

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования**

**«Российский химико-технологический университет имени
Д.И. Менделеева»**



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по науке и
инновациям
РХТУ им. Д.И. Менделеева
Е.В. Хайдуков
18 » сентября 2025 г.

**ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА
ПО НАУЧНОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

**2.6.9. ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И
ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ**

Москва 2025 г.

Программа составлена:

Ваграмяном Т.А., д.т.н., профессором, заведующим кафедрой ИМиЗК

Капустиным Ю.И., д.п.н., профессором кафедре ИМиЗК

СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

1. Характеристика современного гальванического производства.

Введение. Предмет и методы в курсе «Технология электрохимических процессов и защита от коррозии». Описание основных разделов курса. Цели и задачи курса. Структура курса. Общая характеристика современного гальванического оборудования, применяемого при электроосаждении металлов и сплавов. Значение специального гальванического оборудования для экологической безопасности, эффективности процессов нанесения гальванопокрытий, его роль в ресурсосбережении.

2. Электрохимическое и химическое осаждение различных материалов.

Виды гальванических покрытий и их назначение. Требования, предъявляемые к покрываемой поверхности и к покрытиям в гальванопластике. Неэлектрохимические методы нанесения металлических покрытий и сравнительная их характеристика. Механизм электрокристаллизации. Влияние на структуру и свойства гальванических осадков состава электролита (природы и концентрации ионов основного металла, ионов других металлов, pH, поверхностно-активных веществ), режима электролиза (плотности тока, температуры перемешивания, нестационарных условий), состояния поверхности катода. Причины образования губчатых осадков и методы их устранения. Условия и механизм образования блестящих осадков. Условия совместного электроосаждения металлов.

Распределение тока и металла при электроосаждении металлов. Критерий равномерности распределения тока и металла по поверхности катода. Влияние различных факторов на равномерность электрохимических осадков. Рассеивающая и выравнивающая способность электролитов. Экспериментальные методы изучения распределения тока и металла. Контроль качества покрытий.

3. Коррозия и защита металлов.

Коррозия. Прямые и косвенные коррозионные потери. Классификация коррозионных процессов (по типу агрессивной среды, характеру коррозионных разрушений, условиям протекания коррозионных процессов). Количественная оценка коррозионного разрушения. Весовой, глубинный и токовый показатели коррозии. Термодинамика электрохимической коррозии. Катодные и анодные реакции при электрохимической коррозии. Движущие силы коррозии. Термодинамическая стабильность металлов. Диаграммы

Пурбе. Влияние электродного потенциала на скорость электрохимической коррозии. Кинетика электрохимической коррозии. Механизм. Графический расчет потенциала и тока коррозии. Поляризационные диаграммы для различных стадий контроля электрохимической коррозии при кислородной деполяризации. Контролирующие стадии электрохимической коррозии (поляризационные диаграммы). Коррозия при сопряженном процессе восстановления ионов водорода. Коррозия при сопряженном процессе восстановления кислорода. Коррозия при сопряженном процессе восстановления нескольких окислителей. Пассивность металлов. Механизм растворения сплавов. Способы повышения коррозионной стойкости металлов к коррозии. Нарушение пассивного состояния, перепассивация. Локальная анодная пассивация. Влияние природы металла, содержания легирующих компонентов, структуры сплавов на коррозионное поведение. Влияние механических напряжений на коррозионное поведение металлов. Влияние состава раствора и pH агрессивной среды на коррозионное поведение металлов. Влияние теплопередачи, скорости движения среды, контакта с металлами и неметаллами на коррозионное поведение металлов. Влияние температуры на коррозионное поведение металлов. Термодинамика газовой коррозии. Механизм газовой коррозии. Условие сплошности оксидных пленок (правило Пиллинга и Бедворса). Общая кинетика газовой коррозии. Уравнение Эванса. Влияние состава сплава, структуры, механических напряжений на газовую коррозию. Влияние температуры на газовую коррозию. Жаростойкость нержавеющей сталей. Коррозия легированных сталей. Питтинговая коррозия. Межкристаллитная коррозия легированных сталей. Коррозионная стойкость мартенситных, ферритных и аустенитных нержавеющей сталей. Коррозионная стойкость меди и ее сплавов. Коррозионная стойкость алюминия и его сплавов. Коррозионная стойкость титана и его сплавов.

