

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)**

Кафедра технологии функциональных и конструкционных материалов

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**по самостоятельной работе студентов ВлГУ,**  
**изучающих дисциплину «Материаловедение»**

для бакалавров технических направлений подготовки

Составитель:  
Л.В. Картонова

Владимир 2022

УДК 620.22

**Методические** указания по самостоятельной работе студентов ВлГУ, изучающих дисциплину «Материаловедение»: для бакалавров технических направлений подготовки / Сост.: Л.В.Картонова. Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир, 2022 – 69 с.

Содержат методическое изложение разделов дисциплины «Материаловедение», подлежащих изучению бакалаврами технических направлений подготовки, контрольные вопросы для самопроверки. Приведены варианты заданий для выполнения контрольной работы, включающие вопросы и задачи по основным разделам курса. Предназначены для бакалавров технических направлений подготовки (12.03.01, 12.03.05, 13.03.02, 13.03.03, 15.03.04, 15.03.05, 15.03.06, 22.03.01, 23.03.01, 23.03.03, 27.03.01, 27.03.02, 27.03.05, 28.03.02, 29.03.04).

Табл. 2. Ил. 10. Библиогр.: 30 назв.

УДК 620.22

## ВВЕДЕНИЕ

**Материаловедение** – это наука, изучающая и устанавливающая взаимосвязь между составом, строением и свойствами современных машиностроительных материалов, а также о методах изменения этих свойств.

Ускорение развития машиностроения во многом зависит от успехов в создании и использовании эффективных и ресурсосберегающих материалов и технологий. Поэтому выпускники должны обладать достаточными знаниями для рационального выбора материала, метода его упрочнения и снижения металлоемкости изделия при одновременном достижении наиболее высокой технико-экономической эффективности. Это основная задача курса «Материаловедение».

В результате освоения данной дисциплины у студентов формируются основные общекультурные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции, отвечающие требованиям ФГОС ВО, и обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

**знать:** основные группы и классы современных материалов, их свойства и области применения; физическую сущность явлений, происходящих в материалах в условиях производства и эксплуатации изделий из них под воздействием внешних факторов (нагрева, охлаждения и др.), их влияния на структуру, а структуры – на свойства современных металлических и неметаллических материалов;

**уметь:** анализировать фазовые превращения при нагревании и охлаждении сплавов, пользуясь диаграммами состояния двойных систем; работать на световом микроскопе; выявлять на шлифах типичные структурные составляющие; проводить металлографический анализ промышленных сталей и чугунов, цветных металлов и сплавов; определять твердость и механические свойства при статических и динамических испытаниях; анализировать результаты этих испытаний для сравнительной оценки сплавов и неметаллических материалов;

принимать технически обоснованные решения по выбору материалов; оценивать и прогнозировать поведение материала и причин отказов продукции под воздействием на них различных факторов; назначать соответствующую обработку для получения заданных структур и свойств обеспечивающих надежность продукции;

**владеть:** практическими навыками исследования материалов; навыками выбора материала и назначения его обработки.

Методические указания предназначены для бакалавров технических направлений подготовки:

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»;

13.03.03 «Энергетическое машиностроение»;

15.03.06 «Мехатроника и робототехника»;

15.03.04 «Автоматизация производственных процессов и производств»;

15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»;

22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»;

23.03.01 «Технология транспортных процессов»;

27.03.05 «Инноватика»;

28.03.02 «Наноинженерия»;

29.03.04 «Технология художественной обработки материалов»;

могут быть использованы при изучении дисциплин «Материаловедение и технология материалов», «Материаловедение и технология конструкционных материалов» бакалаврами следующих направлений подготовки:

12.03.01 «Приборостроение»;

12.03.05 «Лазерная техника и лазерные технологии»;

23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»;

27.03.01 «Стандартизация и метрология»;

27.03.02 «Управление качеством» и др.

Формируемые компетенции указаны в рабочих программах.

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

Для успешного освоения дисциплины «Материаловедение» необходимо изучить разделы курса, научиться пользоваться рекомендуемой литературой и различными справочными изданиями.

Данное издание разработано таким образом, что им могли пользоваться бакалавры различных направлений подготовки, поэтому отсутствует нумерация тем и разделов. Название тем, подлежащих самостоятельному изучению, указывается в п. 6 рабочей программы дисциплины.

Необходимо иметь четкое представление, что все материалы обычно делят на металлические и неметаллические. Несмотря на то, что в народном хозяйстве используются различные материалы, основными конструкционными материалами являются металлические сплавы.

## **ЧАСТЬ I. МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ**

### **КЛАССИФИКАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ. КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ**

Как указывалось выше, все материалы обычно делят на металлические и неметаллические. В химии под металлами понимают определенную группу элементов, расположенную в левой части Периодической таблицы Д.И. Менделеева. Все элементы, расположенные левее галлия, индия и таллия – металлы, а правее мышьяка, сурьмы и висмута – неметаллами.

Необходимо отчетливо представлять, что металлы имеют кристаллическое строение. Рассмотрите основные типы кристаллических решеток. Обратите внимание на то, что свойства реальных кристаллов определяются известными несовершенствами кристаллического строения. В связи с этим необходимо разобраться в видах несовершенств, и особенно в строении дислокаций (линейных несовер-

шенств), причинах их легкого перемещения в кристаллической решетке и влиянии на механические свойства.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Каковы характерные свойства металлов?
2. Что такое элементарная ячейка?
3. Основные кристаллические решетки металлов.
4. Что такое параметры кристаллической решетки, плотность упаковки и координационное число?
5. Основные дефекты кристаллического строения.
6. Каково строение краевых и винтовых дислокаций?

## **КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ МАТЕРИАЛОВ**

Современная промышленность предъявляет к материалам самые разнообразные требования, зависящие от условий эксплуатации. Поэтому требуется детальное изучение свойств и структуры материала, а также определение дефектов структуры и свойств материала в процессе его получения, обработки и эксплуатации.

Следует иметь в виду, что это достигается применением различных методов исследования свойств и структуры, дающих качественные и количественные оценки строения и поведения материалов в процессе производства, и эксплуатации. Данные методы дополняют и уточняют друг друга.

Необходимо отчетливо представлять, что именно структурой в конечном итоге определяются свойства готовых изделий, их надежность и работоспособность. Ведущую роль при этом играет непосредственное изучение структуры, и именно структурный анализ лежит в основе оценки качества.

*Макроскопический анализ* заключается в определении строения металла (макростроения) невооруженным глазом или через лупу при небольших увеличениях (до 30 раз).

Следует отметить, что существующие технологические процессы в металлургии и металлообработке таковы, что в получаемых металлах могут образовываться опасные различные дефекты (трещины, раковины, посторонние включения, рыхлости и др.).

Обратите внимание на то, что для контроля качества металла с целью выявления дефектов без разрушения целостности изделия разработаны различные методы дефектоскопии:

- для обнаружения поверхностных дефектов – магнитный, электромагнитный, капиллярный, люминесцентный;
- для обнаружения внутренних дефектов – ультразвуковой, радиационный (гамма – дефектоскопия), рентгеновский методы, которые позволяют не только обнаружить наличие дефектов, но и установить их форму и размеры.

Изучение внутреннего строения (структуры) металлов и сплавов начинается с помощью наиболее простого и широко распространенного метода – световой микроскопии.

Изучение строения металлов и сплавов с помощью металлографического микроскопа (при увеличении в 50 – 2000 раз) называется *микроскопическим анализом (микроанализом)*.

Следует иметь в виду, что оптический микроскоп не позволяет обнаружить кристаллы любого размера. Для изучения более тонких деталей структуры (мельче 0,1 мкм) применяют *методы электронной микроскопии*, основанные на взаимодействии электронов с твердым телом. К таким методам относятся: метод просвечивающей электронной микроскопии и метод растровой электронной микроскопии.

Один из наиболее распространенных методов изучения строения металлов – *рентгеноструктурный анализ* – современный метод исследования атомно-кристаллической структуры материалов рентгеновскими лучами. Наибольшую информацию рентгеноструктурный анализ дает при исследовании кристаллов. Он основан на отражении рентгеновских лучей от атомов кристаллической решетки и интерференции рентгеновских лучей, т. е. их способности усиливать или ослаблять (гасить) друг друга.

С целью обеспечения рационального выбора материала для изготовления деталей необходимо учитывать физические, химические, механические, технологические и эксплуатационные свойства.

Основное назначение конструкционного материала – обеспечение работоспособности технического устройства, в котором он применяется. Соответствие свойств материала условиям эксплуатации конкретной детали в реальных производственных условиях оценивается путем определения его механических, физических, химических, технологических и эксплуатационных свойств. Изучите методы определения механических свойств и физический смысл определяемых при этом характеристик. Обратите внимание на методы определения твердости металлов: методы вдавливания (Бринелля, Роквелла, Виккерса, микротвердости), методы царапания (метод Мооса), методы определения твердости по отскоку наконечника (метод Шора). Обратите внимание на важность испытания образцов с надрезами, позволяющими приблизить условия испытаний к условиям эксплуатации материала.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Каковы цели и задачи макроанализа?
2. Виды макроскопических дефектов и их влияние на свойства металла.
3. Виды изломов и их особенности связь со свойствами металла. Особенности усталостного излома.
4. Методы выявления поверхностных дефектов.
5. Методы выявления внутренних дефектов.
6. Каковы задачи и область применения микроструктурного анализа?
7. На каком физическом явлении основан рентгеноструктурный анализ?
8. Что понимают под механическими свойствами?
9. Что такое твердость? Какими методами ее измеряют?
10. Что такое ударная вязкость?

11. Какие свойства относятся к технологическим свойствам?
12. Что понимают под физическими свойствами?
13. Какие свойства относятся к эксплуатационным свойствам?

### **Пластическая деформация и влияние нагрева на строение и свойства деформированного металла (рекристаллизационные процессы)**

Рассмотрите виды напряжений, а также физическую природу деформации. Особое внимание уделите механизму пластической деформации, ее влиянию на плотность дислокаций, на субмикро- и микроструктуру, на свойства. Изучите физическую природу разрушения, рассмотрите сущность наклепа и его использование на практике. Рассмотрите сущность и назначение дробеструйного и центробежно-шарикового поверхностного наклепа и его влияния на эксплуатационные свойства деталей машин.

Изучите сущность рекристаллизационных процессов: возврата, полигонизации, первичной рекристаллизации, собирательной рекристаллизации, протекающих при нагреве деформированного металла. Необходимо знать, как изменяются при этом структура, а так же физические и механические свойства. Уметь назначить режим рекристаллизационного отжига. Иметь четкое представление об его практическом использовании.

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Виды напряжений.
2. Сущность упругой и пластической деформаций.
3. Влияние степени деформации на свойства материалов.
4. Как изменяется плотность дислокаций при пластической деформации?
5. Сущность наклепа. Практическое использование наклепа.
6. Как изменяются свойства изделий при дробеструйной обработке?

7. Как влияет поверхностное упрочнение на эксплуатационные характеристики изделий?
8. Как изменяются физические и механические свойства при нагреве деформированного тела?
9. Сущность процесса возврата.
10. Что такое полигонизация?
11. В чем сущность процессов первичной и собирательной рекристаллизации? Механизмы роста зерна.
12. От чего зависит температура рекристаллизации? Как влияет состав сплава на температуру рекристаллизации?
13. Что такое критическая степень деформации?
14. Какого назначения рекристаллизационного отжига?
15. В чем различие между холодной и горячей пластической деформациями?

## **Кристаллизация**

Термодинамические причины фазовых превращений являются одним из частных случаев общего закона природы: стремление любой системы занять более устойчивое положение, то есть к состоянию с наименьшим запасом свободной энергии. Разберитесь в теоретических основах процесса кристаллизации, который может быть рассмотрен как протекание двух элементарных процессов: зарождения и роста кристаллов. Обратите внимание на определяющее влияние степени переохлаждения. Установите взаимосвязь между величиной зерна, скоростью зарождения, скоростью роста кристаллов и степенью переохлаждения.

При изучении процесса кристаллизации необходимо иметь в виду решающее значение реальной среды в формировании структуры литого металла, а так же на возможность искусственного воздействия на строение металлов (модифицированием).

### *Вопросы для самопроверки*

1. Агрегатные состояния веществ.
2. Термодинамические условия фазового превращения.
3. В чем физическая сущность процесса кристаллизации?
4. Что такое переохлаждение?
5. Что представляет собой кривая охлаждения? Почему на кривой охлаждения наблюдается горизонтальный участок?
6. Как влияет степень переохлаждения на число центров кристаллизации, скорость роста кристаллов и размер зерна?
7. Образование дендритной структуры.
8. Влияние реальной среды на процесс кристаллизации.
9. Строение кристаллического слитка.
10. В чем сущность модифицирования?

