

ФГБОУ ВПО Рыбинский государственный авиационный технический
университет имени П.А. Соловьева

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке и
инновациям

_____ Кожина Т.Д.
« ___ » _____ 200__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине «Управление структурой и свойствами сплавов»

для специальности

05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Кафедра «Материаловедение, литье и сварка» (МЛС)

Распределение часов

Форма обучения	Очная	Заочная
Лекции	36	36
Практические занятия	36	36
Подготовка курсовой работы	36	36
Самостоятельная работа	72	72
Всего часов	180	180
Форма контроля (зач., экз., защ.)	Экзамен (36)	Экзамен (36)

Программу составили

д.т.н., профессор

к.т.н., доцент

_____ А.А. Шатульский

_____ М.А. Шаповалова

Рабочая программа рассмотрена на заседании кафедры МЛС

« 27 » декабря 2011 г.

Заведующей кафедрой

д.т.н., профессор

_____ А.А. Шатульский

Программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями «О формировании основных образовательных программ послевузовского профессионального образования» (письмо Министерства образования и науки РФ от 22.06.2011г. ИБ-733/12) и требований по кандидатскому минимуму для аспирантов по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ знакомство аспирантов с теоретическими основами анализа и прогноза протекания процессов структурообразования при изготовлении отливок, а также при последующей специальной термической обработки.

Основными задачами является:

- знакомство аспирантов с теоретическими основами теории растворов, теории фазовых превращений, физико-химических методов исследования и теории диффузии, а так же с основными принципами формирования структуры и упрочнения сплавов;

- формирование у аспирантов фундаментальных основ тепловой теории структурообразования, навыков прогноза структуры и свойств сплавов по диаграммам фазового состояния многокомпонентных систем и прогноза свойств сплавов;

- ознакомление с методами моделирования процессов структурообразования на ЭВМ.

В результате изучения курса аспирант должен:

Знать физико-химические основы металлургических процессов: термодинамику и кинетику металлургических процессов, теорию растворов, влияние строения фаз на их физико-химические свойства, поверхностные явления

Уметь использовать универсальные аналитические и регрессионные уравнения регрессии, методы приведенных или эквивалентных концентраций для анализа состояния и прогноза структуры и свойств материалов.

Владеть навыками использования методов расчета, моделирования и оценки прогнозирования свойств и возможности упрочнения для однофазных и многофазных сплавов с учетом тепловой теории структурообразования.

Для успешного изучения и усвоения данной дисциплины аспиранты обладать знаниями, приобретенными при освоении основной образовательной программы высшего профессионального образования по направлению Металлургия и специальности 150104 «Литейное производство черных и цветных металлов» и дисциплин: «Основы производства и обработки металлов», «Теория литейных процессов», «Металловедение и термическая обработка металлов», «Технология литейного производства», «Производство отливок из черных металлов», «Производство отливок из цветных металлов».

В свою очередь изучение дисциплина «**Управление структурой и свойствами сплавов**» должна подготовить аспирантов к использованию современных технологий литья и обработки для формирования отливок с заданной структурой и свойствами и формулировке научной новизны и основных защищаемых положений, выполняемой диссертационной работы.

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1. Введение. Взаимосвязь структуры и свойств сплавов. Прогнозирование свойств сплавов.

2.2. Основы физико-химических методов исследования .

Законы термодинамики. Основные понятия. Энтальпия, энтропия, свободная энергия процесса. Направление превращений. Классы реакций. Кинетика физико-химических превращений. Диффузия реагентов. Энергия активации. Режимы процессов. Лимитирующие стадии и ведущие фазы процесса. Строение вещества. Влияние различных факторов на физико-химические превращения. Пути интенсификации металлургических процессов.

2.3. Типы связей в металлах и сплавах.

Основные типы твердых тел. Межатомные и межмолекулярные связи, металлическая связь, ковалентная связь, ионная связь, полярная связь; электроотрицательность, способы ее расчета и использования для оценки взаимодействия компонентов в системе; металлы, ионные кристаллы, диэлектрики, полупроводники.

2.4. Основы теории растворов.

Основные понятия. Способы выражения концентраций растворённых компонентов. Термодинамические характеристики растворов. Парциальная мольная величина. Химический потенциал и термодинамическая активность компонентов раствора. Виды растворов, стандартные состояния. Законы Рауля и Генри. Модели реальных растворов. Расчёт активности компонентов раствора из диаграмм состояния двойных систем.

2.5. Физико-химия поверхностных явлений.

Основные понятия. Формирование и строение поверхностей раздела фаз. Поверхностное натяжение. Реакционная способность поверхностей. Адсорбция, уравнение Гиббса. Смачиваемость твёрдых тел жидкостью. Физико-химические основы смачивания. Краевой угол смачивания. Работа адгезии и когезии. Влияние природы твёрдых тел на их смачиваемость жидким металлом.

2.6. Основы теории фазовых превращений.

Фазовые превращения и их классификация. Состояния жидких и твёрдых сплавов: стабильное (равновесное), метастабильное (неравновесное), лабильное. Общие закономерности фазовых превращений и способы их описания. Кристаллизация металлов и сплавов. Уравнение А.Н. Колмогорова. Кристаллизационная активность металлов и сплавов. Термодинамика и кинетика зародышеобразования и роста фаз. Диффузионный пограничный слой у растущего кристалла. Режимы кристаллизации, получаемые структуры. Размер зерна при объёмной кристаллизации. Модифицирование металлов и сплавов. Активность модификаторов. Механизм процесса кристаллизации металлов. Моделирование

размера зерна при объёмной кристаллизации. Особенности фазовых превращений в твёрдом состоянии (термодинамика, кинетика, мерность роста новой фазы и др.). Равновесные и неравновесные фазы и структуры. Уравнения Авраами. Моделирование кинетики фазовых превращений. Диаграммы изотермического фазового превращения. Механизм фазовых превращений. Современные научные методы исследования фазовых превращений.

