

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

«ЭЛЕКТРОХИМИЯ РАСПЛАВЛЕННЫХ СОЛЕЙ»

Направление: 22.03.02 Металлургия

Электрометаллургия алюминия

Квалификация: Бакалавр

Форма обучения: очная

Документ подписан простой электронной
подписью
Составитель программы: Кузьмина Марина
Юрьевна
Дата подписания: 16.05.2025

Документ подписан простой электронной
подписью
Утвердил и согласовал: Немчинова Нина
Владимировна
Дата подписания: 16.05.2025

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

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

1.1 Дисциплина «Электрохимия расплавленных солей» 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-1.1

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ПКС-1.1	Использует основные знания в области электрохимии расплавленных солей/ физических, химических свойств углеродных материалов, используемых в при производстве алюминия, а также технологии их производства /строения и свойств сплавов на основе алюминия	Знать – основные законы и понятия неорганической химии, физической химии и электрохимии для анализа химических и электрохимических процессов, происходящих с металлами и их соединениями; – анализ основных этапов и направлений развития высокотемпературной электрохимии и вклада отечественных учёных в её становление; – анализ связи термодинамических характеристик со структурой расплавов и силами межчастичного взаимодействия; – природу фазовых равновесий в металлургических системах; – термодинамические основы ряда технологических процессов, связанных с применением расплавленных электролитов. Уметь – анализировать перспективные области применения расплавленных электролитов; – анализировать и делать выбор оптимального состава электролита для электролиза ионных расплавов на основании определения термодинамических свойств солевой фазы. Владеть – способностью применять на практике основные знания в области электрохимии расплавленных солей;

		– способностью анализировать сведения о строении и физико-химических свойствах расплавленных солевых систем, электрохимической термодинамике и кинетике электродных процессов в расплавленных электролитах, а также синтезировать знания в области высокотемпературной электрохимии.
--	--	--

2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Электрохимия расплавленных солей» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Химия», «Физика», «Математика», «История развития металлургии в России», «Аналитическая и физическая химия», «Основы научных исследований»

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Теория электрометаллургических процессов», «Электрометаллургия алюминия и проектирование цехов электролиза»

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 № 4
Общая трудоемкость дисциплины	144	144
Аудиторные занятия, в том числе:	57	57
лекции	38	38
лабораторные работы	0	0
практические/семинарские занятия	19	19
Контактная работа, в том числе	0	0
в форме работы в электронной информационной образовательной среде	0	0
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	51	51
Трудоемкость промежуточной аттестации	36	36
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Экзамен	Экзамен

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Семестр № 4

№	Наименование	Виды контактной работы	СРС	Форма
---	--------------	------------------------	-----	-------

п/п	раздела и темы дисциплины	Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)				текущего контроля
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Введение. Основы высокотемпературной электрохимии	1	2					2	20	Реферат
2	Раздел 1. Физико-химические свойства и строение расплавленных солей	2	10			1	4	3, 4	12	Доклад
3	Раздел 2. Электрохимическая термодинамика расплавленных солевых систем	3	10			2, 3	7	3, 3, 5	7	Устный опрос
4	Раздел 3. Кинетика электродных процессов в расплавленных солях	4	10			4	4	1, 3	7	Тест
5	Раздел 4. Взаимодействие в системах металл–соль в расплавленном состоянии	5	6			5	4	3, 5	5	Устный опрос
	Промежуточная аттестация								36	Экзамен
	Всего		38				19		87	

4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Семестр № 4

№	Тема	Краткое содержание
1	Введение. Основы высокотемпературной электрохимии	Электрохимия расплавленных солей изучает общие закономерности электрохимических реакций и возможности осуществления технологических процессов в системах с расплавленными электролитами, обладающих ионной проводимостью. К числу расплавленных электролитов, называемых часто ионными расплавами, преимущественно, относятся такие расплавленные соли, как галогениды металлов, соли кислородсодержащих кислот, а также системы, состоящие из этих компонентов. Важнейшей отличительной особенностью расплавленных электролитов по сравнению с водными растворами является отсутствие диэлектрического растворителя, что ведёт к высокой концентрации ионов в единице объёма,