### **Теория сплавов**

Необходимо иметь четкое представление о строении сплавов в твердом состоянии. Уяснить, что такое механическая смесь, твердый раствор (внедрения и замещения), химическое соединение. Наглядное представление о состоянии сплава в зависимости от его состава (концентрации) и температуре дают диаграммы состояния. Уметь определять число степеней свободы по правилу фаз (закон Гиббса). Необходимо усвоить методику построения диаграмм состояния.

Изучить основные виды диаграмм состояния. Уметь применять правило отрезков (для определения доли каждой фазы в сплаве). С помощью правила Курнакова уметь устанавливать связь между составом, строением и свойствами сплава.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Что такое компонент, число степеней свободы, фаза, физико-химическая система?
2. Правило фаз.

3. Что такое диаграмма состояния?
4. Построение диаграмм состояния.
5. Что такое механическая смесь?
6. Что представляют собой твердые растворы внедрения и замещения?
7. Что такое химическое соединение?
8. Что представляют собой электронные соединения? Как определяется электронная концентрация?
9. Начертите и проанализируйте диаграмму состояния для случая полной нерастворимости компонентов в твердом состоянии.
10. Начертите и проанализируйте диаграмму для случая полной растворимости.
11. Начертите и проанализируйте диаграмму состояния для случая с ограниченной растворимостью.
12. В чем различие между эвтектическим и эвтектоидным превращениями?
13. Каковы особенности перитектического превращения?
14. Правило Курнакова.

### **Железо и его сплавы**

Рассмотрите полиморфизм железа. Рассмотрите диаграмму железо-цементит, изучив все фазы и структурные составляющие этой системы. Необходимо уяснить, что такое феррит, аустенит, перлит, цементит и ледебурит, и изучить основные превращения, происходящие в сплавах при температурах  $A_1$ ,  $A_3$  и  $A_{ст}$ , уметь построить с помощью правила фаз кривые охлаждения (или нагрева) для любого сплава; четко разбираться в классификации железоуглеродистых сплавов и уяснить, что различие между тремя классами (техническое железо, сталь, чугун) не является формальным (по содержанию углерода). Разные классы сплавов принципиально различны по структуре и свойствам. Необходимо знать, что технические железоуглеродистые сплавы состоят не только из железа и углерода, но обязательно со-

держат постоянные примеси, попадающие в сплав в результате предыдущих операций при выплавке.

Разберите диаграмму железо - графит, которая по графическому начертанию почти не отличается от диаграммы железо-цементит, что облегчает запоминание. Количественные изменения в положении линий диаграммы касаются смещения эвтектической и эвтектоидной линий. Качественное изменение заключается в замене в структуре во всех случаях цементита графитом.

Уясните влияние углерода на свойства стали, обратите внимание на то, что не производят стали с содержанием углерода более 1,3%, в виду их высокой хрупкости. Изучите влияние постоянных примесей на свойства стали. Рассмотрите классификацию углеродистых сталей, обратите внимание на содержание серы и фосфора (0,08-0,3%) в автоматных сталях (для улучшения обрабатываемости стали).

Уясните влияние постоянных примесей на строение чугуна. Обратите внимание на то, что углерод в чугунах может быть расположен в связанном виде - в виде цементита (белый чугун) и в свободном состоянии - в виде графита (серый, ковкий и высокопрочный чугуны), а свойства чугунов находятся в прямой зависимости от формы графитовых включений. Разберитесь в различии металлической основы серых чугунов разных классов. Запомните основные механические свойства и назначение чугунов разных классов, и их маркировку. Обратите внимание на способы получения ковких и высокопрочных чугунов. Изучите физическую сущность графитизации.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Поясните явление полиморфизма применительно к железу.
2. Что такое феррит, аустенит, перлит, цементит и ледебурит? Назовите их механические характеристики.
3. Объясните различие между техническим железом и чугуном.
4. Какие превращения происходят в сплавах при температурах  $A_1$ ,  $A_3$ , и  $A_{ст}$ ?

5. Постройте с помощью правила фаз кривую охлаждения для стали с 0,8 % С и для чугуна с 4,3 % С.
6. Каковы структуры и свойства технического железа, стали и белого чугуна?
7. Как классифицируют по структуре стали и белые чугуны?
8. Что такое ледебурит? Чем отличается строение ледебурита при комнатной температуре и при температуре 750<sup>0</sup>С?
9. Какие легирующие элементы способствуют графитизации?
10. Какие легирующие элементы препятствуют графитизации?
11. В чем отличие белого чугуна от серого чугуна?
12. Сравните по структуре и механическим свойствам серый, ковкий и высокопрочный чугуны. Как влияет форма графита на свойства чугуна?
13. Классификация и маркировка серых чугунов.
14. Как маркируется ковкий чугун? Как получают ковкий чугун? Строение, свойства и назначение ковкого чугуна.
15. Как получают высокопрочный чугун? Строение, свойства и назначение высокопрочного чугуна.

### **Теория термической обработки стали**

Теория и практика термической обработки стали - главные вопросы металловедения. Термическая обработка - это один из главных способов влияния на строение, а, следовательно, и на свойства сплавов.

Рассмотрите классификацию видов термической обработки. Особое внимание уделите четырем основным превращениям: перлита в аустенит, аустенита в перлит, аустенита в мартенсит, мартенсита в феррито-карбидную смесь (превращение при отпуске). Изучите превращения переохлажденного аустенита, разберите диаграмму изотермического распада, устанавливающую связь между температурными условиями превращения, интенсивностью распада и строением продуктов распада. Обратите внимание на то, что перлит, сорбит, троостит имеют одну природу (это феррито-цементитная смесь). Разбери-

тесь в механике и особенностях перлитного, промежуточного (бейнитного) и мартенситного превращений, происходящих соответственно в верхней, средней и нижней температурных областях. Уясните строение и свойства перлита, сорбита, троостита, бейнита, мартенсита, разберитесь в различиях и сходстве одноименных структур, получаемых при распаде аустенита и отпуске закаленной стали.

Изучите влияние легирующих элементов на кинематику и характер превращения аустенита в перлитной, промежуточной и мартенситной областях, а также влияние легирующих элементов на превращение при отпуске.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Поясните механизм образования аустенита.
2. Что такое: начальное зерно, наследственное зерно и действительное зерно?
3. Сравните наследственно мелкозернистую и наследственно крупнозернистую структуры. Какие факторы сдерживают рост зерна аустенита?
4. Каковы механизмы и температурные области образования структур перлитного типа (перлита, сорбита, троостита)? Чем отличаются перлит, сорбит, троостит?
5. Поясните механизм промежуточного (бейнитного) превращения. Сравните верхний и нижний бейнит.
6. Что такое мартенсит? Сущность и особенности мартенситного превращения.
7. Сущность превращений при отпуске. Как изменяются структура и свойства стали в связи с коагуляцией карбидной фазы при отпуске?
8. Чем отличаются отпускные структуры от одноименных структур, образующихся при распаде переохлажденного аустенита?
9. Как влияют легирующие элементы на перлитное превращение?

10. Как протекает промежуточное превращение в легированных сталях?
11. Как влияют легирующие элементы на мартенситное превращение?
12. Как влияют легирующие элементы на превращения при отпуске?
13. Сущность явления отпускной хрупкости. Устранение отпускной хрупкости второго рода.

### **Практика термической обработки**

Изучите влияние скорости охлаждения на свойства стали, уясните сущность процессов отжига, нормализации, закалки, обработки холодом, отпуска. Обратите особое внимание на разновидности режимов термической обработки и их назначения, а также на химическое действие нагревающей среды. Рассмотрите различные закалочные среды и их характеристики.

Уясните различие между закаливаемостью и прокаливаемостью стали, а также факторы, влияющие на эти характеристики. Обратите внимание, что главное назначение легирования является в увеличении прокаливаемости (критического диаметра прокаливаемости).

Различные виды поверхностной закалки позволяют получить особое сочетание свойств поверхностного слоя и сердцевины, что приводит к повышению эксплуатационных характеристик деталей. При рассмотрении индукционной закалки уясните связь между глубиной проникновения и частотой тока. Изучите поверхностную закалку с газопламенным нагревом и при нагреве лазером, рассмотрите недостатки и преимущества лазерного нагрева.

Уясните сущность способа получения высокопрочных деталей - термомеханической обработке.

Изучите дефекты, возникающие при закалке, и причины их возникновения.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Виды основных процессов термической обработки.
2. Какие разновидности процессов отжига вы знаете, их назначение?
3. Какие разновидности закалки вы знаете, их назначение.
4. Обработка холодом.
5. Виды отпусков, их назначение.
6. Дайте определение закаливаемости.
7. Дайте определение прокаливаемости. Какие факторы влияют на прокаливаемость?
8. Какие охлаждающие среды вы знаете?
9. Сущность и особенности поверхностной закалки. Как влияет поверхностная закалка на эксплуатационные характеристики изделия?
10. Каковы преимущества поверхностной индукционной закалки?
11. Охарактеризуйте недостатки и преимущества поверхностной закалки при нагреве лазером.
12. Сущность и особенности термомеханической обработки.
13. Сравните низкотемпературную и высокотемпературную термомеханические обработки.
14. Приведите примеры технологических приемов уменьшения деформации при термической обработке.

### **Химико-термическая обработка стали**

Процесс химико-термической обработки состоит из выделения атомарного насыщающего вещества внешней средой, адсорбции этих атомов поверхностью металла и диффузии их внутрь металла. В большинстве случаев насыщение может происходить из твердой, жидкой и газообразной сред. Следовательно, нужно знать наиболее удачные варианты насыщения для каждого метода химико-

термической обработки и конечные результаты (поверхностное упрочнение и изменение физико-химических свойств).

Разберитесь в технологии проведения отдельных видов химико-термической обработки. Уясните преимущества и области использования цементации, нитроцементации, азотирования, цианирования, борирования, силицирования и различных видов диффузионной металлизации (алитирования, хромирования).

### *Вопросы для самопроверки*

1. В чем заключаются физические основы химико-термической обработки?
2. Сущность процесса цементации.
3. Цементация в твердом карбюризаторе.
4. Газовая цементация.
5. Назначение и режим термической обработки после цементации.
6. Сущность процесса нитроцементации.
7. Сущность процесса азотирования.
8. Каковы свойства цементованных, нитроцементованных и азотированных изделий?
9. Сущность и назначение процесса цианирования.
10. Сущность и назначение борирования.
11. Сущность и назначения процесса силицирования.
12. Для каких целей проводят диффузионное насыщение металлами?
13. Сущность и назначение процесса алитирования.
14. Сущность и назначение процесса хромирования.

### **Конструкционные стали и сплавы**

Рассмотрите углеродистые конструкционные стали (обыкновенного качества, качественные, высококачественные и автоматные).

Уясните способы классификации (по структуре в нормализованном состоянии и по назначению).

Разберитесь во влиянии легирующих элементов на изменение структуры и свойства стали и классификации легированных сталей по назначению. Уясните основные принципы выбора для различного назначения цементируемых, улучшаемых, высокопрочных, шарикоподшипниковых, рессорно-пружинных, износостойких, нержавеющей, жаропрочных и других сталей. При изучении конструкционных легированных сталей обратите особое внимание на технологические особенности термической обработки легированных сталей различных групп.

При изучении жаропрочных сталей особое внимание уделите на особенности поведения металла в условиях нагружения при повышенных температурах. Изучите сущность явления ползучести и основные характеристики жаропрочности (предел длительной прочности, предел ползучести).

Уясните принципы маркировки стали, научитесь по маркировке определять состав и особенности данной стали. В качестве примера возьмите две-три марки стали каждой группы, расшифруйте состав, назначьте режим термической обработки, опишите структуру, свойства и область применения.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Как классифицируются углеродистые стали по структуре в равновесном состоянии?
2. Какие требования предъявляются к сталям обыкновенного качества, к качественным сталям и высококачественным сталям?
3. Какие требования предъявляются к автоматным сталям?
4. Как влияют легирующие элементы на свойства сталей?
5. Как классифицируются легированные стали по назначению?
6. Как классифицируются конструкционные стали по технологии термической обработки?