2.7. Основные фазы в сплавах и условия их образования.

Основные типы фазовых равновесий и типы фаз, образующие структуру гетерогенных сплавов: эвтектическое, эвтектоидное, перитектическое, перитектоидное и монотектическое превращение; характерные структуры, образующиеся при этих превращениях.

Твердые растворы; классификация твердых растворов; основные факторы, определяющие образование твердых растворов: размерный, объемный и температурный факторы, электроотрицательность, ионизационные потенциалы.

Методы прогноза взаимной растворимости в сплавах: эллипсы Даркена-Гурри, статистический график для неограниченных твердых растворов.

Кристаллическое строение твердых растворов, изменение параметров кристаллической решетки при образовании твердых растворов, методика оценки предельной растворимости; закон Вегарда и отклонения от него; общая зависимость изменения свойств твердых растворов, закон Н.С.Курнакова.

Упорядоченные твердые растворы: сущность процесса упорядочения; степень упорядочения; изменение свойств при образовании упорядоченного строения; влияние температуры на процесс упорядочения.

Основные группы интерметаллидов: электронные соединения, фазы внедрения, сигма-фазы, фазы Лавеса, соединения с нормальной валентностью; факторы, определяющие образование интерметаллидов.

Фазовые области образования интерметаллидов на двойных и тройных диаграммах состояния; конгруэнтно и инконгруэнтно плавящиеся интерметаллиды; линии сольвуса и области гомогенных твердых растворов на основе интерметаллидов.

Общая характеристика механических и физических свойств интерметаллидов; зависимость “состав-свойства” при образовании интерметаллидов.

2.8. Формирование структуры сплавов.

Эвтектические структуры; определение соотношения фаз в эвтектике по диаграмме состояния; классификация эвтектик; схемы формирования структуры матричной и каркасно-матричной эвтектики; свойства эвтектик.

Пластинчатые структуры; образование структуры при эвтектоидных превращениях; кинетика роста пластинчатой структуры, формирование колоний и “пакетов”; способы оценки размеров структурных составляющих; общая характеристика свойств; зависимость свойств от размера структурных составляющих.

Структура сплавов с зёрнами твёрдого раствора; особенности строения литой структуры, дендритная ячейка и макрозерно; деформированная структура, текстура деформации и текстура рекристаллизации.

Строение границ зерен; дислокационное строение границы; энергетическое состояние границ зерен; особенности поведения границ зерен при низких и высоких температурах.

Практика измерения размеров зерна и структурных составляющих; система баллов для оценки размеров и непосредственные измерения; методика обработки результатов измерений; гистограммы распределения размеров и их анализ. Математические модели для оценки свойств сплавов по размерам структурных составляющих.

2.9. Виды структурного упрочнения в сплавах.

Растворное упрочнение; зависимости “состав-свойства” для неограниченных и ограниченных твердых растворах; влияние размерного и объемного фактора на интенсивность упрочнения при легировании; особенности изменения прочности и пластичности в твердых растворах замещения и внедрения; физический механизм растворного упрочнения.

Дисперсионное упрочнение; условия образования дисперсных выделений при распаде твердого раствора; оценка количества выделений – по диаграмме состояния; типы выделений по форме и когерентности связи с матричной кристаллической решеткой; дислокационный механизм дисперсионного упрочнения.

Аддитивное структурное упрочнение; упрочнение в матричных двухфазных структурах, физический механизм упрочнения.

Каркасное упрочнение; формирование каркасных структур в литых сплавах; особенности поведения каркасных структур при низких и высоких температурах.

Методы расчета упрочнения для однофазных и многофазных сплавов; роль универсальных уравнений регрессии; метод приведенных или эквивалентных концентраций (на примере сталей, титановых и медных сплавов); расчет упрочнения в многофазных структурах; понятия о коэффициентах упрочнения; упрочнение в пластинчатых структурах.

2.10. Основы теории диффузии.

Общие определения; диффузия и самодиффузия, гетеродиффузия, градиент концентраций и направление диффузии; диффузия как физико-химическая основа технологических процессов обработки сплавов.

Механизм диффузии: обменный, вакансионный, межузельный, краудсионный механизмы перемещения атомов; элементарный расчет зависимости пути диффузии от времени, закон квадратного корня.

Первый закон диффузии; градиент концентраций и направление массопереноса; математическое выражение первого закона диффузии, коэффициент диффузии.

Энергия активации диффузии; энергетическая схема перемещения атомов при диффузии; математическое выражение зависимости коэффициента диффузии от энергии активации и температуры. Факторы, определяющие диффузионную подвижность атомов; взаимосвязь коэффициента диффузии и температуры плавления металлов, гомологические температуры и диффузионная подвижность атомов.

Второй закон диффузии; общее уравнение и его решение; безразмерный параметр диффузии; методика расчета распределения элемента в диффузионном слое с помощью функции ошибок; распределение элементов при диффузии из точечного источника в зависимости от времени; зависимость толщины диффузионного слоя от времени процесса.

