

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

Отдел подготовки научных кадров



УТВЕРЖДАЮ

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

А.С. Орыщенко

Введена в действие

приказом генерального директора  
от « 30 » 12 2021 г. № 218

## ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА

по специальной дисциплине  
«Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Научная специальность: **2.6.1** **Металловедение и термическая обработка  
металлов и сплавов**

Форма обучения – **очная**


Санкт – Петербург  
2022 г.

Составители программы: д.т.н., профессор Цуканов В.В.; д.т.н. Фомина О.В.;  
д.ф.-м.н., доцент Зисман А.А.; д.т.н., доцент Оленин М.И., д.т.н. Петров С.Н.

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. Кристаллическое строение металлов

1.1. Электронная структура и периодическая система элементов. Кристаллическое состояние. Основные типы связи в кристаллах: ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.

1.2. Типичные атомно-кристаллические структуры металлов: кубическая гранецентрированная, гексагональная плотноупакованная и кубическая объемноцентрированная. Коэффициент компактности, координационное число. Анизотропия свойств металлов. Реальное строение металлических кристаллов.

## 2. Реальное строение металлических кристаллов.

2.1. Точечные дефекты: вакансии, межузельные атомы, атомы внедрения, атомы замещения. Миграции точечных дефектов. Источники вакансий (механизмы Френкеля и Шотке). Зависимость концентрации вакансий от температуры. Дивакансии и другие комплексные дефекты. Основные типы дислокаций. Краевые дислокации, их скольжение и переползание. Винтовые дислокации, их скольжение. Смешанные дислокации. Вектор Бюргерса. Ориентация дислокаций разных типов по отношению к вектору Бюргерса.

2.2. Энергия неподвижной дислокации. Линейное натяжение. Энергия движущейся дислокации. Силы, действующие на дислокацию. Упругое взаимодействие дислокаций.

2.3. Дислокации полные и частичные. Диссоциация и объединение дислокаций. Критерий Франка. Плотная упаковка атомов в кристаллах с решётками ГЦК и ГПУ. Типичные дефекты упаковок в ГЦК, ГПУ и ОЦК решётках. Понятие о частичных дислокациях Шокли, Франка и Логнера–Коттрелла. Стандартный тетраэдр Томпсона.

2.4. Взаимодействие дислокаций с примесными атомами и вакансиями. Понятие об атмосферах Коттрелла, Снука и Сузуки. Образование и размножение дислокаций. Сетки дислокаций. Плотность дислокаций. Источник Франка-Рида. Дислокационная модель малоцикловых границ. Полигонизация. Большеугловые границы. Торможение дислокаций, силы Пайерлса-Набарро.

2.5. Диффузия в твердых металлах и сплавах. Законы диффузии. Самодиффузия и гетеродиффузия. Механизм диффузии. Температурная зависимость коэффициента диффузии. Восходящая диффузия.

2.6. Чистые металлы. Химические соединения. Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания. Фазы внедрения. Упорядоченные твердые растворы. Дальний и ближний порядок. Электронные соединения. Фазы Лавеса,  $\sigma$ -фазы (на примере сплавов железо-хром).

### 3. Кристаллизация металлов и сплавов.

3.1. Кристаллизация чистых металлов. Кривые охлаждения. Скрытая теплота кристаллизации. Переохлаждение. Термодинамика процесса. Механизм и кинетика процесса кристаллизации. Зарождение центров кристаллизации. Критический размер зародыша. Скорость роста кристаллов. Строение слитков спокойной и «кипящей» стали. Неметаллические включения.

3.2. Правило фаз. Диаграммы состояния бинарных сплавов для случаев полной растворимости в жидком состоянии при отсутствии растворимости в твердом состоянии, при частичной и полной растворимости в твердом состоянии (I, II, III тип). Правило отрезков. Диаграммы с перитектическим превращением, с устойчивым и неустойчивым химическим соединением. Простейшие диаграммы состояния тройных систем.

### 4. Наклеп и рекристаллизация.

Изменение структуры и свойств металла под влиянием пластической деформации и температурного воздействия. Отдых и полигонизация. Первичная и собирательная рекристаллизация. Динамическая рекристаллизация. Текстуры. Зависимость роста зерен от степени наклепа и температуры. Диаграммы рекристаллизации. Термомеханическая обработка стали и сплавов.

