

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор-проректор
по научной работе
_____ А.В. Коржов
« ____ » _____ 2022 г.

ПРОГРАММА

кандидатского экзамена по специальной дисциплине:

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

Разработчики:

1. _____ *Корягин Юрий Дмитриевич, д.т.н, профессор, профессор кафедры материаловедения и физико-химии материалов*
2. _____ *Руцци Сергей Вадимович, д.ф.-м.н, профессор, профессор кафедры материаловедения и физико-химии материалов*
3. _____ *Шабурова Наталия Александровна, к.т.н, доцент, доцент кафедры материаловедения и физико-химии материалов*

Челябинск 2022 г.

Содержание программы

1. Перечень тем для подготовки к кандидатскому экзамену	3
2. Вопросы для подготовки к сдаче кандидатского экзамена с учетом отрасли науки	3
3. Перечень основной и дополнительной учебной литературы	7
3.1. Основная литература	7
3.2. Дополнительная литература	8
4. Условия допуска к экзамену	8
5. Процедура проведения экзамена	8

1. Перечень тем для подготовки к кандидатскому экзамену

1. Строение металлов и сплавов.
2. Кристаллическое строение и его дефекты.
3. Фазовые и структурные превращения в металлах и сплавах в твердом состоянии.
4. Металлургические процессы получения полуфабрикатов и изделий.
5. Термическая обработка.
6. Термомеханическая обработка.
7. Химико-термическая обработка.
8. Технология термической обработки.
9. Упругая и пластическая деформация. Разрушение.
10. Методы исследования и контроля структуры и свойств металлов.
11. Промышленные сплавы: основы легирования и термической обработки, свойства, области применения.

2. Вопросы для подготовки к сдаче кандидатского экзамена с учетом отрасли науки

1. Основные типы связи атомов в твердых телах. Металлическая связь. Электронное строение и физические свойства металлов. Поверхность Ферми и зоны Бриллюэна.
2. Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания. Упорядоченные твердые растворы. Электронные соединения, фазы Лавеса, σ -фазы, фазы внедрения. Отклонения от закона Вегарда.
3. Правило фаз. Диаграммы состояния двойных и тройных систем с непрерывным рядом твердых растворов, с эвтектическими, перитектическими и монотектическими равновесиями, с конгруэнтно и инконгруэнтно плавящимися промежуточными фазами, с полиморфизмом компонентов.
4. Термодинамический анализ диаграмм состояния. Отклонения от равновесия при кристаллизации сплавов в системах разного типа.
5. Основные типы кристаллических решеток. Элементарные ячейки. Индексы направлений и плоскостей в кристаллической решетке. Анизотропия свойств кристаллов.
6. Типы дефектов кристаллического строения. Точечные дефекты. Дислокации. Дефекты упаковки. Вектор Бюргерса. Плотность дислокаций. Скольжение и переползание дислокаций. Зарождение и размножение дислокаций, источник Франка—Рида.
7. Сила Пайерлса—Набарро. Взаимодействие дислокаций между собой и с примесными атомами. Атмосферы Коттрелла, Снука, Сузуки. Дислокационные сетки и малоугловые границы.
8. Высокоугловые границы. Миграция границ и зернограницное проскальзывание. Двойники. Кристаллография и механизм деформационного двойникования.