7. Какие требования предъявляются к цементируемым сталям? Чем определяется выбор марки цементируемой стали для изделий различного назначения?
8. Какова термическая обработка цементируемых деталей?
9. Какие требования предъявляются к улучшаемым сталям? Какова термическая обработка улучшаемых сталей?
10. Какие требования предъявляются к высокопрочным сталям?
11. Каковы особенности мартенситностареющих сталей?
12. Каковы особенности высокопрочных сталей с высокой пластичностью (ТРИП- или ПНП-сталей)?
13. Какие требования предъявляются к шарикоподшипниковым сталям? Термическая обработка шарикоподшипниковых сталей?
14. Какие требования предъявляются к рессорно-пружинным сталям? Приведите примеры марок стали для изготовления рессор и пружин, работающих в различных условиях.
15. Какие требования предъявляются к износостойким сталям? Термическая обработка износостойких сталей.
16. Какие требования предъявляются к нержавеющей сталям? Состав, свойства, термическая обработка, назначение нержавеющей сталей.
17. Какие требования предъявляют к жаропрочным сталям?
18. Что такое окалиностойкость?
19. В чем сущность явления ползучести? Объясните физический смысл предела ползучести и предела длительной прочности.
20. Перечислите дефекты легированных сталей.
21. Расшифруйте химический состав стали марок: 60, 18ХГТ, 60С2, ШХ9, Г13, 12Х2Н4А, 5ХНМ, 40ХНМ, 12Х189Н9Т.
22. Какие требования предъявляются к строительным сталям?

### **Инструментальные стали**

Изучите классификацию инструментальных сталей в зависимости от применения инструмента, рассмотрите основные эксплуатационные свойства инструмента каждой группы. Особое внимание уде-

лите быстрорежущим сталям и особенности их термической обработки. Уясните, что для устранения остаточного аустенита после закалки проводят трехкратный высокий отпуск или обработку холодом. Рассмотрите твердые сплавы и их особенности.

Обратите внимание на условия работы штампов для деформирования металла в холодном и горячем состояниях, так как от этого зависит выбор марки стали и последующей термической обработки.

Усвойте принципы маркировки инструментальных сталей, научитесь по маркировке определять состав и особенности данной стали. В качестве примера возьмите две-три марки стали каждой группы, расшифруйте состав, назначьте режим термической обработки, опишите структуру, свойства и область применения.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Как классифицируются инструментальные стали?
2. Какие требования предъявляются для режущего инструмента? Приведите примеры углеродистых и легированных сталей, используемых для режущего инструмента.
3. Какие требования предъявляются к быстрорежущим сталям? Термическая обработка быстрорежущих сталей.
4. Какие требования предъявляются к штамповым сталям для деформирования металла в холодном состоянии?
5. Какие требования предъявляются к штамповым сталям для деформирования металла в горячем состоянии?
6. Что такое твердые сплавы?
7. Приведите примеры вольфрамовых, титановольфрамовых и титанотанталовольфрамовых твердых сплавов.
8. Какие требования предъявляются к сталям для измерительного инструмента? Укажите их состав, структуру, свойства, термическую обработку.

## Специальные сплавы

В данном разделе изучают стали, обладающие особыми физическими свойствами: с особыми магнитными свойствами, с особыми электрическими свойствами, с особенностями теплового расширения, а так же тугоплавкие металлы и их сплавы.

Рассмотрите требования, предъявляемые к каждой группе сплавов, и их назначение. Укажите две-три марки стали каждой группы, опишите состав, рассмотрите возможную упрочняющую обработку, изучите происходящие при этом структурные превращения, охарактеризуйте получаемую структуру и свойства.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Как классифицируются магнитные стали и сплавы?
2. Какие требования предъявляются к магнитотвердым материалам? Укажите их состав, свойства и назначение.
3. Какие требования предъявляются к магнитомягким материалам? Укажите их состав, свойства и назначение.
4. Приведите примеры немагнитных материалов. Укажите их состав, свойства и назначение.
5. Какие требования предъявляются к электротехническим сталям и сплавам? Укажите их состав, свойства и назначение.
6. Приведите примеры сплавов с особыми тепловыми свойствами. Укажите их состав, свойства и назначение.
7. Приведите примеры сплавов с особыми упругими свойствами. Укажите их состав, свойства и назначение.
8. Приведите примеры тугоплавких металлов и сплавов.
9. Укажите их состав, структуру, возможную термическую обработку, свойства и назначение.
10. Что представляют собой металлические стекла, аморфные тела? Получение аморфных сплавов.

## **Медь и ее сплавы**

Изучите классификацию медных сплавов и уясните маркировку, состав, структуру, свойства и область применения разных групп медных сплавов.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Влияние примесей на свойства чистой меди.
2. Как классифицируются медные сплавы?
3. Какие сплавы относятся к латуням? Их маркировка и состав.
4. Область применения латуней.
5. Назовите структуру, состав, свойства и область применения свинцовистой, бериллиевой, кадмиевой, алюминиевой бронз.
6. Приведите примеры медно-никелевых сплавов. Их состав и область применения.
7. Объясните механизм упрочнения бериллиевой бронзы в результате термической обработки.

## **Алюминий и его сплавы**

Рассмотрите классификацию алюминиевых сплавов и обоснуйте технологический способ изготовления изделий из сплавов каждой группы. Разберитесь в основах теории термической обработки алюминиевых деформируемых сплавов. Уясните, что дуралюмин после закалки становится мягким и пластичным (разупрочняется), а упрочнение дуралюмина достигается старением (естественным и искусственным).

Обоснуйте выбор способа упрочнения деформируемых и литейных сплавов.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Свойства и область применения алюминия.

2. Как классифицируются алюминиевые сплавы?
3. Назовите литейные алюминиевые сплавы. Приведите примеры их марки, состав, обработку, свойства.
4. Назначение модифицирования силуминов. Сравните структуру и свойства сплава АК12 (АЛ2) до и после модифицирования.
5. Какие алюминиевые сплавы относятся к деформируемым?
6. Какие сплавы упрочняются путем термической обработки?
7. В чем сущность старения? Сравните результаты естественного и искусственного старения дуралюмина.
8. Назовите жаропрочные алюминиевые сплавы. Укажите предельные рабочие температуры, их использование.

### **Титан и его сплавы**

Обратите внимание на основные преимущества титановых сплавов, связанные с их высокой прочностью. Рассмотрите влияние легирования на полиморфные превращения. Уясните термическую обработку титановых сплавов.

Рассмотрите классификацию титановых сплавов.

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Свойства и применение титана.
2. Как влияют легирующие элементы на полиморфные превращения титана?
3. Какие легирующие элементы являются  $\alpha$  - стабилизаторами?
4. Какие легирующие элементы являются  $\beta$ -стабилизаторами?
5. Назовите нейтральные для полиморфного превращения элементы.
6. Упрочнение титановых сплавов в результате термической обработки.

## **Магний и его сплавы**

Рассмотрите классификацию магниевых сплавов. Разберитесь с их возможной термической обработкой.

Обоснуйте выбор способа упрочнения деформируемых и литейных сплавов.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Свойства и применение магния.
2. Как классифицируются магниевые сплавы?
3. Назовите марки, состав, обработку, свойства и назначение различных сплавов на основе магния.

## **ЧАСТЬ II. НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ**

### **Полимерные материалы**

При изучении неметаллических материалов необходимо прежде всего усвоить, что в основе неметаллических материалов лежат полимеры. Обратите внимание на особенности строения полимеров, которые определяют их механические и физико-механические свойства. Рассмотрите классификацию полимеров с учетом особенностей их состава и области применения.

Рассматривая пластические массы, необходимо понять, что это искусственные материалы, получаемые на основе органических полимерных связывающих веществ, которые являются обязательными компонентами пластмасс.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Что лежит в основе классификации полимеров?
2. Особенности свойств полимеров.

3. Какие вы знаете наполнители пластмасс?
4. В чем преимущества пластмасс по сравнению с металлическими материалами?
5. Перечислите недостатки пластмасс.
6. Охарактеризуйте свойства и область применения термопластических пластмасс.
7. Охарактеризуйте свойства и область применения терморезистивных пластмасс.

### **Резиновые материалы**

Необходимо представлять, что технический материал резина отличается от других материалов высокими эластичными свойствами, что связано со свойствами самой резины - каучука. Изучите состав, способы получения резины и влияния различных добавок на ее свойства. Рассмотрите влияние порошковых и органических наполнителей на свойства резины, изучите физико-механические свойства и область применения резин различных марок.

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Что представляет собой резина? Состав и классификация резин.
2. Назначение отдельных компонентов (ингредиентов).
3. В чем сущность процесса вулканизации; как изменяются свойства резины после вулканизации?
4. Опишите состав, свойства и применение резин общего назначения.
5. Опишите состав, свойства и применение резин специального назначения.

## Неорганические материалы

К неорганическим материалам относятся минеральное стекло, ситаллы, керамика и другие. Поскольку большинство неорганических материалов содержит различные соединения кремния с другими элементами, эти материалы получили общее название силикатных материалов. Обратите внимание на внутреннее строение неорганического стекла. Уясните сущность стеклообразного состояния, как разновидности аморфного состояния вещества. Изучите изменение свойств стекла в зависимости от состава. Рассмотрите стеклокристаллические материалы (ситаллы) и их отличие от стекла минерального, изучите причины образования кристаллической структуры ситаллов.

Изучите химический и фазовый состав технической керамики, ее свойства и области применения.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Опишите неорганическое техническое стекло, назовите его состав, разновидности, свойства и применение.
2. Какими способами повышают качество стекла?
3. Что такое ситаллы, укажите способы их получения, разновидности, свойства и применение?
4. Что представляет собой техническая керамика, ее разновидности?
5. Назовите представителей керамики на основе чистых оксидов. Дайте сравнительную оценку свойств.

## **ЧАСТЬ III. КОМПОЗИЦИОННЫЕ И НАНОСТРУКТУРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

### **Композиционные материалы**

При изучении композиционного материала обратите внимание на принципиальное отличие композиционного материала, заключающееся в сочетании разнородных материалов с четкой границей раздела между ними. В связи с тем, что композит обладает свойствами, которыми не может обладать ни один из его компонентов по отдельности, такие материалы становятся весьма перспективными в различных областях техники. Изучите свойства композитов в зависимости от вида матрицы и формы, размеров и взаимного расположения наполнителя. Уясните возможность применения композитов в качестве жаропрочных материалов и способы повышения их жаропрочности.

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Что представляет собой композиционный материал?
2. Классификация композитов в зависимости от формы и размеров матрицы.
3. Классификация композитов по виду матрицы.
4. От чего зависят механические свойства композитов?
5. Дисперсно-упрочненные композиционные материалы.
6. Волокнистые композиционные материалы.
7. Композиционные материалы на неметаллической основе.
8. Композиционные материалы на металлической основе.

### **Наноструктурные материалы**

К наноструктурным материалам (нанокристаллическим, нанофазным, наноразмерным и т.п.) относятся объекты с характерным структурным размером менее 100 нм. Нанокристаллические материа-

лы и нанотехнологии – одни из самых модных быстроразвивающихся направлений современной науки.

Малый размер зерна приводит к появлению уникальных физических, химических, механических и других свойств. Формирование нанокристаллической структуры позволяет существенно изменить физические свойства материала: повысить предел текучести и прочности, теплоемкость, электросопротивление, диффузионную способность материала, понизить его упругость, температуру магнитных переходов и т.п. Изменяются и свойства других структурных уровней: атомного, электронного (снижается работа выхода электронов) и ядерного.

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Что представляют собой наноструктурные материалы? Каковы их особенности?
2. Что такое фуллерены и фуллериты?
3. Что представляют собой нанотрубки и нанокластеры?

### **ЧАСТЬ IV. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ВЫБОРА МАТЕРИАЛА**

Как отмечалось выше, цель дисциплины «Материаловедение» состоит в обучении студентов научным основам выбора материала с учетом его состава, структуры, термической обработки и достигающихся при этом эксплуатационных и технологических свойств, необходимых в народном хозяйстве.

Следует иметь в виду, что в настоящее время нет единой методики выбора оптимального материала, а существуют лишь разрозненные рекомендации для подбора пригодного материала в частных случаях разных деталей в различных областях машиностроения, базирующихся на использовании традиционного материала.

Для выборе оптимального материала рекомендуется следующая последовательность:

- проанализировать условия работы детали:
  - определение характера и условия нагружения,
  - определение возможных видов разрушения и иных причин выхода из строя;
- сформулировать по степени важности требования к свойствам материала в качественном и по возможности в количественном виде;
  - определить группу сплавов, которые обладают свойствами близкими к требуемым свойствам;
    - в выбранной стальной группе сплавов необходимо остановиться на одной марке, которая после соответствующей термообработки может наиболее полно удовлетворять все ранее сформулированные требования и заданные свойства;
    - установить оптимальный вид упрочняющей термической и химико-термической обработки на заданный уровень свойств.