### 5. Сплавы железа с углеродом.

Диаграмма железо-углерод. Железо и его аллотропические модификации. Магнитное превращение. Превращения, происходящие в стали при застывании и плавлении в области перитектического превращения, вне его и в области существования эвтектики. Структурные составляющие железо-углеродистых сплавов: аустенит, цементит, ледебурит, феррит, перлит, вторичный и третичный цементит. Стали доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные. Белые и серые чугуны. Графит и его формы. Типичные структуры стали и чугуна.

### 6. Термическая обработка стали.

6.1. Классификация видов термической обработки. Термодинамика фазовых превращений. Роль строения межфазных границ при фазовых превращениях. Гомогенное

и гетерогенное зарождение фаз. Принцип ориентационного, размерного и химического соответствия. Термокинетические и изотермические диаграммы превращения аустенита.

6.2. Отжиг стали. Образование аустенита при нагрева стали. Измельчение зерна в критическом интервале температур и последующий рост зерна в аустенитной области. Точка b Чернова. Мелкозернистая или крупнозернистая сталь. Явление структурной наследственности и способы изменения зерна в стали.

6.3. Перлитное превращение. Механизм перлитного превращения. Перлитное превращение в до- и заэвтектоидных сталях. Влияние легирования на механизм перлитного превращения.

6.4. Закалка стали. Особенности мартенситного превращения. Механизм перестройки ГЦК решетки аустенита в ОЦК решетку мартенсита по Бейну и Курдюмову. Тетрагональность решетки мартенсита в зависимости от содержания углерода. Зависимость начала и конца мартенситного превращения от содержания углерода, влияние легирующих элементов. Остаточный аустенит. Микроструктура и тонкая структура мартенсита. Кинетика мартенситного превращения. Влияние деформации на мартенситное превращение.

Бейнитное превращение. Верхний и нижний бейнит. Строение бейнита. Кинетика бейнитного превращения и его механизм.

Закаливаемость и прокаливаемость стали. Критическая скорость охлаждения. Определение прокаливаемости. Температура нагрева под закалку доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной стали. Внутренние напряжения, возникающие при закалке. Дефекты закалки. Способы закалки.

6.5. Отпуск стали. Превращения при отпуске стали. Дилатометрическая кривая отпуска. Выделение промежуточных карбидов. Образование цементита и его последующая коагуляция. Распад остаточного аустенита. Отпускная хрупкость I и II рода. Их природа. Влияние молибдена и примесей. Закалка с низким и высоким отпуском.

6.6. Старение после закалки. Структурные изменения при старении. Типы выделений и их форма. Кластеры. Дисперсионное твердение. Зоны Гинье – Престона. Кинетика выделений при старении. Коагуляция выделений. Физическая природа упрочнения при старении.

## 7. Химикотермическая обработка.

Цементация. Азотирование. Стали, применяемые для азотирования. Цианирование. Диффузионная металлизация.

## 8. Углеродистые стали.

Влияние углерода, марганца, кремния, фосфора, серы и алюминия на свойства стали. Влияние газов – водорода, азота и кислорода. Неметаллические включения. Стали кипящие, полуспокойные и спокойные. Конструкционная сталь общего назначения. Инструментальная сталь. Холоднокатаная сталь (листы, лента). Проволока.

## 9. Специальные стали.

9.1. Влияние легирующих элементов на границы существования аллотропических модификаций железа. Элементы сужающие и расширяющие область существования аустенита. Диаграммы состояния бинарных сплавов железа с никелем, марганцем, хромом, молибденом, вольфрамом, ванадием, кремнием, алюминием. Распределение легирующих элементов в сталях и их влияние на свойства феррита. Состав карбидной фазы в легированных сталях. Влияние легирующих элементов на кинетику распада аустенита при изотермических условиях и при непрерывном охлаждении, на мартенситное и бейнитное превращение и на превращения, протекающие при отпуске закаленной стали.