Взаимная диффузия в сплавах; распределение компонентов в диффузионных слоях, опыт Киркендалла.

Восходящая диффузия; роль химического потенциала и химической активности в определении направления массопереноса; опыт Даркена; роль восходящей диффузии в формировании структуры сплавов.

Диффузия по границам зерен и дислокациям; вклад границ зерен в коэффициент диффузии; механизм влияния границ зерен на процесс диффузии; взаимодействие атомов растворенного элемента с дислокациями, образование атмосфер возле дислокаций; взаимосвязь скорости диффузии и плотности дислокации.

2.11. Диффузионные процессы в сплавах.

Роль диффузии в процессе кристаллизации сплавов, влияние скорости охлаждения и переохлаждения расплава на диффузию в жидком, твердо-жидком и твердом состоянии; закономерности формирования неравновесных состояний – ликвация, закалка жидкого состояния, аморфизация.

Неравновесная кристаллизация сплавов и внутрикристаллическая ликвация; анализ по диаграмме состояния процесса образования неоднородности химического состава при затвердевании; неравновесный солидус и неравновесные эвтектики в сплавах; распределение компонентов по дендритным ячейкам; коэффициент распределения и его влияние на ликвацию в сплавах; влияние ликвации на свойства сплавов.

Гомогенизация сплавов; схема распределения компонентов по дендритной ячейке в зависимости от положения фигуративной точки сплава на диаграмме состояния (наличие в структуре неравновесной и равновесной эвтектики); изменение концентрации и растворение фаз в процессе гомогенизации; изменение свойств сплава при гомогенизации; влияние температуры и времени на процесс гомогенизации, выбор температуры гомогенизации.

Коагуляция фаз; изменение структуры и свойств сплавов при коагуляции фаз, роль температуры в развитии процесса коагуляции; основные закономерности развития процесса во времени.

Рост зерна в сплавах; физический механизм роста зерна; основные закономерности влияния температуры и времени на скорость роста зерна, кинетика изменения структуры сплава; изменение свойств сплава при росте зерна.

Фазовые превращения в диффузионных слоях; распределение углерода в слое при цементации стали; фазовые и структурные превращения в цементованном слое при охлаждении стали. Формирование многофазной структуры в диффузионном слое (общий анализ по трехкомпонентной диаграмме состояния).

Реактивная диффузия; анализ по диаграмме состояния формирования диффузионного слоя при реактивной диффузии; особенности образования фаз и

распределения концентраций в диффузионном слое; азотирование – как пример реактивной диффузии.

Фазовая перекристаллизация и классификация фазовых превращений на диффузионные и бездиффузионные; основные факторы, определяющие кинетику превращений, зависимость разности свободных энергий и коэффициента диффузии от температуры; зависимость скорости фазового превращения от температуры процесса, причина появления области мартенситных превращений.

2.12. Основы тепловой теории процессов формирования структуры при фазовых превращениях в твердом состоянии.

Закалка. Закалка с полиморфным и без полиморфного превращения. Изменение структуры и свойств. Механизм мартенситного превращения. Кинетика мартенситных превращений. Изменение свойств сплавов при закалке на мартенсит. Влияние деформации на мартенситное превращение.

Старение сплавов. Распад твердого раствора по механизму зарождения и роста фаз. Основные характеристики выделений – когерентность, форма, модулированность структуры. Стадии распада твердого раствора. Концентрационные кластеры, зоны Гинье-Престона, промежуточные метастабильные и стабильные фазы; линии сольвуса промежуточных фаз на диаграмме состояния при многостадийном распаде. Кинетические кривые изменения прочности и пластичности при старении; влияние температуры и длительности выдержки, связь комплекса свойств с процессом формирования структуры.

Рекристаллизационные процессы в сплавах. Механизм пластической деформации, изменение дислокационного строения и структуры, возникновение наклепа. Дорекристаллизационные процессы при нагреве наклепанного металла; кинетика изменения субструктуры и свойств (уравнение Аррениуса); Возврат, кинетика процесса, изменение свойств при возврате; полигонизация.

Первичная рекристаллизация; механизм зарождения центров, кинетические кривые; зависимость температуры начала рекристаллизации от различных факторов; температура конца рекристаллизации.

Собирательная рекристаллизация; кинетические кривые и их математическое описание, природа процесса; влияние различных факторов на рост зерна; диаграммы рекристаллизации.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Все практические занятия планируются продолжительностью 4 часа.

3.1. Изучение поверхностных явлений в растворах.

3.2. Определение теплоты фазовых превращений.

3.3. Кинетика кристаллизации металлов.

3.4. Определение степени метастабильности сплавов.

3.5. Выбор легирующего комплекса сплава. Построение математических моделей «химический состав - свойство» с использованием регрессионного анализа.

3.6. Анализ диаграмм фазового равновесия двух и многокомпонентных систем.

3.7. Механизм и кинетика объемной диффузии. Самодиффузия и гетеродиффузия.

3.8. Рассмотрение процессов упорядочения твердых растворов.

3.9. Оценка эксплуатационной пригодности жаропрочных никелевых сплавов на основе анализа физико-химического взаимодействия компонентов.

3.10. Технология литья с направленной кристаллизацией.

3.11. Технология монокристаллитного литья.

3.12. Суспензионное литье- как метод управления формированием макроструктуры

3.13. Модифицирование сплавов.

3. ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ

Взаимосвязь физико-химических свойств элементов и соединений в периодической системе Д.И. Менделеева. Построение графиков зависимостей изменения свободной энергии образования химических соединений и свойств сплава от характеристик элемента (порядкового номера элемента, параметра кристаллической решетки при комнатной температуре и др.)

«Обоснование выбора легирующего комплекса сплава и его режима термической обработки на основе анализа взаимодействия компонентов, а так же структурных и фазовых превращений протекающих в нем в процессах нагрева и охлаждения»

4. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная:

4.1. Васильев В.А. Физико-химические основы литейного производства: Учеб. пособие. М.: Изд-во МВТУ, 1994.

4.2 В.И. Фистуль. Физика и химия твердого тела, в 2-х томах. М.: Металлургия, 1995, 480 с. и 320 с.

4.3 А.Я. Ларионов. Физико-химические основы металлургических процессов. Часть 1,2. Рыбинск, РГАТА, 1996-1999 г.г., 70с. и 78 с.

4.4. А.Я. Ларионов. Сборник задач по курсу теории металлургических процессов. Ярославль, ЯПИ, 1980, 93 с.

4.5. А.Я. Ларионов. Кристаллизационная активность металлов и сплавов М.:Машиностроение, 2010, 263 с.

Дополнительная:

4.5. Стромберг А.Г., Семченко Д.П. Физическая химия. - М.: Высшая школа, 1988.-496 с.

4.6. Глазов В.М., Павлова Л.М. Химическая термодинамика и фазовые равновесия. - М.: Металлургия, 1981.-336 с.

4.7. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. - М.: Металлургия, 1978, 392 с.

5.ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ

1. Физико-химические методы анализа и исследования.
2. Термодинамика фазовых превращений.
3. Законы термодинамики. Основные понятия.
4. Энтальпия, энтропия, свободная энергия процесса.
5. Классы реакций. Кинетика физико-химических превращений.
6. Лимитирующие стадии и ведущие фазы процесса.
7. Влияние различных факторов на физико-химические превращения.
8. Типы связей в металлах и сплавах.
9. Межатомные и межмолекулярные связи, металлическая связь, ковалентная связь, ионная связь, полярная связь.
10. Электроотрицательность, способы ее расчета и использования для оценки взаимодействия компонентов в системе.
11. Способы выражения концентраций растворённых компонентов.
12. Термодинамические характеристики растворов. Парциальная мольная величина. Химический потенциал и термодинамическая активность компонентов раствора.
13. Виды растворов, стандартные состояния. Законы Рауля и Генри.
14. Расчёт активности компонентов раствора из диаграмм состояния двойных систем.
15. Формирование и строение поверхностей раздела фаз.
16. Поверхностное натяжение. Реакционная способность поверхностей.
17. Адсорбция, уравнение Гиббса.
18. Физико-химические основы смачивания. Поверхностные явления: адсорбция, адгезия, когезия, межфазное натяжение, угол смачивания
19. Влияние природы твёрдых тел на их смачиваемость жидким металлом.
20. Фазовые превращения и их классификация.
21. Состояния жидких и твёрдых сплавов: стабильное (равновесное), метастабильное (неравновесное), лабильное.
22. Общие закономерности фазовых превращений и способы их описания.
23. Кристаллизация металлов и сплавов. Общие сведения.
24. Уравнение А.Н. Колмогорова.
25. Кристаллизационная активность металлов и сплавов.
26. Термодинамика и кинетика зародышеобразования и роста фаз.
27. Формирование метастабильных фаз и аморфного состояния
28. Диффузионный пограничный слой у растущего кристалла.
29. Режимы кристаллизации, получаемые структуры.
30. Размер зерна при объёмной кристаллизации.
31. Модифицирование металлов и сплавов. Активность модификаторов.
32. Механизм процесса кристаллизации металлов.
33. Моделирование размера зерна при объёмной кристаллизации.
34. Особенности фазовых превращений в твёрдом состоянии (термодинамика, кинетика, мерность роста новой фазы и др.).
35. Равновесные и неравновесные фазы и структуры.
36. Уравнения Авраами.

37. Моделирование кинетики фазовых превращений.
38. Диаграммы изотермического фазового превращения.
39. Механизм фазовых превращений.
40. Современные научные методы исследования фазовых превращений
41. Основные типы фазовых равновесий и типы фаз, образующие структуру гетерогенных сплавов: эвтектическое, эвтектоидное, перитектическое, перитектоидное и монотектическое превращение; характерные структуры, образующиеся при этих превращениях.
42. Твердые растворы. Классификация твердых растворов.
43. Основные факторы, определяющие образование твердых растворов: размерный, объемный и температурный факторы, электроотрицательность, ионизационные потенциалы.
44. Методы прогноза взаимной растворимости в сплавах: эллипсы Даркена-Гурри, статистический график для неограниченных твердых растворов.
45. Кристаллическое строение твердых растворов, изменение параметров кристаллической решетки при образовании твердых растворов.
46. Методика оценки предельной растворимости; закон Вегарда и отклонения от него.
47. Общая зависимость изменения свойств твердых растворов, закон Н.С. Курнакова.
48. Упорядоченные твердые растворы: сущность процесса упорядочения; степень упорядочения.
49. Изменение свойств при образовании упорядоченного строения; влияние температуры на процесс упорядочения.
50. Основные группы интерметаллидов: электронные соединения, фазы внедрения, сигма-фазы, фазы Лавеса, соединения с нормальной валентностью.
51. Факторы, определяющие образование интерметаллидов.
52. Фазовые области образования интерметаллидов на двойных и тройных диаграммах состояния; конгруэнтно и инконгруэнтно плавящиеся интерметаллиды.
53. Общая характеристика механических и физических свойств интерметаллидов.
54. Зависимость “состав-свойства” при образовании интерметаллидов.
55. Эвтектические структуры; определение соотношения фаз в эвтектике по диаграмме состояния.
56. Классификация эвтектик. Схемы формирования структуры матричной и каркасно-матричной эвтектики; свойства эвтектик.
57. Пластинчатые структуры; образование структуры при эвтектоидных превращениях; кинетика роста пластинчатой структуры, формирование колоний и “пакетов”; способы оценки размеров структурных составляющих.
58. Структура сплавов с зернами твердого раствора.
59. Особенности строения литой структуры, дендритная ячейка и макрозерно.
60. Деформированная структура, текстура деформации и текстура рекристаллизации.

