

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
Федеральное государственное унитарное предприятие
«Центральный научно-исследовательский институт
конструкционных материалов «Прометей» имени И.В. Горынина

Отдел подготовки научных кадров



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
НИИ «Курчатовский институт» -
ЦНИИ КМ «Прометей»

А.С. Орыщенко

Введена в действие
приказом генерального директора
от « 30 » 12 20 21 г. № 218

ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА

**по специальной дисциплине
«Металлургия черных, цветных и редких металлов»**

Научная специальность: **2.6.2 «Металлургия черных, цветных и редких металлов»**

Форма обучения – **очная**

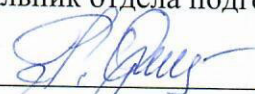
Санкт – Петербург
2022 г.

Составители программы: д.т.н., профессор Цуканов В.В.; д.т.н., доцент Калинин Г.Ю.; д.т.н., доцент Оленин М.И., к.т.н. Романов О.Н.; к.т.н., с.н.с. Чудаков Е.В.

Программа одобрена на заседании научно-методической комиссии по металлургическим специальностям и материаловедению (металлические, неметаллические, функциональные материалы) протокол №4 от 23.12.2021

Председатель  д.т.н., профессор В.В. Цуканов

Согласовано:
Начальник отдела подготовки научных кадров

 Г.М. Орлова

«23» 12 2021 г.

1. Введение.

История развития способов производства стали и их перспективы. Роль русских и российских ученых-металлургов в развитии теории и практики производства стали.

2. Теоретические основы металлургических процессов.

2.1. Общая физико-химическая характеристика сталеплавильных процессов, взаимосвязь химических процессов рафинирования металла, гидродинамики жидкой ванны и ее теплового состояния.

2.2. Основные положения и законы химической термодинамики. Термодинамические функции состояния системы. Термодинамические и химические потенциалы. Константа химического равновесия реакции.

Химическое сродство и прочность химических соединений. Растворы: концентрация, активность, летучесть, параметры взаимодействия и парциальное давление компонентов. Фазовое равновесие. Поверхностные явления. Процессы смачивания, адсорбции, адгезии и когезии, образование зародыша новой фазы в жидкости.

2.3. Основные пирометаллургические процессы: окисление, диссоциация, восстановление. Сродство металлов к сере, мера сродства. Восстановление окислов различными реагентами и влияние концентраций компонентов при протекании реакций в растворах.

2.4. основы физической химии и электрохимии расплавленных солей. Строение расплавленных солей, структура ионных расплавов. Электродные процессы в расплавленных солях, наличие двойного электрического слоя на границе металл – солевой расплав. Растворимость металлов в солях, влияние

состава солей на их поверхностные свойства и связь этих свойств с особенностями электрохимических процессов.

2.5. Основные положения химической кинетики. Зависимость скорости химических и фазовых реакций от различных факторов. Энергия активации процесса. Тепло- и массоперенос в процессах производства сталей.

2.6. Строение и свойства расплавленного железа и его сплавов. Общие сведения теории жидкого состояния и затвердевания металлов и сплавов. Методы исследования расплавов железа. Влияние легирующих элементов, раскислителей и примесей на свойства расплавов железа и процессы, происходящие при кристаллизации расплавов железа.

3. Природы жидких шлаков.

3.1. Минералогический состав шлаков и огнеупоров. Диаграммы состояния систем, образуемых компонентами шлаков. Современные представления о строении и природе расплавленных шлаков.

3.2. Активность компонентов шлака и методы их определения. Физические и химические свойства шлаков. Шлакообразование. Взаимодействие шлаков и огнеупоров с металлом.

4. Производство чугуна в доменных печах.

4.1. Основные месторождения железосодержащих материалов в Российской Федерации и европейских странах.

4.2. Подготовка шихтовых материалов. Поведение кремния, марганца, ванадия, никеля и др. элементов при производстве чугуна.

4.3. Производство металлизированных окатышей. Прямое получение стали из металлизированных окатышей. Особенности производства ферросплавов.

5. Конвертерные процессы производства стали.

5.1. Кислородно-конвертерный процесс. Верхняя, донная, боковая и комбинированная продувка. Разнообразие современных конвертерных процессов металла. Скорость окислительных процессов при продувке металла в конвертере. Шлакообразование в конвертерных процессах. Поведение элементов химического состава при выплавке стали в кислородном конвертере.

5.2. Производство легированных сталей. Возможности использования отходов. Сортамент и качество стали, выплавляемой в конвертерах.

6. Выплавка стали в электродуговых сталеплавильных печах.