Следует четко представлять, что при выборе материала можно сформулировать некоторые общие положения, которые будут полезны для конструктора и помогут ему грамотно ориентироваться в большом объеме конструкционных и инструментальных материалов. Эти положения основываются на излагаемом курсе материаловедения и могут быть сформулированы таким образом – материал можно считать выбранным правильно, если он наилучшим образом отвечает трем основным требованиям:

- эксплуатационная надежность,
- технологичность,
- экономичность.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Какие требования необходимо учитывать при выборе материала?
2. Что такое эксплуатационная надежность?
3. Какую роль играет технологичность материала?
4. Какую роль играют экономические характеристики при выборе материалов?

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Учебным планом может предусматриваться выполнение контрольной работы. При этом каждому студенту выдается индивидуальное задание.

### ЗАДАНИЯ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

Задание включает вопросы и задачи по основным разделам курса. В зависимости от направления подготовки и формы обучения задание выполняется либо в полном объеме, или лишь частично (по указанию преподавателя). В приложении 1 приведен пример выполненной контрольной работы.

#### Вариант № 1

1. Нарисуйте строение литого кристаллического слитка. Опишите влияние реальной среды на форму кристаллов.
2. Объясните сущность процесса полигонизации. Рассчитайте температуру рекристаллизации для меди технической чистоты.
3. Детали машин из стали 40 закалены: одни - с температуры 760 °С, другие - с температуры 840 °С. Укажите правильный режим закалки, используя диаграмму железо-цементит. Какие из данных деталей имеют более высокую твердость и лучшие эксплуатационные характеристики. Предложите вид отпуска применимый для данной стали.
4. Для изготовления ряда деталей самолета выбран сплав Д16. Опишите состав сплава, режим упрочняющей термической обработки и получаемую микроструктуру. Опишите процессы, протекающие при термообработке.

#### Вариант № 2

1. Начертите объемно центрированную кубическую решетку, определите координационное число и плотность упаковки.

2. Сущность наклепа, его практическое использование.
3. При проведении термической обработки вала, изготовленного из стали 45, была выполнена закалка с  $760^{\circ}\text{C}$ . Правильно ли была выбрана температура закалки? Обоснуйте свое решение. Какова структура вала после данной термообработки.
4. Для изготовления постоянных магнитов используется сплав ЮНДК40Т8А: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав по назначению; б) объясните влияние легирования на свойства сплава; в) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплаву.

### Вариант № 3

1. Опишите условия получения мелкозернистой структуры при самопроизвольно развивающейся кристаллизации.
2. Опишите точечные несовершенства кристаллического строения. Что такое дислокации и к какому виду несовершенств они относятся? Объясните их влияние на свойства металла.
3. Метчики из стали У10А закалены: одни - с температуры  $760^{\circ}\text{C}$ , другие - с температуры  $840^{\circ}\text{C}$ . Используя диаграмму железо-цементит, укажите правильный режим закалки. Какой из этих инструментов будет иметь более высокую твердость и износостойкость, а соответственно лучшие эксплуатационные характеристики, предложите вид отпуска для данной стали.
4. Для обшивки самолетов используется сплав ВТ6. Приведите химический состав сплава, режим упрочняющей термической обработки и получаемую при этом структуру. Опишите процессы, протекающие при термической обработке.

### Вариант № 4

1. Постройте кривую нагрева для меди (с применением правила фаз).
2. Что такое критическая степень деформации?

3. Объясните причины возникновения напряжений при закалке. Какие дефекты могут возникнуть при этом? Каким образом можно предотвратить образование закалочных трещин?

4. Для изготовления деталей, применяемых в судостроении, выбран сплав БрАМц10-2: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав; б) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплаву.

### **Вариант № 5**

1. Опишите строение и основные характеристики кристаллической решетки серебра (параметры, координационное число, плотность упаковки).

2. Опишите механизмы упругой и пластической деформации.

3. В процессе горячейковки стальная деталь хрупко разрушилась. В чем возможная причина разрушения? Как предотвратить этот вид брака?

4. В качестве материала для изготовления мембран выбран сплав БрБ2: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав; б) назначьте термическую обработку; в) опишите микроструктуру и свойства сплава.

### **Вариант № 6**

1. Как влияет степень переохлаждения на число центров кристаллизации, скорость роста кристаллов и размеры зерна?

2. Опишите влияние нагрева на строение и свойства деформированного металла.

3. Опишите механизмы бейнитного превращения. Сравните микроструктуру верхнего и нижнего бейнитов.

4. Для изготовления деталей в авиастроении используется сплав МЛ5: а) расшифруйте состав сплава; б) укажите способ изготовления деталей из данного сплава; в) укажите возможную термообработку; г) опишите механические свойства сплава.

## Вариант № 7

1. Опишите явление полиморфизма в приложении к железу, а также строение и основные характеристики кристаллической решетки (параметры, координационное число, плотность упаковки) для гранецентрированной кубической ориентации.

2. Для чего применяется отжиг в процессе изготовления холоднокатаной стальной ленты? Как называется такой вид отжига?

3. Стальной рычаг у экскаватора сломался в морозную погоду. В чем может быть причина поломки?

4. Кратко изложите основы термической обработки алюминиевых сплавов в применении к промышленному сплаву дюралюмин. Укажите состав упрочняющих фаз, образующихся при старении дюралюмина. Сравните результаты, получаемые после естественного и искусственного старения, отметив преимущества и недостатки каждой из этих обработок.

## Вариант № 8

1. Опишите строение и основные характеристики кристаллической решетки магния (параметры, координационное число, плотность упаковки).

2. Что такое температура порога рекристаллизации? Как она определяется? Определите температуру рекристаллизации для чистой меди.

3. Сталь 60 подвергалась закалке с температуры  $760^{\circ}\text{C}$  и  $840^{\circ}\text{C}$ . Опишите превращения, происходящие при данных режимах закалки. Укажите, какие образуются структуры, и объясните причины получения этих структур. Какой режим закалки следует применить к данной стали? Какой вид отпуска следует рекомендовать для получения высоких упругих характеристик?

4. Для изготовления деталей, получаемых глубокой штамповкой, выбран сплав Л70: а) расшифруйте состав и укажите механические свойства; б) определите, к какой группе относиться.

## Вариант № 9

1. Как влияет скорость охлаждения на строение кристаллизующегося металла?

2. Что такое твердость? Какие методы измерения твердости основаны на вдавливании индентора в испытуемый образец? Кратко опишите их.

3. В результате термической обработки некоторые детали машин должны иметь твердый износоустойчивый поверхностный слой при вязкой сердцевине. Какой обработкой можно достичь данного результата? Опишите данную обработку.

4. Назначьте марку алюминиевой бронзы для изготовления мелких ответственных деталей, например втулок: а) расшифруйте состав и укажите механические свойства сплава; б) опишите структуру сплава и возможную термическую обработку.

## Вариант № 10

1. Что такое твердый раствор? Виды твердых растворов (приведите примеры).

2. Механические свойства, определяемые при статических испытаниях.

3. Опишите, в чем заключается низкотемпературная термомеханическая обработка конструкционной стали. Объясните с позиции теории дислокаций, почему этот процесс приводит к получению высокой прочности стали. Какими преимуществами и недостатками обладает вариант низкотемпературной термомеханической обработки по сравнению с высокотемпературной термомеханической обработкой?

4. Для изготовления некоторых деталей двигателя внутреннего сгорания выбран сплав АК4: а) расшифруйте состав и укажите способ изготовления деталей из этого сплава; б) опишите возможную термическую обработку; в) приведите механические свойства данного сплава.

## Вариант № 11

1. Что такое химическое соединение, электронное соединение, электронная концентрация?
2. Процесс изнашивания металлов. Виды изнашивания. Методы испытаний на износ.
3. Сущность и особенности мартенситного превращения. Природа твердости и хрупкости мартенсита в стали. Как влияет содержание углерода на свойства закаленного сплава?
4. В конструкциях авиационных реактивных двигателей для изготовления лопаток компрессора выбран сплав ВТ14: а) приведите химический состав сплава и укажите механические свойства; б) определите, к какой группе относиться данный сплав; в) опишите режим возможной термообработки и получаемую при этом структуру. Опишите процессы, протекающие при термической обработке.

## Вариант № 12

1. Строение кристаллического слитка.
2. Виды изломов. Усталостный излом, особенности его строения, возможные причины возникновения.
3. Микроанализом обнаружено крупное зерно у отпущенной стали. Как оно повлияет на свойства стали? В чем возможная причина? Как избежать этого? Как исправить структуру? В каких сталях это встречается? Какие из перечисленных сталей не склонны к этому браку: 40Х, 40ХН, 45, 30ХМ, 40, 40ХГС, 40ХНМА (обоснуйте свое решение)?
4. Для изготовления деталей самолета выбран сплав АМц2: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относиться данный сплав; б) опишите способ упрочнения этого сплава и объясните природу упрочнения.

### **Вариант № 13**

1. Опишите явление полиморфизма в приложении к титану, а так же строение и основные характеристики кристаллической решетки (параметры, координатное число, плотность упаковки) для гексагональной модификации.

2. Область применения макроанализа. Определение ликвации серы по Бауману (метод отпечатков).

3. Сравните влияние нормализации и улучшения на структуру и свойства стали. В чем причина различия механических свойств получаемых при этом структур?

4. Для изготовления конденсаторных труб, используемых в морском судостроении, выбран сплав Л062-1: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относиться данный сплав; б) опишите структуру и свойства сплава; в) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплавам этой группы.

### **Вариант № 14**

1. Опишите сущность эвтектической кристаллизации и структуру любого эвтектического сплава.

2. Объясните механизм разрушения металлов.

3. Какой термической обработкой и у каких чугунов можно повысить прочность, твердость и пластичность? Как уменьшить литейные напряжения в сложных чугунных конструкциях?

4. Сравните влияние отпуска углеродистой стали и старения дюралюмина на свойства закаленного сплава.

### **Вариант № 15**

1. Опишите механизм перитектического превращения. Приведите примеры сплавов, образующих диаграмму состояния с перитектическим превращением.

2. Что произойдет, если путем соответствующей обработки повысить плотность точечных, линейных и поверхностных дефектов? Приведите примеры таких обработок.

3. Нарисуйте схематические структуры закалки (мартенсита, троостита, сорбита) и одноименные структуры отпуска (мартенсита отпуска, троостита отпуска, сорбита отпуска). Объясните различие их механических свойств.

4. Для изготовления радиаторных трубок выбран сплав Л90: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав; б) опишите структуру сплава; в) приведите характеристики механических свойств сплава.

### **Вариант № 16**

1. Как влияет модифицирование на строение и свойства литого металла? Объясните причину воздействия. Приведите примеры практического использования модифицирования для получения конкретных сплавов.

2. Что происходит с кристаллической решеткой металлов при действии нормальных напряжений? Под действием каких напряжений возникает пластическая деформация? Как при этом изменяются структура и свойства металлов и сплавов?

3. Опишите азотирование сталей, укажите температуры, при которых производится процесс прочностного азотирования, используя диаграмму состояния железо-азот, объясните, почему азотирование не производится при температуре ниже  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выше  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Назовите марки сталей, применяемых для азотирования и опишите полный цикл их термической и химико-термической обработки.

4. Для изготовления ряда деталей, используемых в судостроении, выбран сплав БрКМцЗ-1: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав; б) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплавам этой группы.

## Вариант № 17

1. Как и с какой целью управляют размером зерна при кристаллизации металла? Приведите конкретные примеры.
2. Собирательная рекристаллизация. Механизмы роста зерна (зародышевый, миграционный, слияние зерен).
3. Вал, изготовленный из стали 35, после проведения термообработки по правильным режимам обладает недостаточной прочностью. Как подобрать подходящую марку и режимы ее термообработки? Обоснуйте свое решение.
4. Для изготовления деталей простой конфигурации, работающих при ударных нагрузках, выбран сплав ЛМц58-2: а) расшифруйте состав и определите к какой группе относиться данный сплав; б) опишите структуру сплава; в) объясните назначение легирующих элементов; г) приведите характеристики механических свойств.

## Вариант № 18

1. Почему при кристаллизации чистого металла температура постоянна? Почему ускорение охлаждения увеличивает переохлаждение?
2. Какими способами можно обнаружить поверхностные трещины?
3. В чем заключается обработка стали холодом и в каких условиях она применяется?
4. Для обшивки некоторых элементов конструкций самолетов используется сплав МА11: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относиться данный сплав; б) опишите структуру и его механические характеристики.

## Вариант № 19

1. На примере чистого металла и химического соединения объясните влияние типа межатомной связи на механические свойства металла, а так же и на его физические свойства.