61. Строение границ зерен; дислокационное строение границы; энергетическое состояние границ зерен; особенности поведения границ зерен при низких и высоких температурах.
62. Практика измерения размеров зерна и структурных составляющих.
63. Математические модели для оценки свойств сплавов по размерам структурных составляющих.
64. Растворное упрочнение. Физический механизм растворного упрочнения. Зависимости “состав-свойства” для неограниченных и ограниченных твердых растворах.
65. Влияние размерного и объемного фактора на интенсивность упрочнения при легировании; особенности изменения прочности и пластичности в твердых растворах замещения и внедрения.
66. Дисперсионное упрочнение; условия образования дисперсных выделений при распаде твердого раствора; оценка количества выделений – по диаграмме состояния.
67. Типы выделений по форме и когерентности связи с матричной кристаллической решеткой; дислокационный механизм дисперсионного упрочнения.
68. Аддитивное структурное упрочнение; упрочнение в матричных двухфазных структурах, физический механизм упрочнения.
69. Каркасное упрочнение; формирование каркасных структур в литых сплавах; особенности поведения каркасных структур при низких и высоких температурах.
70. Методы расчета упрочнения для однофазных и многофазных сплавов; роль универсальных уравнений регрессии; метод приведенных или эквивалентных концентраций (на примере сталей, титановых и никелевых жаропрочных сплавов)
71. Основы теории диффузии. Общие определения: диффузия и самодиффузия, гетеродиффузия, градиент концентраций и направление диффузии.
72. Механизм диффузии: обменный, вакансионный, межузельный, краудсионный механизмы перемещения атомов.
73. Элементарный расчет зависимости пути диффузии от времени, закон квадратного корня.
74. Первый закон диффузии; градиент концентраций и направление массопереноса; математическое выражение первого закона диффузии, коэффициент диффузии.
75. Энергия активации диффузии; энергетическая схема перемещения атомов при диффузии; математическое выражение зависимости коэффициента диффузии от энергии активации и температуры.
76. Факторы, определяющие диффузионную подвижность атомов; взаимосвязь коэффициента диффузии и температуры плавления металлов, гомологические температуры и диффузионная подвижность атомов.
77. Второй закон диффузии; общее уравнение и его решение; безразмерный параметр диффузии.

78. Распределение элементов при диффузии из точечного источника в зависимости от времени; зависимость толщины диффузионного слоя от времени процесса.
79. Взаимная диффузия в сплавах; распределение компонентов в диффузионных слоях, опыт Киркендалла.
80. Восходящая диффузия; роль химического потенциала и химической активности в определении направления массопереноса; опыт Даркена; роль восходящей диффузии в формировании структуры сплавов.
81. Диффузия по границам зерен и дислокациям; вклад границ зерен в коэффициент диффузии; механизм влияния границ зерен на процесс диффузии.
82. Взаимодействие атомов растворенного элемента с дислокациями, образование атмосфер возле дислокаций; взаимосвязь скорости диффузии и плотности дислокации.
83. Роль диффузии в процессе кристаллизации сплавов, влияние скорости охлаждения и переохлаждения расплава на диффузию в жидком, твердо-жидком и твердом состоянии.
84. Закономерности формирования неравновесных состояний – ликвация, закалка жидкого состояния, аморфизация.
85. Неравновесная кристаллизация сплавов и внутрикристаллическая ликвация; анализ по диаграмме состояния процесса образования неоднородности химического состава при затвердевании; неравновесный солидус и неравновесные эвтектики в сплавах.
86. Распределение компонентов по дендритным ячейкам; коэффициент распределения и его влияние на ликвацию в сплавах; влияние ликвации на свойства сплавов.
87. Гомогенизация сплавов; изменение концентрации и растворение фаз в процессе гомогенизации; изменение свойств сплава при гомогенизации; влияние температуры и времени на процесс гомогенизации, выбор температуры гомогенизации.
88. Коагуляция фаз; изменение структуры и свойств сплавов при коагуляции фаз, роль температуры в развитии процесса коагуляции; основные закономерности развития процесса во времени.
89. Рост зерна в сплавах; физический механизм роста зерна; основные закономерности влияния температуры и времени на скорость роста зерна, кинетика изменения структуры сплава; изменение свойств сплава при росте зерна.
90. Фазовые превращения в диффузионных слоях. Формирование многофазной структуры в диффузионном слое (общий анализ по трехкомпонентной диаграмме состояния).
91. Реактивная диффузия; анализ по диаграмме состояния формирования диффузионного слоя при реактивной диффузии; особенности образования фаз и распределения концентраций в диффузионном слое; азотирование – как пример реактивной диффузии.