Фосфатирование. Свойства, назначение и области применения фосфатных покрытий. Определение массы фосфатного покрытия, массы стравившегося металла, защитной способности по Акимову. Теоретические основы фосфатирования. Реакции, протекающие на межфазной границе и в объеме раствора. Равновесные растворы. Общая и свободная кислотности фосфатирующих растворов. Фосфатирование, как электрохимический процесс. Катодный и анодный процессы. Ускорители процесса фосфатирования, механизм их действия.

Оксидирование алюминия. Свойства, назначение и области применения оксидных покрытий на алюминии. Последующая обработка оксидных покрытий на алюминии. Механизм процесса оксидирования алюминия.

Влияние состава раствора и режима процесса на свойства оксидной пленки. Электролиты оксидирования алюминия. Оксидирование стали и чугуна.

Электрохимическое цинкование. Электролиты цинкования. Основные закономерности при электроосаждении цинка из различных электролитов. Физико-химические и механические свойства покрытий, назначение и область их применения. Пассивация цинковых покрытий.

Электрохимическое меднение. Назначение и области применения покрытий. Электролиты меднения.

Электрохимическое никелирование. Электролиты никелирования. Виды никелевых покрытий. Назначение и области применения. Электролиты никелирования (сульфатные, сульфаматный и никель-страйк).

Химическое никелирование. Достоинства и недостатки по сравнению с электрохимическим способом. Механизм процесса. Влияние состава раствора и режима на скорость осаждения покрытий.

Ингибиторы коррозии. Определение, классификация, механизм действия (механизм пассивации и ингибирования). Области применения ингибиторов коррозии. Неорганические ингибиторы коррозии. Органические ингибиторы коррозии, включая консистентные смазки и ингибиторы травления. Летучие (парофазные) ингибиторы. Катодные, анодные и смешанные ингибиторы коррозии. Оценка эффективности действия ингибиторов (защитный эффект). Консервация металлических изделий. Средства и методы консервации.

Электрохимическая защита. Катодная электрохимическая защита. Катодная защита от внешнего источника тока. Катодно-протекторная защита. Анодная электрохимическая защита. Анодная защита от внешнего источника тока. Анодно-протекторная защита. Лакокрасочные покрытия, используемые для защиты от коррозии. Способы нанесения жидких и порошковых лакокрасочных материалов. Покрытия полимерами. Гуммирование.

4. Современное оборудование для очистных сооружений.

Оборудование для очистных сооружений, приготовления и транспортировки электролитов и других технологических жидкостей. Оборудование для разделения жидкостей с разной плотностью (очистка ванн обезжиривания от масла и нефтепродуктов). Ионообменные системы очистки воды и стоков. Реакторы-нейтрализаторы. Электрохимические методы очистки.

Вопросы для кандидатского экзамена по научной специальности

2.6.9 Технология электрохимических процессов и защита от коррозии

1. Электрохимическое оборудование в современных технологиях электроосаждения металлов или сплавов.
2. Автоматические системы фильтрации с постоянной фильтрующей средой в виде слоев гравия и песка (искусственно полученных специально для функции фильтрации).
3. Схема очистки щелочных ванн химического и электрохимического обезжиривания от масла и механических примесей.
4. Кондуктометрические системы для контроля и управления чистотой промывочной воды в гальванических линиях. Основные характеристики и комплект устройств.
5. Классификация систем фильтрации гальванических растворов. Типы систем фильтрации. Выбор системы фильтрации для гальванической ванны.
6. Системы автоматической корректировки электролитов. Счетчики ампер-часов, иономеры, ORP – контроллеры, специальные дозирующие насосы. Технические параметры дозирующих насосов.
7. Нагрев и охлаждение растворов в гальванотехнике. Типы нагревателей и теплообменников. Формулы для расчета мощности для нагрева и поддержания рабочей температуры гальванической ванны.
8. Ионообменные системы очистки воды и гальванических стоков.
9. Конструкционные материалы, применяемые, при изготовлении современного гальванического оборудования. Значение специальных материалов для эффективности и качества гальванического процесса. Выбор конструкционных материалов оборудования для ванны гальванической технологии.
10. Классификация электрохимических методов очистки сточных вод.
11. Основные достоинства и недостатки электрохимических методов очистки сточных вод по сравнению с химическими методами.
12. Методы исследования электрических полей в электролитах. Методы исследования рассеивающей способности электролитов. Количественная оценка рассеивающей способности электролитов.
13. Современная теория микрораспределения металла в процессе электроосаждения.
14. Механические методы подготовки поверхности металлов перед гальвано-химической обработкой.