		сильному межчастичному взаимодействию. Во введении дается характеристика основных разделов курса “Электрохимия расплавленных солей”: “Физико-химические свойства и строение расплавленных солей”, “Электрохимическая термодинамика расплавленных солевых систем”, “Кинетика электродных процессов в расплавленных солях”, “Взаимодействие в системах металл–соль в расплавленном состоянии”.
2	Раздел 1. Физико-химические свойства и строение расплавленных солей	Дается характеристика структурных особенностей индивидуальных расплавленных солей и их смесей. В зависимости от числа компонентов и заряда ионов рассматриваются следующие группы солевых смесей: 1. Бинарные системы с симметричным зарядом и с общим ионом (все ионы имеют одинаковый заряд, NaCl–KCl, NaBr–NaCl; заряд ионов различен, MgCl₂–CaCl₂, Na₂SO₄–K₂SO₄); 2. Бинарные системы с несимметричным зарядом и с общим ионом, NaCl–CaCl₂, KCl–MgCl₂; 3. Взаимные системы, в которых две соли, не имеющие общего иона, образуют расплав с четырьмя ионами (тройные взаимные системы) (заряд ионов симметричен, KCl–NaBr; заряд ионов несимметричен, KCl–AlBr₃); 4. Тройные системы, образованные из трех солей с общим анионом, LiCl–NaCl–KCl, MgCl₂–KCl–NaCl, или с общим катионом, LiBr–LiCl–LiF; 5. Более сложные системы, к их числу относятся взаимные системы, образующие расплав с числом ионов более четырех, а также четырехкомпонентные системы с общим анионом или катионом. Рассматриваются особенности понятия “идеальная смесь” применительно к ионным расплавам и причины отклонения от идеального поведения.
3	Раздел 2. Электрохимическая термодинамика расплавленных солевых систем	Рассматриваются следующие темы: 1. Электрохимические методы исследования термодинамических свойств расплавленных солей (Для экспериментального определения термодинамических характеристик расплавленных солевых систем используют измерения ЭДС различных гальванических элементов. Гальванические цепи с расплавленными солями делятся на две основные группы – химические цепи и концентрационные цепи); 2. Электроды сравнения и ряды потенциалов (Требования к электроду сравнения для расплавленных солей: устойчивость и воспроизводимость его потенциала, простота изготовления, надежность в работе. Высокие температуры и агрессивность

		расплавов не всегда позволяют выполнить эти требования. Электрохимия ионных расплавов, в отличие от электрохимии водных растворов, не располагает универсальными электродами сравнения. Выбор того или иного электрода осуществляется с учетом конкретных условий эксперимента); 3. Химические источники тока с расплавленными электролитами (В настоящее время разработаны и используются следующие устройства: ХИТ на основе системы литий–хлор; ХИТ на основе систем литий–висмут и литий–теллур; ХИТ с анодами на основе кальция; аккумулятор на основе системы литий–сера; аккумулятор на основе системы натрия–сера; термоэлектрохимические преобразователи).
4	Раздел 3. Кинетика электродных процессов в расплавленных солях	Рассматриваются темы: 1. Особенности электрохимической кинетики в расплавленных солях (Выделяют виды электродной поляризации (перенапряжения): активационную поляризацию (перенапряжение перехода); концентрационную поляризацию (диффузионное перенапряжение); фазовую поляризацию (перенапряжение кристаллизации); омическую поляризацию (омическое перенапряжение). Иногда выделяют перенапряжение реакции. Наблюдаемая экспериментально суммарная поляризация складывается из отдельных составляющих, каждая из которых может иметь большее или меньшее значение); 2. Строение двойного слоя (Характерными особенностями расплавленных солей и их смесей являются отсутствие диэлектрического растворителя и высокая концентрация заряженных частиц в единице объема. В ионных расплавах возникает ряд специфических особенностей, связанных с влиянием на величину емкости катионного и анионного состава расплава, температуры); 3. Методы исследования электрохимической кинетики в расплавленных солях (При исследовании кинетических параметров электродных процессов в расплавленных солях, коэффициентов диффузии ионов, других важных характеристик солевой фазы наиболее широкое распространение получили различные варианты вольтамперометрии и хронопотенциометрии).
5	Раздел 4. Взаимодействие в системах металл–соль в расплавленном состоянии	Рассматриваются темы: 1. Растворимость металлов в расплавленных солях (Различают равновесия, наблюдающиеся при взаимодействии металлов с расплавленными солями, содержащими ионы этих металлов, и равновесия, являющиеся результатом взаимодействия металла с расплавленной солью