92. Фазовая перекристаллизация и классификация фазовых превращений на диффузионные и бездиффузионные.
93. Основные факторы, определяющие кинетику превращений, зависимость разности свободных энергий и коэффициента диффузии от температуры; зависимость скорости фазового превращения от температуры процесса, причина появления области мартенситных превращений.
94. Закалка. Закалка с полиморфным и без полиморфного превращения. Изменение структуры и свойств. Механизм мартенситного превращения. Кинетика мартенситных превращений. Изменение свойств сплавов при закалке на мартенсит. Влияние деформации на мартенситное превращение.
95. Старение сплавов. Распад твердого раствора по механизму зарождения и роста фаз. Основные характеристики выделений – когерентность, форма, модулированность структуры.
96. Стадии распада твердого раствора. Концентрационные кластеры, зоны Гинье-Престона, промежуточные метастабильные и стабильные фазы; линии сольвуса промежуточных фаз на диаграмме состояния при многостадийном распаде.
97. Кинетические кривые изменения прочности и пластичности при старении; влияние температуры и длительности выдержки, связь комплекса свойств с процессом формирования структуры.
98. Механизм пластической деформации, изменение дислокационного строения и структуры, возникновение наклепа.
99. Дорекристаллизационные процессы при нагреве наклепанного металла; кинетика изменения субструктуры и свойств (уравнение Аррениуса).
100. Возврат, кинетика процесса, изменение свойств при возврате; полигонизация.
101. Первичная рекристаллизация; механизм зарождения центров, кинетические кривые; зависимость температуры начала рекристаллизации от различных факторов; температура конца рекристаллизации.
102. Собирательная рекристаллизация; кинетические кривые и их математическое описание, природа процесса; влияние различных факторов на рост зерна; диаграммы рекристаллизации.

6. ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ БИЛЕТЫ



Федеральное агентство по образованию
 ГОУ ВПО "Рыбинская государственная авиационная
 технологическая академия имени П.А. Соловьева"

Кафедра: МЛС	<p align="center">Утверждаю</p> Зав. кафедрой _____ А.А.Шатульский «__» _____ 20__ г.
Дисциплина: Управление структурой и свойствами сплавов	
Преподаватель: Шаповалова М.А.	<p align="center">Экзаменационный билет</p> <p align="center">№1</p>
Шифр группы: аспирантура	

1. Фазовые превращения и их классификация.
2. Основы теории диффузии. Общие определения: диффузия и самодиффузия, гетеродиффузия, градиент концентраций и направление диффузии. Механизм диффузии: обменный, вакансионный, межузельный, краудинный механизмы перемещения атомов.



Федеральное агентство по образованию
 ГОУ ВПО "Рыбинская государственная авиационная
 технологическая академия имени П.А. Соловьева"

Кафедра: МЛС	<p align="center">Утверждаю</p> Зав. кафедрой _____ А.А.Шатульский «__» _____ 20__ г.
Дисциплина: Управление структурой и свойствами сплавов	
Преподаватель: Шаповалова М.А.	<p align="center">Экзаменационный билет</p> <p align="center">№2</p>
Шифр группы: аспирантура	

1. Состояния жидких и твердых сплавов: стабильное (равновесное), метастабильное (неравновесное), лабильное.
2. Дисперсионное упрочнение; условия образования дисперсных выделений при распаде твердого раствора; оценка количества выделений – по диаграмме состояния. Типы выделений по форме и когерентности связи с матричной кристаллической решеткой; дислокационный механизм дисперсионного упрочнения.



Кафедра: МЛС _____	Утверждаю Зав. кафедрой _____ А.А.Шатульский «__» _____ 20__ г.
Дисциплина: Управление структурой и свойствами сплавов _____	Экзаменационный билет №3
Преподаватель: Шаповалова М.А. _____	
Шифр группы: аспирантура	

1. Кристаллизация металлов и сплавов. Общие сведения. Уравнение А.Н. Колмогорова.

2. Первый закон диффузии; градиент концентраций и направление массопереноса; математическое выражение первого закона диффузии, коэффициент диффузии. Энергия активации диффузии; энергетическая схема перемещения атомов при диффузии; математическое выражение зависимости коэффициента диффузии от энергии активации и температуры.



Кафедра: МЛС _____	Утверждаю Зав. кафедрой _____ А.А.Шатульский «__» _____ 20__ г.
Дисциплина: Управление структурой и свойствами сплавов _____	Экзаменационный билет №4
Преподаватель: Шаповалова М.А. _____	
Шифр группы: аспирантура	

1. Кристаллизационная активность металлов и сплавов. Термодинамика и кинетика зародышеобразования и роста фаз.

2. Механизм пластической деформации, изменение дислокационного строения и структуры, возникновение наклепа.

Кафедра: МЛС <hr/> Дисциплина: Управление структурой и свойствами сплавов <hr/>	<p style="text-align: center;">Утверждаю</p> Зав. кафедрой _____ А.А.Шатульский «__» _____ 20__ г.
Преподаватель: Шаповалова М.А. <hr/> Шифр группы: аспирантура	<p style="text-align: center;">Экзаменационный билет</p> <p style="text-align: center;">№5</p>

1. Формирование метастабильных фаз и аморфного состояния
2. Аддитивное структурное упрочнение; упрочнение в матричных двухфазных структурах, физический механизм упрочнения. Каркасное упрочнение; формирование каркасных структур в литых сплавах; особенности поведения каркасных структур при низких и высоких температурах.