2. Какой вид напряжений приводит к вязкому разрушению путем среза? Объясните природу разрушения.

3. В стали состава: 0,86 % С, 4,2 % Cr, 6,2 % W, 1,8 % V и 5,2 % Mo после закалки осталось много аустенита. Назовите марку стали. Как влияет остаточный аустенит на ее свойства? Что надо сделать, что бы избавиться от остаточного аустенита?

4. Для изготовления ряда деталей, работающих при повышенных температурах (300 °С) с высокими вибрационными нагрузками (детали фюзеляжа, крыла, системы управления самолетом и др.), используется сплав АЛ19: а) расшифруйте состав сплава и укажите способ изготовления деталей из данного сплава; б) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплаву; в) опишите природу упрочнения при модифицировании.

## Вариант № 20

1. Объясните, почему фазовое превращение кристаллических тел сопровождается тепловым эффектом? Приведите примеры.

2. Изменение структуры и свойств при нагреве деформированного металла.

3. Для изготовления конструкции, изготовление которой требует сварки и сложной гибки, выбрана сталь 10кп: а) расшифруйте химический состав и определите, к какой группе относиться данная сталь по назначению; б) назначьте режим термической обработки, приведите его подробное обоснование; в) опишите структуру и свойства стали после термической обработки. Подберите варианты возможной замены данной стали.

4. Подберите медно-никелевый сплав для изготовления проводов, тензодатчиков, обладающих высоким сопротивлением: а) рас-

шифруйте состав; б) опишите микроструктуру сплава; в) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплаву.

### **Вариант № 21**

1. Сущность и применение гетерогенной кристаллизации сплавов. Примеры конкретного применения и достигаемый при этом эффект.

2. Как изменить структуру и свойства наклепанного металла под действием различной степени нагрева?

3. Вычертите диаграмму изотермического превращения аустенита для стали У8, нанесите на нее кривые режима ступенчатой и изотермической закалок. Опишите сущность превращений и какая структура получится при этом. В чем отличие обычной закалки от данных обработок?

4. Подберите легкий сплав для изготовления обшивки самолетов: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав; б) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплаву.

### **Вариант № 22**

1. Опишите физическую сущность процесса плавления.

2. Винтовые дислокации. Понятие вектора Бюргерса.

3. В процессе термической обработки стали могут возникать различного рода дефекты. Какие из этих дефектов присущи углеродистым, а какие - легированным сталям? Как следует вести закалку детали из среднеуглеродистой стали, чтобы уменьшить вероятность коробления и закалочных трещин?

4. Подберите медно-никелевый сплав для изготовления посуды: а) расшифруйте состав и определите к какой группе относится данный сплав; б) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплаву.

### Вариант № 23

1. Что такое полиморфное превращение, и какие необходимы условия для его протекания? Опишите явление полиморфизма в приложении к титану, а так же строение и основные характеристики кристаллической решетки (параметры, координатное число, плотность упаковки) для объемно-центрированной кубической модификации.

2. Явление сверхпластичности металлов и сплавов.

3. Выбрать сталь для изготовления для изготовления кожухов электродвигателей методом глубокой вытяжки. Опишите исходную структуру и механические свойства, назначьте режим возможной термической обработки, опишите микроструктуру и свойства стали после термообработки.

4. Подберите марки припоев для изготовления (припаивания): а) пластинки из ВК6 к державке и б) выводов транзисторов в радиосхеме. Укажите ориентировочно температуру плавления и механические свойства, а так же требования, предъявляемые к этим припоям.

### Вариант № 24

1. Постройте кривую охлаждения для олова (с применением правила фаз). Почему при кристаллизации олова на кривой охлаждения наблюдается прямой участок?

2. Горячая и холодная обработки давлением. Приведите конкретные примеры.

3. Подберите сталь для изготовления пружины. Назначьте режим термической обработки, опишите сущность происходящих превращений, микроструктуру и свойства до и после термической обработки. Каким образом можно повысить усталостную прочность пружины?

4. Для изготовления крыльчаток вентиляторов для компрессоров реактивных двигателей использован сплав АК6: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав; б) опиши-

те возможную упрочняющую обработку; в) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплаву.

### **Вариант № 25**

1. Опишите явление полиморфизма в приложении к железу, а так же строение и основные характеристики кристаллической решетки (параметры, координационное число, плотность упаковки) для объемноцентрированной кубической модификации.

2. Испытание образцов на ударную вязкость.

3. Как и в какой стали могли возникнуть такие структуры: феррит + мартенсит; мартенсит отпуска + феррит; троостит отпуска? Охарактеризуйте качество получаемых структур.

4. Подберите легкоплавкий сплав для подшипника скольжения: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав; б) опишите микроструктуру сплава; в) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплаву.

### **Вариант № 26**

1. Начальные, наследственные (природные) и действительные размеры зерен. Влияние легирующих элементов на размер зерна.

2. Механические свойства, определяемые при динамических испытаниях.

3. Подобрать сталь для изготовления подшипников качения (шариков, роликов и др. деталей). Назначьте термическую обработку, опишите сущность происходящих при этом явлений, микроструктуру и свойства после термообработки.

4. В качестве материала для подшипников скольжения выбран сплав Б83: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе по назначению относится данный сплав; б) опишите микроструктуру и свойства сплава.

### **Вариант № 27**

1. Механическая смесь, ее свойства. Приведите примеры сплавов, образующих механические смеси.
2. Рассчитать температуру рекристаллизации для свинца технической чистоты.
3. Объясните влияние формы графитовых включений на механические свойства серого, ковкого и высокопрочного чугунов. Опишите получение ковкого чугуна.
4. Подберите легкий припой: а) расшифруйте состав; б) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплаву.

### **Вариант № 28**

1. Постройте кривую охлаждения двухкомпонентного сплава (с применением правила фаз).
2. Какими способами можно обнаружить глубоко залегающие раковины?
3. Подберите сталь для изготовления хирургического инструмента. Опишите исходную микроструктуру и свойства стали, назначьте и обоснуйте режим термической обработки, опишите микроструктуру и свойства после термообработки.
4. Для изготовления мерной ленты, не меняющей своей длины при изменении температуры, выбран сплав НЗ6 (инвар): а) расшифруйте состав и определите к какой группе относится данный сплав; б) опишите влияние никеля на свойства сплава; в) опишите свойства данного сплава.

### **Вариант № 29**

1. Гомогенная (самопроизвольная) кристаллизация и гетерогенное образование зародышей.
2. Практическое использование наклепа. Приведите конкретные примеры.

3. При проведении термической обработки зубила, изготовленного из стали У7, была выполнена закалка с 760 °С. Правильно ли была выбрана температура закалки? Обоснуйте свое решение. Какова структура после проведенной термообработки.

4. Назначьте марку алюминиевого сплава для изготовления деталей, получаемых литьем: а) расшифруйте состав и укажите ее механические свойства сплава; б) опишите структуру сплава и возможную термическую обработку.

### **УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

#### *Основная литература:*

1. Картонова Л. В. Основы материаловедения металлических и неметаллических веществ/ Л. В. Картонова, В. А. Кечин. – Владимир: Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых (ВлГУ), 2014. – 176 с. Издание на др. носителе: Основы материаловедения металлических и неметаллических веществ [Электронный ресурс], ISBN 978-5-9984-0503-7.

2. Материаловедение и технология материалов: Учебное пособие / К.А. Батышев, В.И. Безпалько; Под ред. А.И. Батышева, А.А. Смолькина. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2013 - 288 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). ISBN 978-5-16-004821-5 <http://znanium.com/bookread2.php?book=397679>

3. Материаловедение и технология материалов: Учебник / Г.П. Фетисов, Ф.А. Гарифуллин. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 397 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). ISBN 978-5-16-006899-2, <http://znanium.com/bookread2.php?book=413166>

#### *Дополнительная литература:*

1. Материаловедение [Электронный ресурс]: учебное иллюстрированное пособие / Е.Г. Зарембо. – М.: УМЦ ЖДТ, 2009. – <http://www.studentlibrary.ru / book / ISBN9755999400475.html>

2. Материаловедение. Применение и выбор материалов [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Солнцев Ю.П., Борзенко Е.И., Вологжанина С.А. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2007. – <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081406.html>

3. Лабораторный практикум по материаловедению / Л. В. Картонова, А. В. Костин, В. Б. Цветаева; Владимирский государственный университет (ВлГУ); под ред. А. В. Костина, В. А. Кечина. – Изд. 2-е, испр. и доп. – Владимир: Владимирский государственный университет (ВлГУ), 2007. – 68 с.: ил. – Имеется электронная версия. – Библиогр.: с. 67. Издание на др. носителе: Лабораторный практикум по материаловедению [Электронный ресурс] / Л. В. Картонова, А. В. Костин, В. Б. Цветаева; Владимирский государственный университет (ВлГУ); под ред. А. В. Костина, В. А. Кечина. – Владимир, 2007. – ISBN 5-89368-780-9.

*Периодические издания:*

Журналы «Вопросы материаловедения», «Материаловедение», «Металловедение и термическая обработка металлов», «Вестник машиностроения».

*Программное и коммуникационное обеспечение*

Операционная система Windows, стандартные офисные программы.

*Электронные версии пособий и методических разработок и указаний:*

1. Картонова Л. В. Мини-словарь толкования основных терминов по дисциплине «Материаловедение» [Электронный ресурс] / Л. В. Картонова; Владимирский государственный университет (ВлГУ), Кафедра литейных процессов и конструкционных материалов. – Электронные текстовые данные (1 файл: 227 Кб). – Владимир: Владимирский государственный университет (ВлГУ), 2011. – 32 с. – Заглавие с титула экрана. – Библиогр.: с. 32. – Свободный доступ в

электронных читальных залах библиотеки. – Microsoft Office Word. – <URL:<http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/2825/1/00209.doc>>.

2. Картонова Л. В. Лабораторный практикум по дисциплине "Материаловедение" для технических направлений подготовки [Электронный ресурс] / Л. В. Картонова; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, Кафедра литейных процессов и конструкционных материалов. – Электронные текстовые данные (1 файл: 2,48 Мб). – Владимир: Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, 2013. – 84 с. : ил. – Заглавие с титула экрана. – Библиогр.: с. 83. – Свободный доступ в электронных читальных залах библиотеки. – Adobe Acrobat Reader. – <URL:<http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/2673/1/00254.pdf>>.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Адаскин, А. М.** Материаловедение в машиностроении : учеб. для бакалавров / А. М. Адаскин [и др.]. – М. : Юрайт, 2013. – 535 с. – ISBN 978-5-9916-2867-9. – (Сер. Бакалавр. Углубленный курс).

2. **Волков, Г. М.** Материаловедение : учеб. для техн. вузов по немашиностроительным направлениям и специальностям / Г. М. Волков, В. М. Зуев. – М. : Академия, 2008. – 398 с. (Сер. Высшее профессиональное образование, Технические специальности). – ISBN 978-5-7695-4248-0.

3. **Гелин, Ф. Д.** Металлические материалы : справочник / Ф. Д. Гелин. – Минск : Высш. шк., 1987. – 368 с.

4. **Геллер, Ю. А.** Материаловедение : учеб. пособие для вузов / Ю. А. Геллер, А. Г. Рахштадт ; под ред. А. Г. Рахштадта. – Изд. 6-е, перераб. и доп. – М. : Metallurgy, 1989. – 456 с. – ISBN 5-229-00228-X.

5. **Гуляев, А. П.** Металловедение : учеб. для втузов / А. П. Гуляев. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Metallurgy, 1986. – 542 с.

6. **Дриц, М. Е.** Технология конструкционных материалов и материаловедение : учеб. для немашиностроительных специальностей

вузов / М. Е. Дриц, М. А. Москалев. – М. : Высш. шк., 1990. – 447 с. – ISBN 5-06-000144-Х.

7. **Журавлев, В. Н.** Машиностроительные стали : справочник / В. Н. Журавлев, О. И. Николаева. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1992. – 480 с. – ISBN 5-217-01306-0.

8. **Золоторевский, В. С.** Механические свойства металлов : учеб. для вузов по специальности "Металловедение, оборудование и технология термической обработки металлов" / В. С. Золоторевский. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Metallurgy, 1983. – 350 с.

9. **Иванов, Г. П.** Надежность материала в технических расчетах / Г. П. Иванов [и др.] ; под ред. Д. В. Бушенина. – Владимир : Посад, 2002. – 128 с.

10. **Кечин, В. А.** Цинковые сплавы / В. А. Кечин, Е. Я. Люблинский. – М. : Metallurgy, 1986. – 246 с.