		другого металла. В первом случае говорят о растворении металла в расплавленной соли, во втором – о протекании обменной, точнее окислительно-восстановительной реакции. Способность металлов растворяться в расплавленном электролите – это важная причина снижения выхода по току и ухудшения показателей электролиза. Рассматриваются фазовые диаграммы систем металл–соль, влияние состава металлической и солевой фаз на растворимость металлов в расплавленных солях); 2. Термодинамические свойства систем металл–соль (Для растворов металлов в расплавленных солях характерны резко выраженные положительные отклонения от идеального поведения, эндотермический характер смешения, положительные значения избыточной энтропии смешения. Растворы металлов в расплавленных солях ведут себя как типичные системы с областью расслаивания).
--	--	---

4.3 Перечень лабораторных работ

Лабораторных работ не предусмотрено

4.4 Перечень практических занятий

Семестр № 4

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Физико-химические свойства и строение расплавленных солей. Электролит алюминиевой ванны и пути его совершенствования	4
2	Выбор и конструирование электродов сравнения для расплавленных солей	4
3	Конструкция и условия работы высокотемпературных ячеек с расплавленными хлоридными и нитратными электролитами	3
4	Применение вольтамперометрии и хронопотенциометрии для исследования электрохимической кинетики в расплавленных солях	4
5	Растворимость металлов в расплавленных солях. Общие сведения о растворимости и фазовые диаграммы систем металл–соль	4

4.5 Самостоятельная работа

Семестр № 4

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Выполнение тренировочных и обучающих тестов	5
2	Написание реферата	20
3	Подготовка к практическим занятиям	10
4	Подготовка презентаций	10
5	Проработка разделов теоретического материала	6

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: В ходе проведения практических занятий по курсу “Электрохимия расплавленных солей” используются следующие интерактивные методы обучения: разбор конкретных ситуаций; групповые дискуссии. Лекционные и практические занятия по дисциплине проводятся с использованием слайд-материалов.

5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

5.1.1 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

1. Электрохимия расплавленных солей [Электронный ресурс] : метод. указания по проведению практических занятий / сост. М.Ю. Кузьмина, М.П. Кузьмин. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013. – 42 с. (ДСК–3622)
2. Электрохимия расплавленных солей: метод. указания по проведению практических занятий / сост. М.Ю. Кузьмина, М.П. Кузьмин. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2013. – 42 с.

5.1.2 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

Электрохимия расплавленных солей [Электронный ресурс] : метод. указания для самостоятельной работы обучающихся / сост. М.Ю. Кузьмина. – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2018. – 27 с.

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 4 | Реферат

Описание процедуры.

Данный вид самостоятельной работы предполагает индивидуальное самостоятельное выполнение письменной работы (реферата) по предложенной тематике с использованием перечня рекомендуемой литературы и информационных ресурсов. В начале семестра обучающийся выбирает одну из предложенных тем для написания реферата (согласно порядковому номеру в списке группы). После самостоятельного изучения рекомендуемой литературы на последней неделе семестра обучающийся должен предоставить преподавателю отчетный документ по данному виду самостоятельной работы в виде реферата. Текст реферата должен быть выполнен с помощью ПК, на листах белой бумаги формата А4. Правила оформления работы стандартны и приведены в СТО ИРНИТУ 005–2020.

СТО ИРНИТУ 005–2020. Система менеджмента качества. Учебно-методическая деятельность. Оформление курсовых проектов (работ) и выпускных квалификационных

работ технических направлений подготовки и специальностей. – 40 с.

Подготовить презентацию по теме реферата (15–20 слайдов).

Вопросы для контроля:

Примерная тематика рефератов:

1. Гальванические цепи с расплавленными солями.
2. Применение катионпроводящих мембран в электрохимических исследованиях.
3. Использование расплавленных электролитов в химических источниках тока (ХИТ).
4. Электролиз ионных расплавов в цветной металлургии.
5. Физико-химические свойства и строение расплавленных солей.
6. Переплавка и рафинирование алюминия.
7. Использование различных добавок для улучшения свойств электролита алюминиевой ванны.
8. Общие сведения о методах электрохимического анализа.
9. Ячейки и электроды для электрохимического анализа.
10. Термодинамика и кинетика электродных процессов.
11. Теоретические основы вольтамперометрии.
12. Классификация методов вольтамперометрии.
13. Практическое применение методов вольтамперометрии.
14. Потенциометрия.
15. Кинетика электродных процессов.
16. Термодинамика электрохимических систем.
17. Ток обмена и коэффициент переноса.
18. Электрохимические методы исследования термодинамических свойств расплавленных солей.
19. Давление насыщенного пара расплавленных солей.
20. Энтальпия смешения солевых систем.
21. Плотность и мольный объем
22. Вязкость расплавленных электролитов
23. Электропроводность и числа переноса.