9. Механизмы миграции атомов. Законы Фика. Коэффициент диффузии. Структурно-чувствительные процессы диффузии. Диффузия во внешних силовых полях.
10. Классификация фазовых и структурных превращений. Фазовые превращения I и II рода. Гомогенный и гетерогенный механизмы зарождения.
11. Строение и механизм движения поверхностей раздела фаз. Сдвиговое (бездиффузионное) и нормальное (диффузионное) превращения. Термодинамический и кристаллографический анализ сдвигового (мартенситного) превращения.
12. Механизм и кинетика сдвиговых и нормальных превращений. Эвтектоидное превращение. Механизм и кинетика эвтектоидного превращения. Диаграммы фазовых превращений (термокинетические, изотермические и др.).
13. Упорядочение твердого раствора. Дальний и ближний порядок. Изменение свойств сплавов при упорядочении. Образование и распад метастабильных фаз.
14. Распад пересыщенного твёрдого раствора. Спинодальный распад. Термодинамика образования промежуточных фаз. Структурные изменения при старении (кластеры, зоны Гинье—Престона, промежуточные метастабильные фазы, модулированные структуры).
15. Когерентные, частично когерентные и некогерентные выделения. Формы выделений. Непрерывный и прерывистый распад.
16. Виды технологии литейного производства. Структура и свойства жидких металлов. Гомогенное и гетерогенное зарождение кристаллов, критический размер зародыша.
17. Концентрационное переохлаждение. Эвтектическая кристаллизация. Влияние скорости кристаллизации на строение сплавов. Строение металлического слитка.
18. Модифицирование структуры литых сплавов. Образование метастабильных фаз при кристаллизации. Бездиффузионная кристаллизация. Металлические стекла. Методы получения монокристаллов из расплава. Металлургия гранул.
19. Способы обработки металлов давлением. Влияние температуры, схемы и степени деформации на сопротивление деформации, структуру и свойства металлов и сплавов.
20. Виды сварки металлов и сплавов. Структура и свойства сварных соединений.
21. Классификация видов термической обработки.
22. Гомогенизационный отжиг. Изменение структуры и свойств сплавов при гомогенизационном отжиге.
23. Дорекристаллизационный и рекристаллизационный отжиг. Отдых. Полигонизация. Первичная, собирательная и вторичная рекристаллизация. Механизм и кинетика отдыха, виды полигонизации и рекристаллизации, влияние на них предшествующей пластической деформации, примесей, температуры и продолжительности отжига.

24. Параметры полигонизованной и рекристаллизованной структур. Критическая степень деформации. Диаграммы рекристаллизации. Закономерности и природа изменения механических и физических свойств при отжиге после холодной деформации.
25. Текстура деформации, первичной, собирательной и вторичной рекристаллизации, механизм ее образования. Анизотропия свойств текстурованных металлов.
26. Отжиг для уменьшения остаточных напряжений. Механизм снижения остаточных напряжений при нагревании.
27. Фазовые превращения при нагреве. Структурная наследственность. Закалка без полиморфного превращения. Изменение структуры и свойств при закалке.
28. Закалка с полиморфным превращением. Микроструктура и субструктура мартенсита. Упрочнение и изменение пластичности при закалке на мартенсит.
29. Критическая скорость охлаждения при закалке, прокаливаемость. Бейнитное превращение. Строение бейнита. Изотермическая закалка.
30. Старение. Природа упрочнения при старении. Влияние температуры и продолжительности старения на механические и физические свойства сплавов. Перестаривание, ступенчатое старение.
31. Влияние температуры нагрева под закалку и скорости охлаждения на формирование структуры и свойств сплавов при старении.
32. Отпуск. Изменение микроструктуры, субструктуры и фазового состава при отпуске. Обратимая и необратимая отпускная хрупкость.
33. Термомеханическая обработка. Структурные изменения при пластической деформации. Динамическая полигонизация и динамическая рекристаллизация. Возврат и рекристаллизация после горячей деформации.
34. Высокотемпературная и низко температурная термомеханическая обработка. Термомеханическая обработка дисперсионно-твердеющих сплавов.
35. Химико-термическая обработка. Элементарные процессы при химико-термической обработке. Структура диффузионных слоев и ее связь с диаграммой состояния.
36. Азотирование, цементация, нитроцементация, алитирование, хромирование, борирование, сульфидирование, силицирование. Термоводородная обработка.
37. Современное оборудование для закалки, отжига, отпуска, химико-термической и других видов термической обработки сталей и сплавов.
38. Агрегаты непрерывного отжига и закалки. Автоматизация полного цикла термической обработки.
39. Способы достижения высоких скоростей нагрева и охлаждения изделий при термической обработке.