11. **Колачев, Б. А.** Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов : учеб. пособие для вузов по специальности "Металловедение и технология термической обработки металлов" / Б. А. Колачев, В. А. Ливанов, В. И. Елагин. – Изд. 3-е, испр. и доп. – М. : МИСИС, 2001. – 414 с. – ISBN 5-8763-027-8.

12. Композиционные материалы : справочник / В. В. Васильев [и др.] ; под общ. ред. В. В. Васильева; Ю. М. Тарнопольского. – М. : Машиностроение, 1990. – 510 с. – ISBN 5-217-01113-0.

13. Конструкционные материалы : справочник / Б. Н. Арзамасов [и др.] ; под ред. Б. Н. Арзамасова. – М. : Машиностроение, 1990. – 687 с. – ISBN 5-217-01112-2. – (Сер. Основы проектирования машин).

14. **Лахтин, Ю. М.** Материаловедение : учеб. для вузов / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1990. – 528 с. – ISBN 5-217-00858-Х. – (Сер. Для вузов).

15. **Лейкин, А. Е.** Материаловедение : учеб. для для машиностроит. специальностей вузов / А. Е. Лейкин, Б. И. Родин. – М. : Высш. шк., 1971. – 416 с.

16. Материаловедение. Технология конструкционных материалов : учеб. пособие для вузов по направлению "Электротехника, элект-

тротехника и электротехнологии" / А. В. Шишкин [и др.] ; под ред. В. С. Чередниченко. – 2-е изд., стер. – М. : Омега-Л, 2006. – 752 с. – ISBN 5-365-00041-2. – (Сер. Высшее техническое образование).

17. **Материаловедение** : учеб. для вузов / Б. Н. Арзамасов [и др.] ; под ред. Б. Н. Арзамасова. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. – 646 с. – ISBN 5-7038-1860-5. – (Сер. Учебник для технических вузов).

18. **Материаловедение и технология конструкционных материалов** : учеб. для вузов по направлению "Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств" и "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств" / В. Б. Арзамасов [и др.] ; под ред. В. Б. Арзамасова, А. А. Черепашкина. – 2-е изд., стер. – М. : Академия, 2009. – 447 с. – ISBN 978-5-7695-6499-4. – (Сер. Высшее профессиональное образование, Машиностроение).

19. **Материаловедение и технология металлов** : учеб. для вузов / Г. П. Фетисов [и др.] ; под ред. Г. П. Фетисова. – Изд. 4-е, испр. и доп. – М. : Высш. шк., 2006. – 862 с. – ISBN 5-06-004418-1.

20. **Материалы в машиностроении: выбор и применение** : справочник : в 5 т. / под ред. И. В. Кудрявцева. – М. : Машиностроение, 1967. – Т. 1: Цветные металлы и сплавы / И. А. Алексахин [и др.] ; под ред. Л. П. Лужникова. – 1967. – 304 с.

21. **Мозберг, Р. К.** **Материаловедение** : учеб. пособие для вузов / Р. К. Мозберг. – Изд. 2-е, перераб. – М. : Высш. шк., 1991. – 448 с. – ISBN 5-06-001909-8.

22. **Пикунов, М. В.** **Металловедение** / М. В. Пикунов, А. И. Деси-при. – М. : Metallurgia, 1980. – 256 с.

23. **Плошкин, В. В.** **Материаловедение** : учеб. пособие / В. В. Плошкин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Юрайт, 2011. – 463 с. – ISBN 978-5-9916-1222-7. – (Серия: Основы наук).

24. **Производство отливок из сплавов цветных металлов** : учебник / А. В. Курдюмов [и др.] ; под ред. В. Д. Белова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд. дом МИСиС, 2011. – 615 с. – ISBN 978-5-87623-573-2.

25. **Ржевская, С. В.** Материаловедение : учеб. для вузов в области техники и технологии / С. В. Ржевская. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М. : Логос, 2006. – 421 с. – ISBN 5-98704-179-X.

26. **Рогов, В. А.** Современные машиностроительные материалы и заготовки : учеб. пособие для вузов по направлениям "Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств", "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств" / В. А. Рогов, Г. Г. Позняк. – М. : Академия, 2008. – 330 с. – ISBN 978-5-7695-4254-1. – (Сер. Высшее профессиональное образование, Машиностроение).

27. **Рощин, В. Е.** Электросталь и металлургия стали : учебник / В. Е. Рощин, А. В. Рощин. – 4-е изд., перераб. и доп. – Челябинск : ЮУрГУ, 2013. – 572 с. – ISBN 978-5-696-04354-8.

28. **Сильман, Г. И.** Материаловедение : учеб. пособие для вузов / Г. И. Сильман. – М. : Академия, 2008. – 336 с. – ISBN 978-5-7695-4255-8.

29. **Солнцев, Ю. П.** Материаловедение : учеб. для вузов по металлург., машиностроит. и общетехн. специальностям / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин ; под ред. Ю. П. Солнцева. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – СПб. : Химиздат, 2004. – 735 с. – ISBN 5-93808-075-4. – (Сер. Учебник для вузов).

30. Химико-термическая обработка металлов и сплавов : справочник / Г. В. Борисенок [и др.] ; под ред. Л. С. Ляховича. – М. : Металлургия, 1981. – 424 с.

Приложение 1

**Министерство образования и науки Российской Федерации**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)**

Кафедра технологии функциональных и конструкционных материалов

**Контрольная работа**

по дисциплине «Материаловедение»

Вариант №18

Выполнил студент гр. А-114  
Иванов И.И.

Приняла Картонова Л.В.

Владимир 2022

## **Вопрос 1. Почему при кристаллизации чистого металла температура постоянна? Почему ускорение охлаждения увеличивает переохлаждение?**

При переходе металла из жидкого состояния в твердое образуются кристаллы. Такой процесс называют *кристаллизацией*.

Процесс кристаллизации металла можно рассматривать по кривым охлаждения, которые обычно получают опытным путем. Например, для чистого металла, охлаждаемого очень медленно, кривая охлаждения показывает, что, если металл находится в жидком состоянии, температура понижается почти равномерно. Если металл охладить до температуры плавления  $T_{пл}$  (точка *a* на кривой), то начинается кристаллизация и падение температуры прекращается, несмотря на непрерывную отдачу тепла окружающей атмосфере. Получаемый горизонтальный участок на кривой охлаждения показывает, что в металле происходит процесс образования кристаллов с выделением тепла, называемый *теплотой кристаллизации*. Кристаллизация протекает от точки *a* до точки *b*, где она заканчивается и металл затвердевает. Дальнейшее падение температуры на кривой указывает на охлаждение затвердевшего слитка (рис. 1.1, а).

В металлических сплавах кривая охлаждения имеет несколько иной вид. Охладившись до температуры плавления  $T_{пл}$ , сплав еще некоторое время остается жидким. Кристаллизация сплава начинается при температуре переохлаждения  $T_{п}$ , лежащей ниже теоретической температуры плавления. Разность между теоретической и фактической температурами кристаллизации называют *степенью переохлаждения*. Она зависит от природы сплава, его чистоты и скорости охлаждения. Чем больше скорость охлаждения сплава, тем больше степень переохлаждения. Петля на кривой охлаждения показывает, что кристаллизация сопровождается выделением тепла, которое повышает температуру сплава до температуры плавления, поддерживая ее до полного затвердевания металла (рис. 1.1, б).

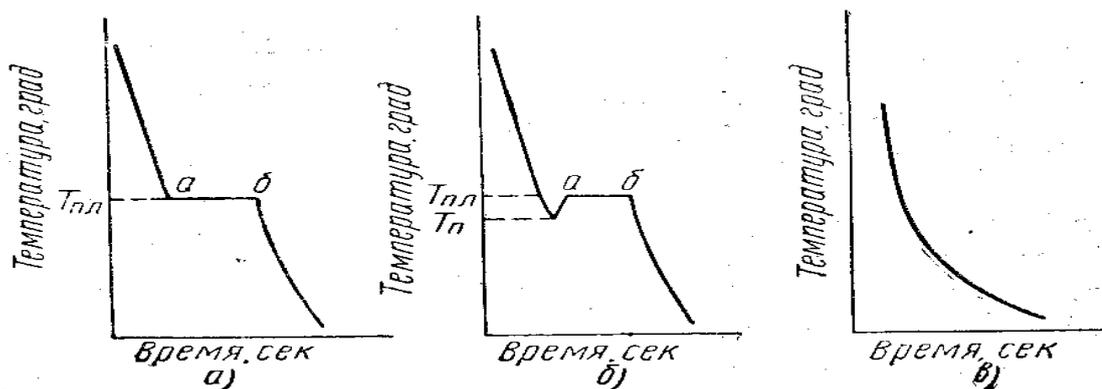


Рис.1.1. Кривые охлаждения

Аморфные тела затвердевают постепенно. В этом случае кривая охлаждения будет плавной, без горизонтальных площадок (рис. 1.1, в).

Процесс образования кристаллов состоит из двух одновременно протекающих стадий: появления зародышей - устойчивых центров кристаллизации и роста кристалликов вокруг этих центров.

Сначала каждый кристаллик в жидкости растет свободно, сохраняя правильную геометрическую форму. Так как одновременно образуется много кристаллических центров и рост кристалликов идет по всем направлениям, то смежные кристаллы, увеличиваясь, начинают непосредственно соприкасаться друг с другом и правильная форма их нарушается. В результате кристалл приобретает округленную форму, напоминающую зерно. Такие кристаллы принято называть *кристаллитами*, или *зернами*.

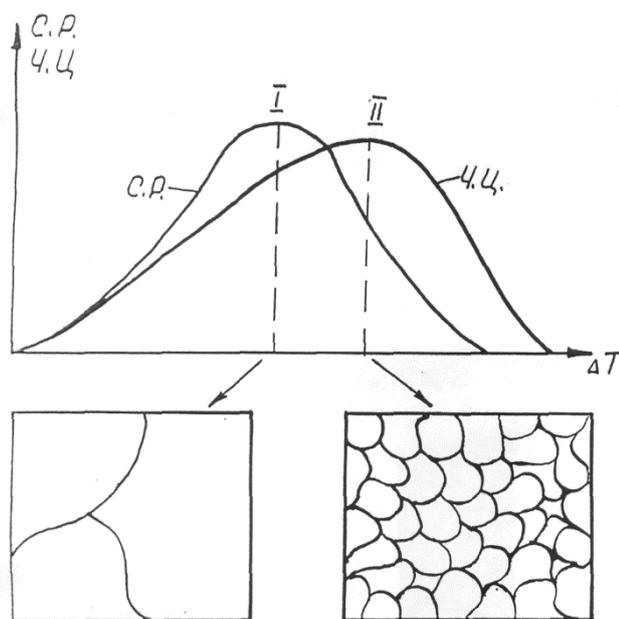
В зависимости от условий затвердевания зерна могут быть крупными, хорошо различимыми невооруженным глазом, и мелкими, которые можно рассмотреть только при помощи металлографического микроскопа.

Процесс кристаллизации может быть описан количественно, если известны число центров кристаллизации и скорость роста кристалликов. Число центров кристаллизации и скорость роста кристалликов зависят от степени переохлаждения металла. С увеличением степени переохлаждения  $T$  число центров и скорость роста также возрастают,

достигая максимального значения. Однако характер роста величин числа центров и скорости роста различен.

Если степень переохлаждения невелика, то скорость роста преобладает над числом центров, в результате чего образуется крупнозернистая структура. С увеличением степени переохлаждения скорость роста не изменяется, число центров продолжает расти, что приводит к образованию мелкозернистой структуры.

Графически изменения величин ч.ц. и с.р. в зависимости от переохлаждения представлены на рис. 1.2. При теоретической температуре кристаллизации значения ч.ц. и с.р. равны нулю и процесс кристаллизации идти не может. Эти зависимости выражаются кривыми с максимумом. С увеличением переохлаждения значения ч.ц. и с.р. возрастают, достигают максимума и затем понижаются; при больших величинах переохлаждения практически падают до нуля.



*Рис. 1.2. Скорость зарождения центров кристаллизации (ч.ц.) и скорость роста кристаллов (с.р.) в зависимости от степени переохлаждения*

Поэтому для быстрого зарождения большого числа мельчайших центров нужно переохлаждение большее, чем для быстрого роста уже имеющихся кристаллов. Максимум на кривой числа центров кристал-

лизации сдвинут вправо по сравнению с максимумом на кривой скорости роста.

Таким образом, при медленном охлаждении возникает малое переохлаждение, следовательно, – мало число центров, но достаточно быстрый рост кристаллов (сплав I, рис. 1.2), ведущий к крупному зерну, а при быстром охлаждении – большое переохлаждение и большое число центров, поэтому кристаллы растут медленно, и образуется мелкозернистая структура (сплав II, рис. 1.2). Следовательно, процессом кристаллизации можно управлять.