Рекомендуемая литература по каждой теме реферата представлена в методических указаниях для самостоятельной работы обучающихся. Для более глубокого изучения выбранной темы реферата, обучающимся необходимо работать с несколькими учебниками, указанными в списке рекомендуемой литературы.

Критерии оценивания.

Полнота раскрытия темы, предлагаемой для написания реферата; перечень используемых источников и уровень компилятивности по тематике; качество оформления.

6.1.2 семестр 4 | Доклад

Описание процедуры.

Целью подготовки к докладу (по выполненной презентации) является проработка отдельного раздела теоретического курса. Обучающийся готовит презентацию по выбранной тематике реферата (согласно варианту из списка группы). Презентация – не более 5 мин, количество слайдов – 15–20.

Критерии оценивания.

Полнота раскрытия вопроса, качество выполненной презентации (оформление, информативность), ответы на вопросы аудитории при докладе.

6.1.3 семестр 4 | Устный опрос

Описание процедуры.

В методических указаниях для самостоятельной работы обучающихся приведены темы для самостоятельного изучения разделов курса и рекомендуемая литература. Изучать материал рекомендуется по главам учебника (учебного пособия) непосредственно перед лекцией по данной теме. Следует прочитать весь материал темы, не затронутый на лекции. На лекции по теме, указанной для самостоятельного изучения, преподаватель проводит устный опрос (выборочно из обучающихся).

Вопросы для контроля (на примере раздела 2. Электрохимическая термодинамика расплавленных солевых систем):

1. Примеры гальванических цепей с расплавленными солями.
2. Примеры химических цепей с индивидуальными расплавленными солями.
3. Привести примеры химических цепей с расплавленными солевыми смесями.
4. Что такое твёрдые защитные электролиты?
5. Описать применение катионпроводящих мембран в электрохимических исследованиях.
6. Осуществить выбор электродов сравнения при исследованиях нитратных расплавов.
7. Какие основные требования предъявляются к электродам сравнения?
8. Какие электроды сравнения используются для исследования расплавленных солей?
9. Ряды потенциалов металлов в расплавленных солях.
10. Привести примеры использования расплавленных электролитов в химических источниках тока.
11. Привести примеры электрохимических методов исследования термодинамических свойств расплавленных солей.

Критерии оценивания.

Активное участие обучающегося при устном опросе.

6.1.4 семестр 4 | Тест

Описание процедуры.

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

Критерии оценивания.

Тест считается успешно пройденным при правильных ответах на вопросы теста более 50 %.

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-1.1	Демонстрирует способность использовать основные знания в области теоретической электрохимии и электрохимии расплавленных солей при производстве алюминия и сплавов на основе алюминия. Демонстрирует знание строения и основных физических, химических и физико-химических свойств материалов, используемых при производстве алюминия.	Устное собеседование по вопросам экзаменационного билета
---------	--	--

6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

6.2.2.1 Семестр 4, Типовые оценочные средства для проведения экзамена по дисциплине

6.2.2.1.1 Описание процедуры

Экзамен проводится в виде устного собеседования по вопросам экзаменационного билета.

Пример задания:

Вопросы к экзамену по дисциплине:

1. Значение высокотемпературной электрохимии в развитии экономики и алюминиевой промышленности России. Основные направления и перспективы развития электрохимии расплавленных солей.
2. Понятие о расплавленных и твёрдых электролитах с ионной проводимостью. Характеристика структуры индивидуальных расплавленных солей. Структурные особенности смесей расплавленных солей. Понятие “идеальная смесь” и причины отклонения от идеального поведения.
3. Основные физико-химические свойства: плотность ионных расплавов, мольный объём, вязкость и текучесть, электропроводность, числа переноса ионов, давление насыщенного пара в солевых системах, энтальпия смешения солевых систем. Электролит алюминиевой ванны и пути его совершенствования.
4. Гальванические цепи с расплавленными солями.
5. Выбор электродов сравнения. Основные требования, предъявляемые к электродам сравнения. Электроды сравнения, используемые для исследования расплавленных солей. Ряды потенциалов металлов в расплавах.
6. Использование расплавленных электролитов в ХИТ. Требования к автономным источникам электрической энергии.
7. Особенности кинетики электродных процессов в расплавленных солях. Методы исследования электрохимической кинетики в расплавленных солях: вольтамперометрия; хронопотенциометрия.
8. Виды электродной поляризации.
9. Строение двойного электрического слоя в расплавленных солях.
10. Растворимость металлов в расплавленных солях.

-

6.2.2.1.2 Критерии оценивания

Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно
Демонстрирует способность использовать основные знания в области теоретической электрохимии и электрохимии расплавленных солей при производстве алюминия и сплавов на основе алюминия. Демонстрирует знание строения и основных физических, химических и физико-химических свойств материалов, используемых при производстве алюминия.	Демонстрирует способность использовать основные знания в области теоретической электрохимии и электрохимии расплавленных солей при производстве алюминия и сплавов на основе алюминия, массопереноса, но не всегда обоснованно. Демонстрирует знание строения и основных физических, химических и физико-химических свойств материалов, используемых при производстве алюминия, но не в полной мере.	Демонстрирует низкую способность использовать основные знания в области теоретической электрохимии и электрохимии расплавленных солей при производстве алюминия и сплавов на основе алюминия. Демонстрирует удовлетворительное знание строения и основных физических, химических и физико-химических свойств материалов, используемых при производстве алюминия.	Не способен использовать основные знания в области теоретической электрохимии и электрохимии расплавленных солей при производстве алюминия и сплавов на основе алюминия. Не демонстрирует знание строения и основных физических, химических и физико-химических свойств материалов, используемых при производстве алюминия.

7 Основная учебная литература

1. Морачевский А. Г. Электрохимия расплавленных солей : учебное пособие / А. Г. Морачевский, Е. Г. Фирсова, 2017. - 172.
2. Кузьмина М. Ю. Электрохимия расплавленных солей : учебное пособие для студентов специальности 150102 - "Металлургия цветных металлов" / М. Ю. Кузьмина, 2008. - 84.
3. Кузьмина М. Ю. Высокотемпературная электрохимия : учебное пособие / М. Ю. Кузьмина, М. П. Кузьмин, 2017. - 188.

8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Морачевский Андрей Георгиевич. Высокотемпературная электрохимия : учеб. пособие / Андрей Георгиевич Морачевский; Ленингр. политехн. ин-т, 1985. - 84.
2. Лукомский Ю.Я. Физико-химические основы электрохимии : учебное пособие / Ю. Я. Лукомский, Ю. Д. Гамбург, 2013. - 446.

3. Кузьмина М. Ю. Электрохимические методы исследования : учебное пособие / М. Ю. Кузьмина, 2018. - 150.
4. Кузьмина М. Ю. Термодинамика расплавленных металлических и солевых систем [Электронный ресурс] : конспект лекций / М. Ю. Кузьмина, 2012. - 168.
5. Делимарский Ю. К. Прикладная химия ионных расплавов / Ю. К. Делимарский, Л. П. Барчук, 1988. - 187.
6. Плэмбек Джеймс А. Электрохимические методы анализа. Основы теории и применение / Джеймс А. Плэмбек; Пер. с англ. Б. Г. Кахана, 1985. - 504.
7. Будников Герман Константинович. Основы современного электрохимического анализа : учебное пособие для вузов по специальности 01100 "Химия" / Г. К. Будников, В. Н. Майстренко, М. Р. Вяселев, 2003. - 591.
8. Теоретическая электрохимия : учебник для вузов по направлению подготовки "Химическая технология" / А. Л. Ротинян, К. И. Тихонов, И. А. Шошина, А. М. Тимонов, 2013. - 495.
9. Краткий справочник физико-химических величин / сост. Н. М. Барон [и др.]; под ред. А. А. Равделя, А. М. Пономаревой, 2010. - 237.

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

12 Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Мультимедиа-проектор Acer XD1150 ADV.DLP.ZOOM.SVGA800*600
2. Экран Projecta SlimScreen настенный
3. Экран на штативе ScreenMedia Apollo-T