40. Внутренние напряжения и деформация изделий при термической обработке. Нагрев при термической обработке изделий в защитных средах и вакууме.
41. Дефекты термической обработки. Газонасыщение и его влияние на структуру и свойства сплавов. Методы борьбы с поводками и короблением.
42. Диаграммы деформирования моно- и поликристаллов, многофазных сплавов. Механизмы упругой и пластической деформации. Деформационное упрочнение, влияние на него температуры и скорости деформации.
43. Теория предела текучести. Эффект Баушингера. Упрочнение при образовании твердых растворов и при выделении избыточных фаз (когерентных и некогерентных).
44. Влияние размера зерна на механические свойства. Сверхпластичность. Неупругость.
45. Хрупкое и вязкое разрушение. Схемы зарождения трещин. Распространение трещин при хрупком и вязком разрушении. Природа хладноломкости.
46. Порог хладноломкости. Строение изломов.
47. Ползучесть. Механизмы и стадии ползучести. Релаксация напряжений.
48. Кратковременная и длительная прочность. Влияние состава и структуры сплавов на ползучесть.
49. Усталостная прочность. Диаграммы усталости. Механизм усталости. Факторы, влияющие на усталостную прочность. Контактная усталость. Износ.
50. Методы изучения микроструктуры. Световая микроскопия. Методы количественной металлографии. Электронная микроскопия (метод реплик, дифракционная микроскопия разных видов фольги, сканирующая микроскопия, микродифракция).
51. Рентгеноструктурный и электронографический анализ. Микрорентгеноспектральный анализ. Локальный анализ состава по электронным спектрам.
52. Методы измерения физических свойств (термический анализ, калориметрия, дилатометрия, измерение плотности, резистометрия, магнитный анализ и др.). Методы определения коррозионных свойств.
53. Механические свойства металлов и сплавов. Методы их измерения. Статические и динамические испытания. Испытания на ползучесть, длительную прочность и релаксацию напряжений. Усталостные испытания.
54. Стали. Классификация сталей по структуре, составу, назначению. Чугуны и их классификация. Модифицирование чугунов.
55. Алюминий и его сплавы. Титан и его сплавы. Медь и ее сплавы.
56. Никель и его сплавы. Магний и его сплавы. Сплавы на основе тугоплавких металлов.
57. Сплавы с особыми физическими свойствами: высоким и низким электросопротивлением,

магнитно-твердые и магнитно-мягкие стали и сплавы, сплавы с особыми упругими и тепловыми свойствами.

58. Сверхпроводящие сплавы. Сплавы с эффектом запоминания формы и сверхупругости.

3. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

3.1. Основная литература

1. Ильин, С. И. Технология термической обработки сталей [Текст] учеб. пособие по специальности 150105 "Металловедение и термическая обработка металлов" и по направлению "Металлургия" С. И. Ильин, Ю. Д. Корягин; Юж.-Урал. гос. ун-т, каф. физ. металловедение и физика твердого тела; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательский Центр ЮУрГУ, 2012. – 119 с.
2. Корягин, Ю. Д. Современные способы нагрева и оборудование в термическом производстве //Метод. указания к лаб. работам по направлениям "Металлургия" и "Материаловедение и технология материалов" Ю. Д. Корягин, С. И. Ильин; Юж.-Урал. гос. ун-т, каф. физ. металловедение и физика твердого тела ; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательский Центр ЮУрГУ, 2015. – 32 с.
3. Башнин, Ю. А. Технология термической обработки стали Учеб. для вузов по спец." Металловедение, оборудование и технология терм. обраб. металлов". - М.: Metallurgia, 1986. - 424 с. ил.
4. Соколов К.И., Коротич И.К. Технология термической обработки металлов и проектирование термических цехов: Учебник для ВУЗов. – М.: Metallurgia, 1998. – 384 с.
5. Смирнов М. А. Основы термической обработки стали : Учеб. пособие / Рос. акад. наук, Урал. отд-ние, Ин-т физики металлов, Юж.-Урал. гос. ун-т; М. А. Смирнов, В. М. Счастливец, Л. Г. Журавлев ; ЮУрГУ. - Екатеринбург : УрО РАН, 1999. - 494 с.
6. Мирзаев, Д. А. Физические основы прочности Ч. 1 Учеб. пособие Д. А. Мирзаев; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Физ. металловедение и физика твердого тела; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Физ. металловедение и физика твердого тела ; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2000. - 141 с.
7. Мирзаев, Д. А. Физические основы прочности Ч. 2 Учеб. пособие Д. А. Мирзаев, К. Ю. Окишев; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Физ. металловедение и физика твердого тела; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Физ. металловедение и физика твердого тела; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2004. - 131 с.
8. Окишев, К. Ю. Кристаллохимия и дефекты кристаллического строения. Учеб. пособие К. Ю. Окишев ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Физ. металловедение и физика твердого тела ; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2007. - 96 с.
9. Жигалина, О. М. Анализ дефектов кристаллического строения металлов : методические указания / О. М. Жигалина. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. — 40 с.

