическая оценка прочности сульфидов. Общая характеристика штейнов. Диаграмма Cu – Fe – S и природа медных штейнов.
15. Взаимодействие сульфида и оксида одного и того же металла. Реакционная плавка. Взаимодействие сульфидов и оксидов различных металлов и распределение металлов между штейном и шлак. Рафинирование с помощью серы (на примере тонкого обезмеживания свинца).
16. Теоретические основы окислительного обжига. Оксидная и сульфидная теории. Условия сульфатообразования. Основные факторы, влияющие на окислительный обжиг. Температура воспламенения сульфидов. Кальцинирующий обжиг (термодинамика процесса, температура полного разложения карбонатов).

6.2.2.1.2 Критерии оценивания

Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно
Способен глубоко и прочно использовать основные понятия, законы и модели термодинамики, переноса тепла и массы для понимания теоретических основ процессов, протекающих в пирометаллургических системах.	Способен использовать основные понятия, законы и модели термодинамики, переноса тепла и массы для понимания теоретических основ процессов, протекающих в пирометаллургических системах, но недостаточно глубоко и прочно.	Слабо способен использовать основные понятия, законы и модели термодинамики, переноса тепла и массы для понимания теоретических основ процессов, протекающих в пирометаллургических системах.	Не способен использовать основные понятия, законы и модели термодинамики, переноса тепла и массы для понимания теоретических основ процессов, протекающих в пирометаллургических системах.

6.2.2.2 Семестр 6, Типовые оценочные средства для курсовой работы/курсового проектирования по дисциплине

6.2.2.2.1 Описание процедуры

Для оценки сформированности индикатора компетенций ПКС-6.2 необходимо выполнить расчетную курсовую работу (по вариантам) и ответить на контрольные вопросы при ее защите.

Задания и пример расчета приведены в методических указаниях.

Перечень вопросов к защите курсовой работы:

1. Значение диаграммы системы металл-примесь для оценки возможности ликвационного рафинирования.
2. Что такое фигуративная точка исходного сплава? Как она находится на диаграмме?
3. Как по диаграмме системы рассчитывается выход продуктов рафинирования?
4. Для чего используется «правило отрезков»?
5. Какой закон позволяет рассчитать необходимую продолжительность разделения образовавшихся фаз?

6. Обоснуйте выбор способа ликвационного рафинирования.
7. Какому закону подчиняется давление пара систем-растворов? Сформулируйте его.
8. Почему зависимость давления пара от состава системы неоднозначна?
9. Какой принцип положен в основу выбора экспериментального метода определения давления пара металла?
10. На чем основаны косвенные методы определения давления паров металлов?

6.2.2.2 Критерии оценивания

Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно
Способен выполнять расчетно-теоретическую работу по теории пирометаллургических процессов, глубоко обоснованно используя физико-математический аппарат для термодинамического анализа и расчета фазовых равновесий пирометаллургических систем.	Способен выполнять расчетно-теоретическую работу по теории пирометаллургических процессов, используя физико-математический аппарат для термодинамического анализа и расчета фазовых равновесий пирометаллургических систем, но не в полной мере глубоко обоснованно.	Способен выполнять расчетно-теоретическую работу по теории пирометаллургических процессов, слабо используя физико-математический аппарат для термодинамического анализа и расчета фазовых равновесий пирометаллургических систем.	Не способен выполнять расчетно-теоретическую работу по теории пирометаллургических процессов, используя физико-математический аппарат для термодинамического анализа и расчета фазовых равновесий пирометаллургических систем.

7 Основная учебная литература

1. Вольский Антон Николаевич. Теория металлургических процессов. Пирометаллургические процессы : учебное пособие для студентов вузов по специальности "Металлургия цветных металлов" / А. Н. Вольский, Е. М. Сергиевская, 1968. - 344.
2. Теория металлургических процессов : учебник для вузов по направлению 150100 "Металлургия", специальность 150102 "Металлургия цветных металлов" / Г. Г. Минеев [и др.]; под общ. ред. Г. Г. Минеева, 2010. - 522.

8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Гольдштейн Нисон Львович. Теория металлургических процессов. Восстановительные и окислительные процессы : учебное пособие / Н. Л. Гольдштейн, 1979. - 91.
2. Теория металлургических процессов : учеб. для металлург. специальностей вузов / под ред. Д. И. Рыжонкова, 1989. - 390.