6.1. Современные электродуговые печи. Печи «ФУКС». Футеровка основных дуговых электропечей. Теория горения электрической дуги. Периоды плавки. Процессы, происходящие в металле и шлаке в различные периоды плавки.

6.2. Виды процессов в электродуговых печах, их применение. Применение кислорода в электропечах. Особенности физико-химических процессов и специфика процессов предварительного раскисления при электроплавке.

6.3. Легирование стали. Качество металла. Преимущества и недостатки процессов выплавки стали в электродуговых печах.

6.4. Особенности выплавки стали в электродуговых печах с последующей рафинировкой металла во внепечных установках.

7. Новые технологии.

7.1. Двухванные печи. Особенности технологии выплавки стали. Основные направления развития качественной металлургии.

7.2. Выплавка стали в электродуговых печах с использованием инъекционных технологий. Внепечная обработка стали. Рафинирование металла в установках печь-ковш. Вакуумная обработка металла. Вакуумирование металла в ковше. Установки RH, DH.

7.3. Физико-химические основы обработки в ковше синтетическими шлаками. Применяемые шлаки. Требования к шлакам и их основные физико-химические свойства. Особенности выплавки стали для последующей обработки шлаками.

7.4. Применение аргона и других газов для рафинирования. Требования к качеству аргона и других газов. Варианты применения аргона и др. газов, их преимущества и недостатки.

7.5. Новые конвертерные процессы при продувке стали аргоном, при аргонно-кислородном рафинировании. Другие способы рафинирования. Эффективность внепечных способов обработки стали и качество металла.

8. Специальная электрометаллургия.

Особенности плавки в открытых и вакуумных индукционных печах. Вакуумно-дуговой переплав (ВДП). Электрошлаковый переплав (ЭШП). Плазменно-дуговой переплав (ПДП). Электронно-лучевой переплав (ЭЛП). Комбинированные переплавы. Особенности протекания физико-химических процессов при ВДП, ВИП, ЭШП, ЭЛП, ПДП.

9. Раскисление стали.

Кислород в стали. Раскисляющая способность отдельных раскислителей. Совместное раскисляющее действие нескольких раскислителей. Основные свойства продуктов раскисления. Основные факторы, влияющие на процесс очищения металла от неметаллических включений. Поведение неметаллических включений в процессе выплавки, раскисления, разливки и охлаждения стали. Осадочное раскисление. Диффузионное раскисление. Раскисление вакуумом. Особенности раскисления сталей, в том числе легированных и низкоуглеродистых. Влияние неметаллических включений на свойства сталей.

10. Газы в стали.

Термодинамика и кинетика взаимодействия расплавленных металлов с азотом и водородом. Растворимость водорода в железе и его сплавах. Поведение водорода при выплавке стали. Водородопроницаемость шлаков сталеплавильных процессов. Методы снижения водорода в стали. Поведение азота при выплавке стали. Влияние газов на качество стали.

11. Разливка, кристаллизация стали и строение стального слитка.

11.1. Разливка сверху и сифоном. Преимущества и недостатки каждого из способов. Температура и скорость разливки. Слитки листовые, кузнечные, удлиненные, полые. Особенности изготовления крупных слитков. Распределение неметаллических включений в слитке.

11.2. Структура жидкого металла вблизи температур затвердевания. Кристаллизация стали. Строение слитков спокойной, кипящей и полуспокойной стали. Поверхностные дефекты слитка. Мероприятия по улучшению строения и качества слитка.

11.3. Модифицирование сплавов. Кинетика образования центров новых фаз. Классификация модификаторов.

11.4. Теплофизические условия формирования кристаллических зон слитка. Динамика перемещения и дробления кристаллов в слитке. Методы управления структурой слитка.

11.5. Усадка стали. Образование усадочной пористости в стальном слитке. Влияние конструкции прибыльной надставки, изложницы и поддона на образование усадочной пористости слитка.

11.6. Возникновение химической неоднородности в стальном слитке. Влияние скорости кристаллизации на химическую неоднородность слитка. Ликвация элементов химического состава при затвердевании слитков. Дендритная неоднородность стали. Гипотезы образования Λ -образной зональной химической неоднородности и способы снижения ее развития. Теория образования V-образной зональной химической неоднородности в слитке. Гипотезы образования конуса осаждения в стальном слитке.