15. Химические и электрохимические методы подготовки поверхности перед гальвано-химической обработкой. Химическое и электрохимическое обезжиривание, травление. Особенности процессов при обработке сплавов на основе меди, цинка, алюминия, никеля.

16. Наводороживание и водородная хрупкость, способы их предотвращения и устранения. Основные закономерности и механизм наводороживания металла-основы и металла-покрытия при электроосаждении блестящих и матовых покрытий.

17. Электрохимическое меднение. Основные закономерности при электроосаждении меди из различных типов электролитов. Физико-химические и механические свойства покрытий.

18. Электрохимическое никелирование. Основные закономерности при электроосаждении никеля из различных типов электролитов. Физико-химические и механические свойства покрытий.

19. Электрохимическое хромирование. Основные закономерности процесса хромирования из различных типов электролитов. Физико-химические и механические свойства покрытий.

20. Электрохимическое оловянирование и свинцевание. Основные закономерности при электроосаждении металлов из различных типов электролитов. Физико-химические и механические свойства покрытий.

21. Электрохимическое серебрение и золочение. Основные закономерности при электроосаждении металлов из различных типов электролитов. Физико-химические и механические свойства покрытий.

22. Электрохимическое цинкование. Основные закономерности при электроосаждении цинка из различных типов электролитов. Физико-химические и механические свойства покрытий.

23. Электрохимическое кадмирование. Основные закономерности при электроосаждении кадмия из различных типов электролитов. Физико-химические и механические свойства покрытий.

24. Особенности нанесения гальванических покрытий на цинковые, магниевые титановые и алюминиевые сплавы.

25. Электроосаждение сплавов на основе цинка (Zn-Ni, Zn-Co, Zn-Fe). Общие закономерности, составы электролитов и условия электролиза. Физико-химические и механические свойства покрытий.

26. Электроосаждение сплавов на основе меди (Cu-Zn). Общие закономерности, составы электролитов и условия электролиза. Физико-химические и механические свойства покрытий.

27. Электроосаждение сплавов на основе олова (Sn-Pb, Sn-Bi, Sn-Co). Общие закономерности, составы электролитов и условия электролиза. Физико-химические и механические свойства покрытий.

28. Хроматная и фосфатная пассивация цинковых и кадмиевых покрытий. Способы нанесения защитных пленок.

29. Фосфатирование сталей.

30. Теоретические основы фосфатирования, состав, свойства, назначение и области применения фосфатных покрытий.

31. Процессы анодного оксидирования алюминия и его сплавов. Механизм образования анодных пленок, их свойства и области применения.

32. Химическое оксидирование сталей.

33. Химическое меднение. Области применения. Особенности подготовки поверхности при нанесении покрытий на диэлектрики. Сравнительная характеристика электролитов.

34. Химическое никелирование.

35. Химическое серебрение. Сравнительная характеристика электролитов.

36. Диаграмма Пурбе. Особенности применения для конкретных систем.

37. Пассивное состояние металлов. Теории пассивности.

38. Причины нарушения пассивного состояния вследствие перепассивации.

39. Питтинг. Причины и способы устранения.

40. Влияние внутренних факторов на коррозионное поведение металлов при электрохимической коррозии.