Федеральное агентство по образованию

ГОУ ВПО "Рыбинская государственная авиационная
технологическая академия имени П.А. Соловьева"

Кафедра: МЛС <hr/> Дисциплина: Управление структурой и свойствами сплавов <hr/>	<p style="text-align: center;">Утверждаю</p> Зав. кафедрой _____ А.А.Шатульский «__» _____ 20__ г.
Преподаватель: Шаповалова М.А. <hr/> Шифр группы: аспирантура	<p style="text-align: center;">Экзаменационный билет</p> <p style="text-align: center;">№6</p>

1. Режимы кристаллизации, получаемые структуры. Размер зерна при объёмной кристаллизации.
2. Первичная рекристаллизация; механизм зарождения центров, кинетические кривые; зависимость температуры начала рекристаллизации от различных факторов; температура конца рекристаллизации.



Кафедра: МЛС _____ Дисциплина: Управление структурой и свойствами сплавов _____ Преподаватель: Шаповалова М.А. _____ Шифр группы: аспирантура	Утверждаю Зав. кафедрой _____ А.А.Шатульский «__» _____ 20__ г. Экзаменационный билет №7
--	--

1. Растворное упрочнение. Физический механизм растворного упрочнения. Зависимости "состав-свойства" для неограниченных и ограниченных твердых растворах.
2. Собираетельная рекристаллизация; кинетические кривые и их математическое описание, природа процесса; влияние различных факторов на рост зерна; диаграммы рекристаллизации.



Кафедра: МЛС _____ Дисциплина: Управление структурой и свойствами сплавов _____ Преподаватель: Шаповалова М.А. _____ Шифр группы: аспирантура	Утверждаю Зав. кафедрой _____ А.А.Шатульский «__» _____ 20__ г. Экзаменационный билет №8
--	--

1. Модифицирование металлов и сплавов. Активность модификаторов.
2. Дорекристаллизационные процессы при нагреве наклепанного металла; кинетика изменения субструктуры и свойств (уравнение Аррениуса).



Кафедра: МЛС _____	Утверждаю Зав. кафедрой _____ А.А.Шатульский «__» _____ 20__ г.
Дисциплина: Управление структурой и свойствами сплавов _____	Экзаменационный билет №9
Преподаватель: Шаповалова М.А. _____	
Шифр группы: аспирантура	

1. Механизм процесса кристаллизации металлов. Моделирование размера зерна при объёмной кристаллизации.
2. Закономерности формирования неравновесных состояний – ликвация, закалка жидкого состояния, аморфизация.



Кафедра: МЛС _____	Утверждаю Зав. кафедрой _____ А.А.Шатульский «__» _____ 20__ г.
Дисциплина: Управление структурой и свойствами сплавов _____	Экзаменационный билет №10
Преподаватель: Шаповалова М.А. _____	
Шифр группы: аспирантура	

1. Особенности фазовых превращений в твёрдом состоянии (термодинамика, кинетика, мерность роста новой фазы и др.). Равновесные и неравновесные фазы и структуры. Уравнения Авраами.
2. Закалка. Закалка с полиморфным и без полиморфного превращения. Изменение структуры и свойств. Механизм мартенситного превращения. Кинетика мартенситных превращений. Изменение свойств сплавов при закалке на мартенсит. Влияние деформации на мартенситное превращение.



Кафедра: МЛС _____	Утверждаю Зав. кафедрой _____ А.А.Шатульский «__» _____ 20__ г.
Дисциплина: Управление структурой и свойствами сплавов _____	Экзаменационный билет №11
Преподаватель: Шаповалова М.А. _____	
Шифр группы: аспирантура	

1. Диаграммы изотермического фазового превращения. Механизм фазовых превращений.
2. Кинетические кривые изменения прочности и пластичности при старении; влияние температуры и длительности выдержки, связь комплекса свойств с процессом формирования структуры



Кафедра: МЛС _____	Утверждаю Зав. кафедрой _____ А.А.Шатульский «__» _____ 20__ г.
Дисциплина: Управление структурой и свойствами сплавов _____	Экзаменационный билет №12
Преподаватель: Шаповалова М.А. _____	
Шифр группы: аспирантура	

1. Современные научные методы исследования фазовых превращений
2. Влияние размерного и объемного фактора на интенсивность упрочнения при легировании; особенности изменения прочности и пластичности в твердых растворах замещения и внедрения.



Федеральное агентство по образованию

ГОУ ВПО "Рыбинская государственная авиационная

технологическая академия имени П.А. Соловьева"

Кафедра: МЛС _____	Утверждаю Зав. кафедрой _____ А.А.Шатульский «__» _____ 20__ г.
Дисциплина: Управление структурой и свойствами сплавов _____	Экзаменационный билет №13
Преподаватель: Шаповалова М.А. _____	
Шифр группы: аспирантура	

1. Основные типы фазовых равновесий и типы фаз, образующие структуру гетерогенных сплавов: эвтектическое, эвтектоидное, перитектическое, перитектоидное и монотектическое превращение; характерные структуры, образующиеся при этих превращениях.
2. Методы расчета упрочнения для однофазных и многофазных сплавов; роль универсальных уравнений регрессии; метод приведенных или эквивалентных концентраций (на примере сталей, титановых и никелевых жаропрочных сплавов)



Федеральное агентство по образованию

ГОУ ВПО "Рыбинская государственная авиационная

технологическая академия имени П.А. Соловьева"

Кафедра: МЛС _____	Утверждаю Зав. кафедрой _____ А.А.Шатульский «__» _____ 20__ г.
Дисциплина: Управление структурой и свойствами сплавов _____	Экзаменационный билет №14
Преподаватель: Шаповалова М.А. _____	
Шифр группы: аспирантура	

1. Методика оценки предельной растворимости; закон Вегарда и отклонения от него. Общая зависимость изменения свойств твердых растворов, закон Н.С.Курнакова.
2. Элементарный расчет зависимости пути диффузии от времени, закон квадратного корня.