11.7. Машины непрерывной разливки стали (МНЛЗ). Основные конструкционные элементы МНЛЗ. Электромагнитный тормоз в кристаллизаторе МНЛЗ. Его назначение и технология применения. Электромагнитный перемешиватель в зоне вторичного охлаждения. Его назначение и технология применения. Промежуточные ковши МНЛЗ. Их конструкция и назначение. Строение непрерывнолитых заготовок. Особенности непрерывной разливки стали. Технология разливки стали на МНЛЗ. Шлакообразующие материалы, применяемые при разливке стали на МНЛЗ. Дефекты непрерывнолитых заготовок.

12. Пороки специальных сталей.

Флокены, шиферный излом, шестоватый излом, камневидный излом, расслои, трещины, дефектыковки, прокатки и др. Меры борьбы с этими пороками.

13. Контроль качества металла в процессе производства.

Контроль температуры металла при выплавки стали. Термопары, оптические пирометры. Контроль содержания элементов химического состава стали. Определение содержания водорода, азота, кислорода при выплавке стали. Определение содержания примесей цветных металлов. Методы определения содержания водорода и азота в готовом металле.

14. Технология производства легких цветных сплавов.

14.1. Получение магния и его сплавов.

14.1.1. Свойства и применение магния. Исходные материалы. Основные процессы производства магния с применением обезвоживания, печей с «кипящим слоем», хлораторов; электролитические процессы.

14.1.2. Основы теории приготовления и литья магниевых сплавов. Плавка литейных сплавов (приготовление предварительного сплава, приготовление рабочих сплавов с использованием тиглей, плавка в выемных тиглях, комбинированный метод плавки).

14.1.3. Плавка магниевых сплавов, содержащих редкоземельные элементы и цирконий (шихтовые материалы, плавка в тигельных печах, комбинированные методы плавки). Рафинирование магниевых сплавов, их модифицирование.

14.1.4. Плавка деформируемых магниевых сплавов, порядок их легирования, их модифицирование. Особенности разливки деформируемых сплавов.

14.1.5. Основные марки первичного магния, литейных и деформируемых сплавов на его основе.

14.2. Получение алюминия и его сплавов.

14.2.1. Свойства алюминия и сплавов на его основе. Объем и области применения алюминия и его сплавов. Основы применения первичного алюминия.

14.2.2. Основная реакция Байера, технологическая схема процесса. Получение глинозема. Теория электролиза криолито-глиноземных расплавов. Технология электролиза расплавов и получения первичного алюминия. Основные марки первичного алюминия и их характеристики.

14.2.3. Плавка алюминиевых сплавов. Особенности плавки литейных сплавов, плавка высокомагниевого сплава. Плавка деформируемых алюминиевых сплавов. Процессы рафинирования (продувка инертными газами, обработка хлористыми слоями). Модифицирование сплавов.

14.2.4. Литье деформируемых сплавов, виды кристаллизаторов. Системы охлаждения. Понятие о суспензионной разливке.

14.3. Технология производства титана.

14.3.1. Основы современной технологии производства четыреххлористого титана. Магнетермический способ производства титана

из хлоридов. Натриетермическое восстановление. Способы рафинирования первичного и вторичного титана.

14.3.2 Производство слитков титана и его сплавов. Влияние примесей на свойства металла. Вакуумно-дуговой переплав нерасходуемых и расходуемых электродов. Виды печей для получения титана. Переработка расходов.

14.4. Технология производства циркония.

14.4.1. Основы вскрытия циркониевых концентратов. Разделения циркония и гафния. Восстановление циркония и хлоридов. Электролитический способ получения циркония. Способы рафинирования циркония.

14.4.2. Способы выплавки компактного циркония и его сплавов. Переработка отходов.

14.5. Технология производства меди и ее сплавов.

14.5.1. Основы получения первичной меди из руд и концентратов. Плавка в шахтной печи, ее разновидности. Отражательная плавка. Переработка штейнов на черновую медь. Конвертирование. Рафинирование черновой меди. Гидрометаллургия меди.

14.5.2. Особенности плавки меди для получения отливок. Плавка бронз, латуней, медноникелевых сплавов. Покровные флюсы, раскислители. Переработка отходов.

14.6. Основы порошковой металлургии сплавов цветных металлов.

14.6.1. Получение порошков. Представление о способах диспергирования компактных материалов (механическое измельчение,

распыление жидкого металла). Процессы химического получения порошков.

14.6.2. Обработка порошков. Способы сушки, измельчения, спекания. Компактирование порошков для получения изделий.

14.6.3. Получение титановых сплавов методом горячего изостатического прессования гранул. Гранулируемые алюминиевые сплавы. Основа процесса их получения, способы гранулирования. Дальнейшая переработка гранул.