## **Вопрос 2. Какими способами можно обнаружить поверхностные трещины?**

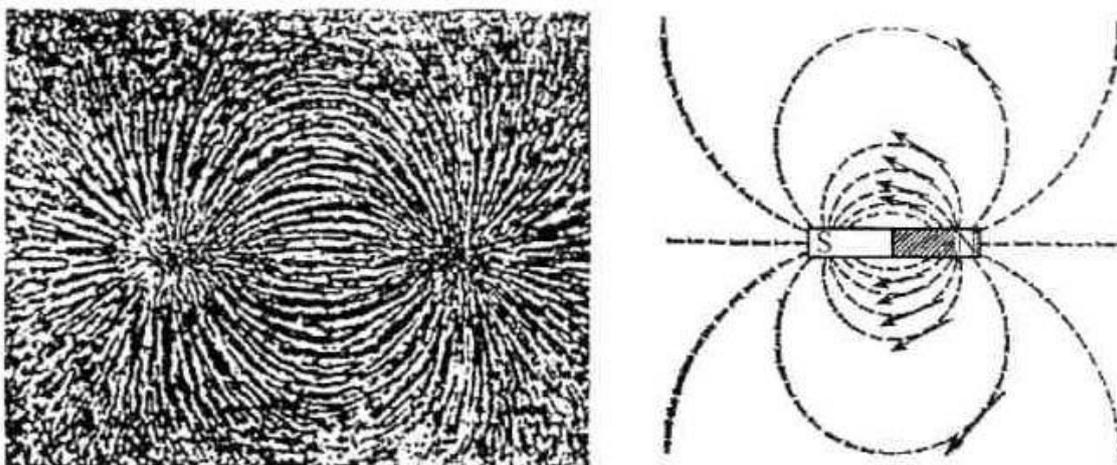
Существующие технологические процессы в металлургии и металлообработке таковы, что в получаемых металлах могут образовываться опасные различные дефекты (трещины, раковины, посторонние включения, рыхлости и др.).

Поверхностные дефекты можно обнаружить магнитным и капиллярным методами неразрушающего контроля.

Магнитному виду контроля подвергают исключительно ферромагнитные сплавы. Этим методом выявляют мелкие трещины, раковины и другие дефекты, расположенные на поверхности детали или залегающие на небольшой глубине (не более 2-3 мм.).

Суть данного метода контроля заключается в следующем. Если около магнита поместить металлическую деталь, которая до приближения к магниту не проявляла никаких магнитных действий, то вблизи постоянного магнита эта деталь сама станет магнитом. На стороне детали, обращенной к магниту, возникнет состояние, при котором она всегда будет притягиваться к магниту, подобно разноименным концам магнитных стержней. Этот эффект можно использовать для обнаружения в пространстве, окружающем магнит, его магнитного действия (рис.2.1). Проявление таких магнитных действий стержневым постоянным магнитом, полученное с помощью магнитных порошков,

показано на рис. 2.1, а. Частицы порошка, имея несколько удлиненную форму, выстраиваются вдоль линий, которые выходят из одного конца магнита и входят в другой. Их принято называть линиями индукции или магнитными силовыми линиями, поскольку именно вдоль них направлены силы, ориентирующие частицы магнитного порошка вокруг магнита (рис. 2.1, б).



*Рис.2.1. Картина линий индукции стержневого магнита, полученная с помощью магнитных порошков (а), и векторный характер магнитного поля (б)*

Если вблизи магнита нет других магнитов, каких-либо больших железных предметов или залежей магнитной руды, то подвешенный магнит всегда ориентируется почти точно вдоль географического меридиана с юга на север.

Недостатком метода является затруднительность, определения величины, распространения трещины вглубь металла.

Дефекты, которые вызывают возмущение в распределении силовых линий магнитного потока без образования местного потока рассеяния, не могут быть обнаружены методами магнитной дефектоскопии. Возмущение потока происходит тем сильнее, чем большее препятствие представляет собой дефект. Так, если дефект расположен вдоль направления магнитных силовых линий, то возмущение магнитного потока невелико, в то время как тот же дефект, расположен-

ный перпендикулярно или наклонно к направлению магнитного потока, создает значительный поток рассеяния.

В зависимости от способа регистрации магнитного потока рассеяния магнитные методы контроля подразделяют на магнитопорошковый, магнитографический, ферро-зондовый и магнитно-полупроводниковый. При дефектоскопии сварных швов применяют в основном два метода: магнитопорошковый и магнитографический. В первом случае потоки рассеяния выявляются с помощью магнитного порошка, а во втором - регистрируются на магнитную ленту.

*Капиллярный метод исследования* основан на проникновении определенных жидких составов в поверхностные слои необходимых изделий, осуществляемое при помощи капиллярного давления. Используя данный процесс, можно значительно повысить световые эффекты, которые способны определять более досконально все дефектные участки.

Довольно частым явлением, которое может встречаться в неразрушающем методе *дефектоскопии*, это недостаточно полное выявление необходимых дефектов. Такие результаты очень часто являются настолько маленькими, что общий визуальный контроль не способен воссоздавать все дефектные участки различных изделий. Например, при помощи такого измерительного оборудования, как микроскоп или простая лупа, невозможно определить *поверхностные дефекты*. Это происходит в результате недостаточной контрастности имеющегося изображения. Поэтому в большинстве случаев, наиболее качественным методом контроля является *капиллярная дефектоскопия*. Такой способ использует индикаторные жидкости, которые полностью проникают в поверхностные слои исследуемого материала и образуют индикаторные отпечатки, при помощи которых происходит дальнейшая регистрация визуальным способом.

Самым главным условием качественного метода обнаружения различных дефектных нарушений в готовых изделиях по типу капиллярного метода является приобретение специальных полостей, которые полностью свободны от возможности загрязнения, и имеют дополнительный выход на поверхностные области объектов, а также

укомплектованы параметрами глубин, которые намного превышают ширину их раскрытия. Значения капиллярного метода исследования разделяются на несколько категорий: основные, которые поддерживают только капиллярные явления, комбинированные и совмещенные, использующие соединение нескольких методов контроля.

*Дефектоскопия*, которая использует капиллярный метод контроля, предназначена для исследования самых скрытых и недоступных дефектных мест, таких как трещины, разнообразные виды коррозии, поры, свищи и другие. Данная система применяется для правильного определения расположения, протяжности и ориентации дефектов. Ее работа основана на тщательном проникновении индикаторных жидкостей в поверхностные и неоднородные полости материалов контролируемого объекта.

*Капиллярный контроль* в основном применяется для любых видов и форм изделий, которые имеют черные, цветные, легированные, чугунные, керамические и многие другие сплавы.

Такое обнаружение дефектов используется в авиации, судостроении, металлургии, строительстве, машиностроении и во многом различном производстве. В большинстве случаев данный метод является единственным допустимым условием для понятия пригодности необходимых изделий. Также капиллярная дефектоскопия может использоваться в материалах, которые имеют ферромагнитные составы. Но единственным исключаяющим звеном в этой системе может являться наличие необходимой чувствительности магнитопорошкового действия и определенные условия эксплуатации используемого объекта. Также не нужно забывать, что важным условием капиллярного метода является наличие полостей, которые должны быть полностью свободны от посторонних веществ и загрязнений, довольно часто располагающихся на поверхностях исследуемых объектов. Еще одной областью обнаружения дефектов может быть течеискание, которое применяется вместе с другими методами, в совокупности с мониторингом основных объектов, а также в процессе эксплуатации.

Основным достоинством данного метода является простота системы контролирования, большой обхват материалов и применение

несложной конструкции оборудования. Также система неразрушающего контроля *обнаружения дефектов* при помощи капиллярного метода, помогает исследовать не только поверхностные слои изделий, но и располагает дополнительной информацией, способной определить расположение, протяженность, форму и ориентацию дефекта. И даже может легко найти причины их возникновения.

*Стадии процесса нахождения дефектов (рис.2.2):*

- ✓ необходимое очищение поверхности,
- ✓ использование пенетранта,
- ✓ удаление лишнего образования вещества,
- ✓ добавление проявителя,
- ✓ проведение контроля.



*Рис.2.2. Последовательность операций при капиллярной методе*

Для того чтобы произошло правильное распределение красителя в дефектные участки, необходимо провести тщательное очищение при помощи воды или специального органического очистителя. Наличие таких веществ, как ржавчина, металлизация или другие покрытия, обязательно должны удаляться с контролируемого места расположения.

Затем нужно хорошо высушить верхнюю часть объекта, до полного отсутствия воды или используемого очистителя.

После этого необходимо нанести пенетрант красноватого цвета при помощи кисти. Он обязательно должен полностью пропитать все труднодоступные уголки изделия.

Далее важно удалить лишнее количество вещества, используя при этом специальную салфетку или же просто воду. Необходимо

иметь в виду, что пенетрант удаляется только с поверхности объекта, но не с полости.

Следующим процессом является нанесение проявителя, который чаще всего имеет белый цвет.

Контрольный процесс начинается после завершения работы проявителя, и длится приблизительно около тридцати минут.

Наличие насыщенности цветности говорит о размере дефекта. Чем меньшая концентрация цвета, тем меньше размер дефектного участка. Более насыщенная цветовая гамма проявляется в основном в глубоких трещинах. После завершения контроля, обязательно нужно удалить проявитель водой или специальным очистителем. Именно благодаря эффекту пенетранта, происходит полное проникновение в самые труднодоступные места дефектов. А проявитель, который наносится на поверхность изделия, дает тщательное растворение красителя, который находится во внутренней полости дефекта. Данный процесс дает полностью понять, где располагаются дефектные участки, и при этом появляются цветовые следы, которые имеют линейный вид, и целенаправленно указывают на все трещины, царапины и поры.

Самым практичным распылителем являются аэрозольные баллоны. Но также можно производить нанесение проявителя и простым погружением. Обязательно знать, что сухие составы наносятся только в вихревой камере или электростатическим способом. В завершении процесса, необходимо немного подождать, в зависимости от размеров дефектов. Время ожидания может меняться от пяти минут до одного часа. Проявление выглядит, как простые следы красного цвета на белом основании. А объекты, которые будут иметь сквозные трещины, можно увидеть при помощи нанесения проявителя и пенетранта с нескольких сторон. Проявляющий краситель, который попадает сквозь контролируемый участок, будет хорошо просматриваться на фоне проявителя.

Контроль капиллярным методом осуществляется в соответствии с ГОСТ 18442-80 «Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования».

### Вопрос 3. В чем заключается обработка стали холодом и в каких условиях она применяется?

Во многих сталях мартенситный интервал ( $M_n - M_k$ ) простирается до отрицательных температур (рис.3.1). В этом случае в закаленной стали содержится остаточный аустенит, который можно дополнительно превратить в мартенсит, охлаждая изделие до температур ниже комнатной.

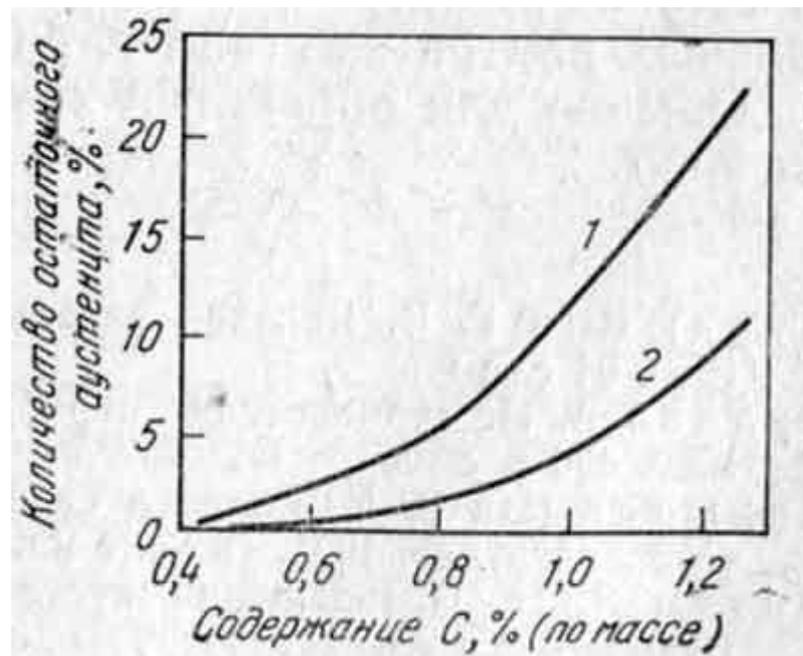


Рис.3.1. Влияние содержания углерода на количество остаточного аустенита в стали, закаленной из аустенитного состояния (по В. Г. Воробьеву): 1 - при 20 °C; 2 - после охлаждения до  $M_k$ .