10. Портной, В. К. Дефекты кристаллического строения металлов и методы их анализа : учебник / В. К. Портной, А. И. Новиков, И. С. Головин. — Москва : МИСИС, 2015. — 508 с.
11. Мирзаев, Д. А. Основы теории дефектов, прочности и пластичности кристаллов. Учеб. пособие по направлениям "Физика", "Приклад. механика", "Металлургия" и "Материаловедение" Д. А. Мирзаев, К. Ю. Окишев; Юж.-Урал. гос. ун-т, каф. физ. металловедение и физика твердого тела; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательский Центр ЮУрГУ, 2013. - 335 с.
12. Мирзаев, Д. А. Водород в сталях [Текст] учеб. пособие для бакалавров и магистров по направлению "Материаловедение и технологии материалов" и др. Д. А. Мирзаев, К. Ю. Окишев, А. А. Мирзоев; Юж.-Урал. гос. ун-т, каф. материаловедение и физ.-хим. материалов; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательский Центр ЮУрГУ, 2016. — 30 с.

3.2. Дополнительная литература

1. Корягин, Ю. Д. Основы проектирования термических цехов [Текст] учеб. пособие для вузов по направлению 150100 "Металлургия" Ю. Д. Корягин, Н. А. Шабурова ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Физ. металловедение и физика твердого тела ; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательский Центр ЮУрГУ, 2010. - 100 с.
2. Серов, Г.В. Процессы получения и обработки материалов: теория и расчеты металлургических процессов и систем [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.В. Серов. —Москва : МИСИС, 2017. — 118 с.
3. Каллистер, У. Материаловедение: от технологии к применению (металлы, керамики, полимеры) [Электронный ресурс] : учебник / У. Каллистер, Д. Ретвич ; под ред. Малкина А.Я. ; пер. с англ. Малкина А.Я.— Санкт-Петербург: НОТ, 2011. — 896 с.

4. Условия допуска к экзамену

К сдаче кандидатских экзаменов допускаются аспиранты, а также лица, имеющие высшее образование, подтвержденное дипломом специалиста или магистра, прикрепленные для подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, сдачи кандидатских экзаменов без освоения программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре.

5. Процедура проведения экзамена

Экзамен проводится в устной форме с обязательным составлением развернутых ответов на специально подготовленных для этого бланках. В каждом билете содержится по три вопроса. Для ответа на билеты аспиранту/прикреплённому лицу предоставляется возможность подготовки в течение 1 часа. На экзамене аспиранту/прикреплённому лицу предоставляется право пользоваться необходимыми справочными материалами, учебной и научной литературой. Продолжительность устного ответа на экзамене, как правило, не должна превышать 30 минут. После ответа на основные вопросы билета аспиранту/прикреплённому лицу задаются дополнительные вопросы в рамках тематики программы экзамена. Результаты кандидатского экзамена объявляются

аспиранту/прикреплённому лицу в тот же день после оформления протоколов заседания комиссии. Оценка ответа проводится по пятибалльной системе.