9.2. Конструкционные легированные стали. Проявление отпускной хрупкости I и II рода, высокотемпературной отпускной хрупкости и методы борьбы с ней. Стали для цементации. Улучшаемые стали с низким и средним содержанием углерода. Мартенситостареющие стали. Стали для пружин. Шарикоподшипниковая сталь. Флокены, шиферный излом и другие специфические пороки легированных сталей. Причины образования дефектов и возможность их устранения.

9.3. Инструментальные стали пониженной и повышенной прокаливаемости. Штамповые стали. Быстрорежущие стали.

9.4. Нержавеющие стали. Хромистые стали. Хромоникелевые аустенитные стали. Явление интеркристаллитной коррозии и коррозионного растрескивания. Высокопрочные стали аустенитного класса. Жаропрочные и жаростойкие стали и сплавы.

9.5. Износостойкие стали и сплавы. Графитизированная сталь. Сталь Гадфильда.

## 10. Титан и его сплавы.

Титан и его свойства. Аллотропические модификации титана. Влияние на титан постоянных примесей водорода, кислорода, азота, углерода. Легирование титана.  $\alpha$ -стабилизаторы,  $\beta$ -стабилизаторы. Фазовые превращения в титановых сплавах при медленном и быстром охлаждении и влияние на них основных легирующих элементов. Промышленные сплавы титана. Коррозионная стойкость титана и его сплавов.

#### 11. Алюминий и его сплавы.

Алюминий и его свойства. Влияние на алюминий постоянных примесей железа и кремния. Сплав алюминия с медью и его упрочнение путем применения закалки с последующим старением. Механизм старения. Зоны Гинье-Престона. Выделение стабильного соединения  $\text{CuAl}_2$  и его коагуляция. Влияние легирующих элементов на процессы, происходящие при термической обработке алюминиевых сплавов. Деформируемые алюминиевые сплавы. Дюралюминий. Литые сплавы. Силумин.

#### 12. Медь и ее сплавы.

Медь и ее свойства. Сплавы меди с цинком, оловом, алюминием.

#### 13. Механические свойства металлов.

13.1. Напряженное и деформированное состояния. Нормальные и касательные напряжения. Схемы напряженных состояний. Удлинения и сдвиги. Упругая деформация. Закон Гука. Модуль нормальной упругости и коэффициент Пуассона. Пластическая деформация. Скольжение и двойникование. Влияние температуры, скорости деформации, легирования и примесей на пластическую деформацию и упрочнение.

13.2. Хрупкое и вязкое состояния при разрушении металлов. Специфика влияния надреза на хрупких и вязких материалах. Схема Иоффе. Схема Давиденкова. Влияние напряженного состояния. Схема Фридмана. Масштабный фактор. Влияние температуры и скорости деформации на разрушение металла. Механизмы зарождения и роста трещин.

13.3. Испытания на растяжения. Условные и действительные напряжения. Диаграммы растяжения. Характеристики, определяемые при растяжении. Пределы пропорциональности, упругости и текучести и их определение. Временное сопротивление разрыву. Равномерное и полное относительное удлинение. Относительное сужение. Работа деформации. Машины для испытаний растяжением.

13.4. Прочие статические испытания. Испытания на изгиб и кручение. Твердость металлов. Определение твердости по Бринеллю, Роквеллу, Виккерсу. Микротвердость.

13.5. Динамические испытания. Влияние надреза на прочность хрупких и вязких материалов. Распределение напряжений при изгибе надрезанного образца. Хрупкое и

вязкое состояние. Влияние формы, глубины надреза и ширины образца. Влияние температуры испытания и скорости приложения нагрузки. Серийные испытания на удар при понижающихся температурах. Хладноломкость. Хладноломкие и нехладноломкие металлы.

13.6. Испытания на усталость. Испытания при знакопеременных напряжениях при чистом изгибе вращающегося образца и на консольных образцах. Испытания растяжением и сжатием. Малоцикловая усталость. Кривые усталости и их построение. Кривые повреждаемости. Упругий и пластический гистерезис при циклических испытаниях. Связь предела усталости с характеристиками прочности. Механизм усталостного разрушения. Вид усталостного излома.