Федеральное агентство по образованию

ГОУ ВПО "Рыбинская государственная авиационная

технологическая академия имени П.А. Соловьева"

Кафедра: МЛС _____	Утверждаю Зав. кафедрой _____ А.А.Шатульский «__» _____ 20__ г.
Дисциплина: Управление структурой и свойствами сплавов _____	Экзаменационный билет №15
Преподаватель: Шаповалова М.А. _____	
Шифр группы: аспирантура	

1. Упорядоченные твердые растворы: сущность процесса упорядочения; степень упорядочения. Изменение свойств при образовании упорядоченного строения; влияние температуры на процесс упорядочения.
2. Коагуляция фаз; изменение структуры и свойств сплавов при коагуляции фаз, роль температуры в развитии процесса коагуляции; основные закономерности развития процесса во времени.



Федеральное агентство по образованию

ГОУ ВПО "Рыбинская государственная авиационная

технологическая академия имени П.А. Соловьева"

Кафедра: МЛС _____	Утверждаю Зав. кафедрой _____ А.А.Шатульский «__» _____ 20__ г.
Дисциплина: Управление структурой и свойствами сплавов _____	Экзаменационный билет №16
Преподаватель: Шаповалова М.А. _____	
Шифр группы: аспирантура	

1. Эвтектические структуры; определение соотношения фаз в эвтектике по диаграмме состояния. Классификация эвтектик. Схемы формирования структуры матричной и каркасно-матричной эвтектики; свойства эвтектик.
2. Распределение компонентов по дендритным ячейкам; коэффициент распределения и его влияние на ликвацию в сплавах; влияние ликвации на свойства сплавов.



Федеральное агентство по образованию

ГОУ ВПО "Рыбинская государственная авиационная

технологическая академия имени П.А. Соловьева"

Кафедра: МЛС	Утверждаю
Дисциплина: Управление структурой и свойствами сплавов	Зав. кафедрой _____ А.А.Шатульский
Преподаватель: Шаповалова М.А.	«__» _____ 20__ г.
Шифр группы: аспирантура	Экзаменационный билет
	№17

1. Пластинчатые структуры; образование структуры при эвтектоидных превращениях; кинетика роста пластинчатой структуры, формирование колоний и "пакетов"; способы оценки размеров структурных составляющих.
2. Старение сплавов. Распад твердого раствора по механизму зарождения и роста фаз. Основные характеристики выделений – когерентность, форма, модулированность структуры.



Федеральное агентство по образованию

ГОУ ВПО "Рыбинская государственная авиационная

технологическая академия имени П.А. Соловьева"

Кафедра: МЛС	Утверждаю
Дисциплина: Управление структурой и свойствами сплавов	Зав. кафедрой _____ А.А.Шатульский
Преподаватель: Шаповалова М.А.	«__» _____ 20__ г.
Шифр группы: аспирантура	Экзаменационный билет
	№18

1. Особенности строения литой структуры, дендритная ячейка и макрозерно. Деформированная структура, текстура деформации и текстура рекристаллизации.
2. Рост зерна в сплавах; физический механизм роста зерна; основные закономерности влияния температуры и времени на скорость роста зерна, кинетика изменения структуры сплава; изменение свойств сплава при росте зерна.



Федеральное агентство по образованию

ГОУ ВПО "Рыбинская государственная авиационная

технологическая академия имени П.А. Соловьева"

Кафедра: МЛС _____	Утверждаю Зав. кафедрой _____ А.А.Шатульский «__» _____ 20__ г.
Дисциплина: Управление структурой и свойствами сплавов _____	Экзаменационный билет №19
Преподаватель: Шаповалова М.А. _____	
Шифр группы: аспирантура	

1. Строение границ зерен; дислокационное строение границы; энергетическое состояние границ зерен; особенности поведения границ зерен при низких и высоких температурах. Практика измерения размеров зерна и структурных составляющих.

2. Неравновесная кристаллизация сплавов и внутрикристаллическая ликвация; анализ по диаграмме состояния процесса образования неоднородности химического состава при затвердевании; неравновесный солидус и неравновесные эвтектики в сплавах.



Федеральное агентство по образованию

ГОУ ВПО "Рыбинская государственная авиационная

технологическая академия имени П.А. Соловьева"

Кафедра: МЛС _____	Утверждаю Зав. кафедрой _____ А.А.Шатульский «__» _____ 20__ г.
Дисциплина: Управление структурой и свойствами сплавов _____	Экзаменационный билет №20
Преподаватель: Шаповалова М.А. _____	
Шифр группы: аспирантура	

1. Математические модели для оценки свойств сплавов по размерам структурных составляющих.

2. Второй закон диффузии; общее уравнение и его решение; безразмерный параметр диффузии. Распределение элементов при диффузии из точечного источника в зависимости от времени; зависимость толщины диффузионного слоя от времени процесса.