3. Погорельый Александр Дмитриевич. Теория металлургических процессов : учеб. пособие для вузов по спец. "Металлургия цветных металлов" / Александр Дмитриевич Погорельый, 1971. - 503.
4. Гольдштейн Н. Л. Теория металлургических процессов. Металлургические системы : учебное пособие / Н. Л. Гольдштейн, 1979. - 81.
5. Линчевский Борис Вадимович. Теория металлургических процессов : учеб. для вузов по направлению "Металлургия" и спец. "Физ.-хим. методы исслед. процессов и материалов" / Борис Вадимович Линчевский, 1995. - 352.
6. Дроздов Н. Н. Теория металлургических процессов. Раздел: Процессы испарения и конденсации в металлургии : курс лекций / Н. Н. Дроздов, П. П. Арсентьев; под ред. С. И. Филиппова, 1976. - 50.
7. Теория металлургических процессов / ред. П. П. Арсентьев. 1969 : Физико-химические свойства жидких металлов, сплавов и других расплавов, принимающих участие в металлургических процессах; методы исследования, поверхностные свойства / С. И. Попель, 1971. - 132.
8. Есин. Физическая химия пирометаллургических процессов [Текст]. Ч. 2 : Взаимодействия с участием расплавов, 1966. - 703.
9. Ванюков А. В. Теория пирометаллургических процессов : учебник для вузов по специальности "Металлургия цветных металлов" / А. В. Ванюков, В. Я. Зайцев, 1973. - 504.
10. Ванюков Андрей Владимирович. Теория пирометаллургических процессов : учеб. для вузов по спец. "Металлургия цв. металлов" / Андрей Владимирович Ванюков, Владимир Яковлевич Зайцев, 1993. - 384.
11. Клѐц В. Э. Основы пирометаллургических производств : учебное пособие для вузов по направлению "Металлургия" / В. Э. Клѐц; В. Э. Клѐц, Н. В. Немчинова, В. С. Кокорин, 2009. - 143.
12. Есин. Физическая химия пирометаллургических процессов. Ч. 1 : Реакции между газообразными и твердыми фазами, 1962. - 671.
13. Теория пирометаллургических процессов : методические указания к практическим занятиям бакалавров по направлению 22.03.02 "Металлургия" очной и заочной форм обучения / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, 2017. - 44.
14. Теория пирометаллургических процессов : методические указания для самостоятельной работы бакалавров по направлению 22.03.02 "Металлургия" очной и заочной форм обучения / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, 2017. - 20.
15. Теория пирометаллургических процессов [Электронный ресурс] : методические указания по выполнению курсовой работы / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, 2018. - 38.
16. Теория пирометаллургических процессов : методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов заочной формы обучения / Иркут. гос. техн. ун-т, 2013. - 45.
17. Атлас шлаков / Пер. с нем. Г. И. Жмойдина, 1985. - 208.

18. Процессы и аппараты цветной металлургии : учеб. для вузов по направлению "Металлургия" и специальности "Металлургия цв. металлов" / Под ред. С. С. Набойченко, 1997. - 655.

19. Жуховицкий Александр Абрамович. Физическая химия : учебник для металлург. спец. вузов / Александр Абрамович Жуховицкий, Л.А. Шварцман, 1987. - 687.

20. Аграчева Р. А. Основы теории металлургических процессов : учебное пособие для техникумов цветной металлургии / Р. А. Аграчева, И. П. Гофман, 1965. - 276.

9 Ресурсы сети Интернет

1. <http://library.istu.edu/>
2. <https://e.lanbook.com/>

10 Профессиональные базы данных

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>

11 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем

1. Microsoft Office 2003 VLK (поставки 2007 и 2008)
2. Microsoft Windows (XP Prof + Vista Bussines) rus VLK поставка 08_2007
3. Microsoft Office 2007 VLK (поставки 2007 и 2008)

12 Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Проектор "Epson EB-S18"
2. Муфельная печь ЭКПС 10 (1100*С, 10л, материал камеры-волокно МКРВ)
3. Весы технические лабораторные "BT-1500"
4. Шкаф вытяжной 1200*750*2200
5. Экран Projecta SlimScreen настенный
6. Изложница, тигли, цанги
7. Технологические материалы, реагенты