13.7. Испытания на ползучесть и длительную прочность. Предел ползучести и длительной прочности. Три периода ползучести. Механизм деформации при ползучести. Скольжение внутри зерен и по их границам. Упрочнение и разупрочнение. Влияние температуры испытания. Релаксация напряжений.

#### 14. Методы исследования и контроля качества сталей и сплавов.

14.1. Физические методы исследования свойств материалов. измерение плотности металлов, дифференциальный термический анализ, колориметрия, дилатометрия, резистометрия, исследование магнитных свойств, магнитный фазовый анализ.

14.2. Анализ внутреннего строения металлов. Оптическая микроскопия. Методы электронной зондовой микроскопии, растровая электронная микроскопия, просвечивающая электронная микроскопия, микроанализ, рентгеноструктурный анализ.

14.3. Методы оценки коррозионной стойкости материалов: стойкость против общей, межкристаллитной коррозии, питтинговой и щелевой коррозии, стойкость против коррозионного растрескивания.

14.4. Физические методы неразрушающего контроля структуры и дефектности металлов. Магнитные, магнитошумовые, электромагнитные, термоэлектрические методы неразрушающего контроля структуры, свойств и состава материалов. Ультразвуковая, рентгеновская и гамма-дефектоскопия, метод вихревых токов, магнитопорошковая дефектоскопия.



#### Основная литература:

1. Бибиков Е.Л. Процессы кристаллизации и затвердевания: учебное пособие для вузов.- М.: Альфа-М, ИНФРА-М, 2013. Экз. 3
2. Конструкционные стали и сплавы: учебное пособие.- СПб.: Политехника, 2013. Экз.5
3. Металловедение и технология быстрозакаленных сплавов. В 2-х кн.: учебник для вузов.- М.: Изд-во МАИ-Принт, 2014. Экз.2
4. Металловедение: Учебник для вузов в 2-х т. Под общей ред. В.С.Золоторевского.- М.: Издат. Дом МИСИС.—2014. Экз.1
5. Осинцев О.Е. Диаграммы состояния двойных и тройных систем. Фазовые равновесия в сплавах: Учебник для вузов.-М.:Машиностроение,2014. Экз.1
6. Орыщенко А.С. Принципы легирования, структура, свойства и свариваемость конструкционных низколегированных сталей для судостроения и морской техники : учебное пособие.- СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. Экз.8

#### Дополнительная

1. Малышевский В.А. Материаловедческие основы термомеханической обработки современных низкоуглеродистых низколегированных сталей для судостроения и магистральных газо- и нефтепроводов: справочно-методическое пособие. - СПб.:ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей», 2014. Экз.2
2. Конструкционные стали и сплавы: учеб.пособие.- СПб.: Политехника, 2013 экз. 5
3. Третьякова Т.В. Пространственно- временная неоднородность процессов неупругого деформирования металлов.-М.:Физматлит, 2017.Экз.1
4. Агеев Е.В. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (Электрон.ресурс): учебное пособие.- Курск: Юго-Западный Гос. ун-т, 2014
5. Березовский В.В.Диаграммы состояния тройных систем (Электрон.ресурс): учебное пособие.- 3-е изд., испр. и доп. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2016 доп.

#### Электронные ресурсы:

1. Научная электронная библиотека «eLibrary»

#### Журналы:

1. Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия
2. Известия высших учебных заведений. Черная металлургия
3. Конструкции из композиционных материалов
4. Реферативный журнал Коррозия и защита от коррозии
5. Коррозия «территории нефтегаз»
6. Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением
7. Литейное производство
8. Реферативный журнал. Металловедение и термическая обработка
9. Металловедение и термическая обработка
10. Металлообработка
11. Металлург
12. Металлы
13. Механика композиционных материалов
14. Наноструктурное материаловедение
15. Перспективные материалы
16. Письма о материалах

17. Порошковая металлургия
18. Практика противокоррозионной защиты
19. Проблемы прочности
20. Проблемы черной металлургии и материалов
21. Сталь
22. Судостроение,
23. Тяжелое машиностроение
24. Упрочняющие технологии и покрытия
25. Физика и химия обработки