14.6.4. Получение спеченных алюминиевых сплавов (САР и САС) методами порошковой металлургии. Получение порошковых титановых и медных сплавов.

Список литературы:

1. Явойский В.И., Кряковский Ю.В., Григорьев В.П., Нечкин Ю.М., Кравченко В.Ф., Бородин Д.И. *Металлургия стали.* - М.: *Металлургия.* - 1983. - 584 с.
2. Попель С.И., Сотников А.И., Бороненков В.Н. *Теория металлургических процессов.* - М.: *Металлургия.* - 1986. - 463 с.
3. Григорян В.А., Белянчиков Л.Н., Стомахин А.Я. *Теоретические основы электросталеплавильных процессов.* - М.: *Металлургия.* - 1979. - 256 с.
4. Арсентьев П.П., Колецов Л.А. *Металлические расплавы и их свойства.* - М.: *Металлургия.* - 1976. - 376 с.
5. Ершов Г.С., Позняк Л.А. *Микронеоднородность металлов и сплавов.* М.: *Металлургия.* - 1985. - 214 с.
6. Ершов Г.С., Черняков В.А. *Строение и свойства жидких и твердых металлов.* - М.: *Металлургия.* - 1978. - 248 с.
7. Ершов Г.С., Бычков Ю.Б. *Свойства металлургических расплавов и их взаимодействие в сталеплавильных процессах.* - М.: *Металлургия.* - 1983. - 216 с.
8. Гельд П.В., Баум Б.А., Петрушевский М.С. *Расплавы ферросплавного производства.* - М.: *Металлургия.* - 288 с.
9. Есин О.А., Гельд Г.В. *Физическая химия пирометаллургических процессов. Ч. I.* - М.: *Металлургиздат.* - 1962. - 703 с.
10. Есин О.А., Гельд Г.В. *Физическая химия пирометаллургических процессов. Ч. II.* - М.: *Металлургия.* - 1966. - 701 с.
11. Войнов С.Г., Шалимов А.Г., Косой А.Ф. и др. *Рафинирование стали синтетическими шлаками.* - М.: *Металлургия.* - 1970. - 460 с.
12. Явойский В.И., Рубенчик Ю.И., Оженко А.П. *Неметаллические включения и свойства стали.* - М.: *Металлургия.* - 1980. - 176с.

13. Шульте Ю.В. Неметаллические включения в электростали. - М.: Металлургия. - 1964. - 207 с.
14. Кислинг Р., Ланге Н. Неметаллические включения в стали. Пер. с англ. - М.: Металлургия. - 1972. - 121 с.
15. Литвинова Т.И. Пирожкова В.П. Петров А.К. Петрография неметаллических включений. - М.: Металлургия. - 1972. - 184 с.
16. Ицкевич Г.М. Раскисление стали и модифицирование неметаллических включений. - М.: Металлургия. - 1981. - 296 с.
17. Виноград М.И., Громова Г.П. Включения в легированных сталях и сплавах. - М.: Металлургия. - 1972. - 214 с.
18. Нарита Н. Кристаллическая структура неметаллических включений в стали. Пер. с яп. 42. - М.: Металлургия. - 1969. - 191 с.
19. Х.-И. Штис Поведение неметаллических включений в стали при кристаллизации и деформации. - М.: Металлургия. - 1971. - 125 с.
20. Прохоренко К.К. Шлаковые включения в стальном слитке. - Киев.: Техніка. - 1967. - 169 с.
21. Ефимов В.А. Разливка и кристаллизация стали. - М.: Металлургия. - 1976. - 552 с.
22. Колосов М.И., Строганов А.И., Смирнов Ю.Д., Охримович Б.П. Качество слитка спокойной стали. - М.: Металлургия. - 1973. - 408 с.
23. Скобло С.Я., Казачков Е.А. Слитки для крупных поковок. - М.: Металлургия. - 1973. - 247 с.
24. Оно А. Затвердевание металлов. - М.: Металлургия. - 1980. - 152 с.
25. Флемингс М. Процессы затвердевания. - М.: Мир. - 1977. - 423 с.
26. Чалмерс Б. Теория затвердевания. - М.: Металлургия. - 1968. - 288 с.
27. Соболев В.В., Трефилов П.М. Теплофизика затвердевания металла при непрерывном литье. - М.: Металлургия. - 1988. - 160 с.