41. Легирование металлов для увеличения коррозионной стойкости. Правило Таммана.

42. Влияние внешних факторов на коррозионное поведение металлов при электрохимической коррозии.

43. Газовая (высокотемпературная) коррозия. Определение. Примеры.

44. Механизм газовой коррозии.

45. Термодинамика газовой коррозии.

46. Кинетика газовой коррозии.

47. Влияние внутренних факторов на газовую коррозию: состав сплава, структура сплава, механическое напряжение, обработка поверхности.

48. Влияние внешних факторов на газовую коррозию: состав среды, температура, давление, скорость движения среды.

49. Коррозионно-стойкие стали. Российская классификация.

50. Анодирование алюминия и его сплавов.

51. Ингибиторы коррозии, механизм действия, классификация.

52. Электрохимический метод защиты стали.

53. Атмосферная коррозия стали и других металлов.
54. Межкристаллитная коррозия.
55. Коррозионная стойкость меди и её сплавов.
56. Коррозионная стойкость алюминия.
57. Коррозионная стойкость титана и его сплавов.
58. Коррозионное растрескивание нержавеющих сталей.
59. Способы защиты металлов и их характеристики.
60. Пути повышения коррозионной стойкости металлов и сплавов.

Рекомендуемая литература

Основная литература

1. Гамбург Ю. Д., Зангари Дж. Теория и практика электроосаждения металлов; пер. с англ. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2016. -438 с.
2. Пахомов В.С., Шевченко А.А. Химическое сопротивление материалов и защита от коррозии. – М.: Профессия. 2016. 480 с.
3. Абрашов А.А., Григорян Н.С., Ваграмян Т.А., Смирнов К.Н. Методы контроля и испытания электрохимических и конверсионных покрытий: учеб. пособие. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2016. 212 с.

Дополнительная литература

1. Прикладная электрохимия» (учебник). Под ред. Томилова А.П. – 3-е. изд., перераб. – М.: Химия, 1984. -520 с
2. Григорян Н.С., Акимова Е.Ф., Ваграмян Т.А. Фосфатирование: учеб.пособие. –М.: Глобус, 2008.- 144 с
3. Оборудование и основы проектирования электрохимических производств [Текст]: метод. пособие / Сост.: В.Т. Новиков, С.С. Виноградов. - М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2004. - 48 с.
4. Виноградов С.С. Экологически безопасное гальваническое производство.: М.: Глобус, 2002. -352 с.

14.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации

Научно-технические журналы:

1. Теоретические основы химической технологии. ISSN 0040-3571
2. Theoretical Foundation of Chemical Engineering. ISSN 0040-5795
3. Журнал прикладной химии. ISSN 0044-4618
4. Химическая технология. ISSN 1684-5811
5. Доклады Академии наук. ISSN 0869-5652
6. Журнал физической химии. ISSN 0044-4537

7. Известия вузов. Химия и химическая технология. ISSN 0579-2991
8. Известия РАН. Серия химическая. ISSN 0002-3353

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети Интернет

1. Реферативный журнал «Химия » (РЖХ), серия М «Силикатные материалы», ISSN 0235-2206
2. Федеральный институт промышленной собственности
<http://www1.fips.ru>
3. Федеральная служба по интеллектуальной собственности
<http://www.rupto.ru>
4. The United States Patent and Trademark Office <http://www.uspto.gov>
5. The European Patent Office <http://ep.espacenet.com>
6. Политематические базы данных CAPLUS, COMPENDEX (США); INSPEC (Великобритания); PASCAL (Франция).
7. Базы цитирования РИНЦ, Web of Science, Scopus
8. Ресурсы ELSEVIER: <http://www.sciencedirect.com>
9. Ресурсы SPRINGER: <http://link.springer.com>
10. Портал для аспирантов и соискателей ученой степени:
<http://www.aspirantura.com/>
11. Сайт Российской электронной библиотеки (РГБ):
<http://elibrary.rsl.ru/>
12. Сайт журнала научных публикаций для аспирантов и докторантов: <http://www.iurnal.org/>