28. Борисов В.Т. Теория двухфазной зоны металлического слитка. - М.: Металлургия. - 1987. - 224 с.
29. Манохин А.И. Получение однородной стали. - М.: Металлургия. - 1978. - 224 с.
30. Кудрин В.А., Парма В. Технология получения качественной стали. - М.: Металлургия. - 1984. 320 с.
31. Гуляев А.П. Чистая сталь. - М.: Металлургия. - 1975. - 184 с.
32. Морозов А.Н. Водород и азот в стали. - М.: Металлургия. - 1968. - 281 с.
33. П.В.Гельд, Р.А. Рябов Водород в металлах и сплавах. - М.: Металлургия. - 1974. - 272 с.
34. Шаповалов В.И. Влияние водорода на структуру и свойства железо - углеродистых сплавов. - М.: Металлургия. - 1982. - 232 с.
35. Шаповалов В.И., Трофименко В.В. Флокены и контроль водорода в стали. - М.: Металлургия. - 1987. - 160 с.
36. Жуховицкий А.А., Шварцман Л.А. Физическая химия. - М.: Металлургия. - 1976.
37. Жуховицкий А.А. и др. Физико-химические основы металлургических процессов. - М.: Металлургия. - 1973.
38. Баканов К.П., Бармотин И.П., Власов Н.И. и др. Рафинирование стали инертными газами. - М.: Металлургия. - 1975.
39. Вейнгард У. Введение в физику кристаллизации металлов. - М.: Металлургия. - 1967.
40. Линчевский Б.В. Вакуумная металлургия стали и сплавов. - М.: Металлургия. - 1970.
41. Окороков Г.Н., Шалимов А.Г., Антипов В.Н., Тулин Н.А. Производство стали и сплавов в вакуумных индукционных печах. - М.: Металлургия. - 1975.

42. Тихоновский А.Л., Тур А.А. *Рафинирование металлов и сплавов методом электронно-лучевой плавки.* – Киев: Наукова Думка. - 1984.
43. Морозов А.Н. *Современное производство стали в дуговых печах.* – М.: Металлургия. - 1983.
44. Ерохин А.А. *Закономерности плазменно-дугового легирования и рафинирования металлов.* – Киев: Наука. - 1984.
45. Лузгин В.П., Явойский В.И. *Газы в стали и качество металла.* – М.: Металлургия. - 1983.
46. Поволоцкий Д.Я., Роцин В.С. и др. *Электрометаллургия стали и ферросплавов.* – М.: Металлургия. - 1984.
47. *Атлас дефектов стали. Перевод с немецкого. Под ред. Л. Бернштейна.* – М.: Металлургия. – 1979. – 188 с.
48. Дурьнин В.А., Солнцев Ю.П. *Исследование и совершенствование технологии производства с целью повышения ресурса стальных изделий из крупных поковок отечественного назначения.* – СПб: Химиздат. – 2006. – 272 с.
49. Солнцев Ю.П., Андреев А.К., Гречин Р.И. *Литейные хладостойкие стали.* – М.: Металлургия. – 1991. – 176 с.
50. Солнцев Ю.П., Титова Т.И. *Стали для Севера и Сибири.* - СПб: Химиздат. – 2002. – 352 с.
51. Мирсалимов В.М., Емельянов В.А. *Напряженное состояние и качество непрерывного слитка.* – М.: Металлургия. – 1990. – 151 с.
52. *Инжекционная металлургия 86. Труды конференции. Перевод с англ. Под ред. В.А. Кудрина.* – М.: Металлургия. – 1990. – 400 с.
53. Калугин А.С., Калугина К.В. *Эффективность рафинирования при переплавных процессах.* – С.: Металлургия. – 1988. – 199 с.
54. Башнин Ю.А. и др. *Влияние переплавных процессов на структуру и свойства стали.* – М.: Металлургия. – 1991. – 240 с.

55. Морозов А.Н. Современное производство стали в дуговых печах. Издание 2-е переработанное и дополненное. – Челябинск: Металлургия. – 1987. – 175 с.
56. Медовар Б.И. и др. Качество электрошлакового металла. – АНУССР. Институт электросварки им. Патона Е.О. – Киев: Наукова думка. – 1990. – 312 с.
57. Васильев В.А. Физико-химические основы литейного производства. Учебник для ВУЗов. – М.: Интермет Инжиниринг. – 2001. – 336 с.
58. Пикунов М.В. Плавка металлов, кристаллизация сплавов, затвердевание отливок. Учебное пособие для ВУЗов. – М.: МИСиС. – 1997. – 376 с.
59. Еланский Г.Н. Строение и свойства металлических расплавов. Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Металлургия. – 1991. – 160 с.
60. Кудрин В.А. Металлургия стали. Учебник для ВУЗов. – М.: Металлургия. – 1989. – 560 с.