По существу такая обработка холодом (предложена в 1937 г. А. П. Гуляевым) продолжает закалочное охлаждение, прерванное при комнатной температуре, которая не является критической для металла.

Обработку холодом можно проводить всегда, когда точка  $M_n$  лежит ниже нуля. Эффект обработки холодом зависит от количества остаточного аустенита при комнатной температуре. С увеличением содержания углерода в стали мартенситный интервал снижается в об-

ласть более низких температур и увеличивается количество остаточного аустенита, который превращается в мартенсит при охлаждении закаленной стали до температуры нижней мартенситной точки  $M_k$ .

Охлаждение стали ниже точки  $M_k$  не имеет смысла, так как оно не приводит к дополнительному мартенситному превращению.

*Основное назначение обработки холодом* - стабилизация размеров изделий. Структура закаленной стали с большим количеством остаточного аустенита нестабильна. Уже при комнатной температуре, а тем более при небольшом климатическом понижении температуры остаточный аустенит постепенно превращается в мартенсит. Это превращение сопровождается увеличением объема и размеры изделия меняются.

У таких изделий, как шарико- и роликоподшипники, калибры и другой мерительный инструмент, размеры должны выдерживаться с точностью до микрона и долей микрона. Эти изделия для стабилизации размеров обрабатывают холодом. Во многих случаях даже не требуется глубокого охлаждения ниже нуля, а достаточно охладить закаленную деталь в воде с температурой от  $+6$  до  $+10$  °С.

*Другое назначение обработки холодом* - повышение твердости и износостойкости режущего инструмента, штампов и мерительного инструмента. В быстрорежущей стали после закалки содержится большое количество аустенита (до 25 — 40%). Понятно, что применение обработки холодом к такой стали особенно эффективно.

Обработка холодом повышает твердость и износостойкость и устраняет шлифовочные трещины в цементованных деталях из легированных конструкционных сталей. В высокоуглеродистом цементованном слое после закалки содержится значительное количество аустенита, который уменьшает твердость стали и вследствие распада которого во время шлифования появляются трещины.

Наконец, обработкой холодом можно повысить магнитные свойства постоянных магнитов в результате дополнительного перехода парамагнитного аустенита в ферромагнитный мартенсит.

При обработке холодом следует учитывать явление стабилизации аустенита. Разрыв во времени между операцией закалки и обра-

боткой холодом приводит в некоторых сталях к сильной стабилизации аустенита при комнатной температуре, а стабилизация уменьшает эффект обработки холодом. Поэтому предельно допустимый разрыв регламентируют. Так, для измерительных плиток из стали X он не должен превышать 30 мин.

Обычно для обработки холодом требуются температуры не ниже  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Для охлаждения небольшого числа отдельных деталей, например, режущего инструмента, калибров и других изделий из высоколегированной стали применяют шкафные камеры полезным объемом  $0,1\text{—}1,0\text{ м}^3$ . Камера шкафная (КТХ) оборудована компрессорной установкой, обеспечивающей охлаждение до  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , и электронагревателями, позволяющими нагревать камеру до  $155\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Примером практического применения данного вида обработки является обработка холодом быстрорежущих сталей. Инструмент простой формы из быстрорежущей стали иногда для уменьшения содержания остаточного аустенита непосредственно сразу после закалки (во избежание стабилизации аустенита) охлаждают до  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  (обработка холодом). При охлаждении от комнатной температуры до  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  образуется дополнительно около 15–20% мартенсита (от общего объема стали) и после обработки холодом сохраняется 10–15% остаточного аустенита аустенита (допустимо более глубокое охлаждение вплоть до температуры жидкого азота ( $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), но это не ведет к его уменьшению). При прямом погружении в жидкий азот возникают дополнительные эффекты, кроме превращения аустенита в мартенсит - выделения из мартенсита карбидов, микропластическая деформация и др.

График термической обработки быстрорежущей стали с обработкой холодом приведен на рис. 3.2.

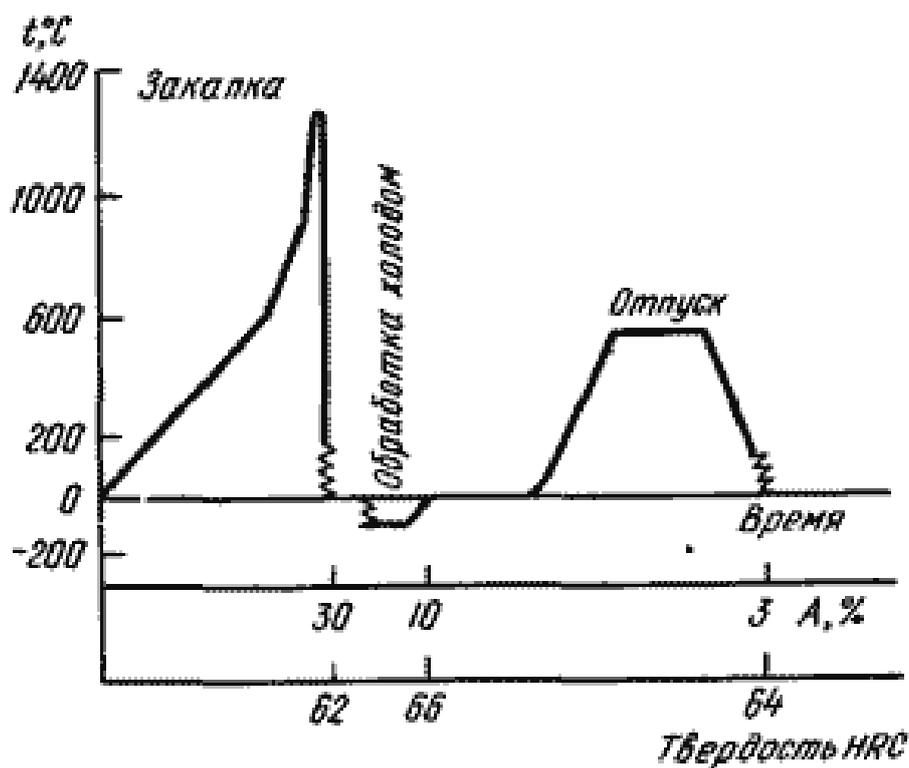


Рис. 3.2. Режим термической обработки инструментов из быстрорежущей стали с обработкой холодом

**Вопрос 4.** Для обшивки некоторых элементов конструкций самолетов используется сплав МА11: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относиться данный сплав; б) опишите структуру и его механические характеристики.

МА11 - магниевый деформируемый сплав.

Таблица 1

Химический состав в % материала МА11

Fe	Si	Mn	Ni	Al	Cu	Be	Mg	Zn	Nd	Примесей
до 0.03	до 0.1	1.5 - 2.5	0.1 - 0.22	до 0.1	до 0.03	до 0.002	96.82 - 98.4	до 0.2	2.5 - 3.5	всего 0.3

Примечание: **Mg** - основа; процентное содержание **Mg** дано приблизительно

Сплав основан на базе системы Mg–PЗМ, основной легирующий элемент в этих сплавах – неодим (2,5–3,5%), также дополнительно легирован марганцем и никелем.

Марганец частично растворяется не только в жидком, но и твердом магнии, но в небольших количествах. Марганец образует с магнием диаграмму состояния перитектического типа (рис. 4.1).

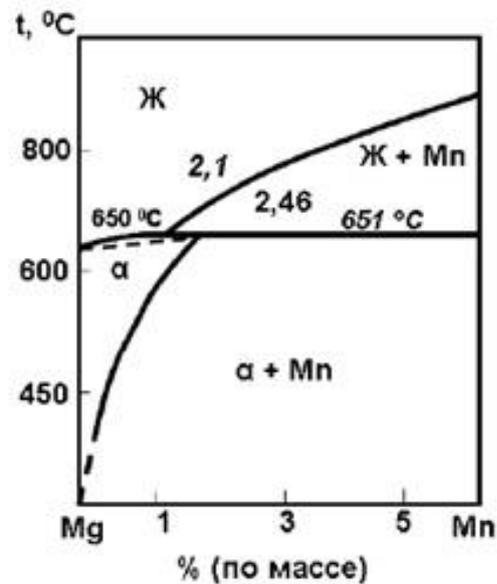


Рис. 4.1. Диаграммы состояния систем Mg–Mn

Алюминий и цинк хорошо растворяются в магнии (рис. 4.2).

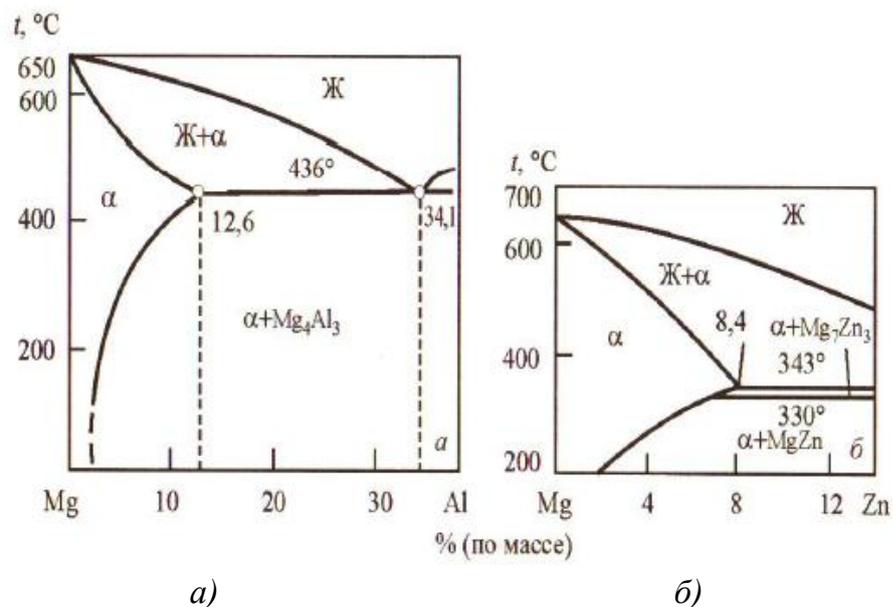


Рис. 4.2. Диаграммы состояния систем Mg–Al (а) и Mg–Zn (б)

Сплав характеризуется грубой кристаллической структурой. Неодим обеспечивает высокую жаропрочность, которая обусловлена достаточной стабильностью твердого раствора и небольшой скоростью коагуляции упрочняющей фазы  $Mg_9Nd$  при температуре эксплуатации.

В сплавах магния с РЗМ марганец и никель существенно повышают их сопротивление ползучести, длительную прочность и в меньшей степени временное сопротивление разрыву.

Рис. 4.3 иллюстрирует влияние различных элементов на временное сопротивление разрыву и относительное удлинение магния

Упрочняющее действие алюминия и цинка сохраняется лишь до температур 150...200°C (рис. 4.4).

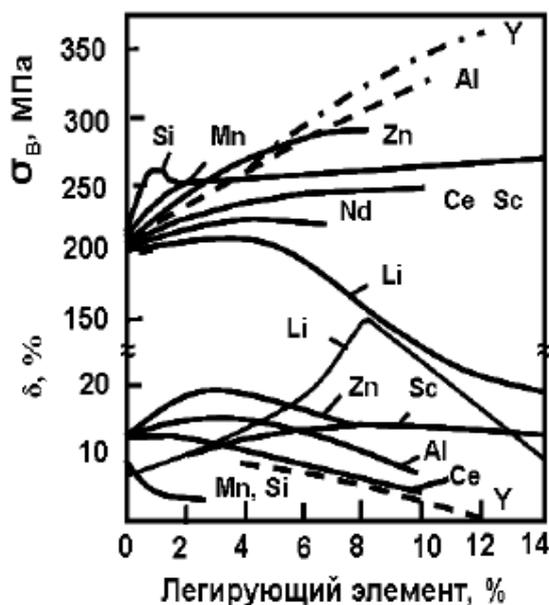


Рис. 4.3. Влияние легирующих элементов на временное сопротивление разрыву и относительное удлинение магния при 20°C (прессованные прутки)

Сплав МА11 применяется для деталей, нагреваемых в процессе эксплуатации; предельная рабочая температура: 250°C - длительная, 300 °C - кратковременная.

По временному сопротивлению разрыву при комнатной температуре сплав МА11 относится к сплавам средней прочности, но его прочностные свойства с повышением температуры снижаются менее

интенсивно, чем у других деформируемых магниевых сплавов. Сплав МА11 термически упрочняется.

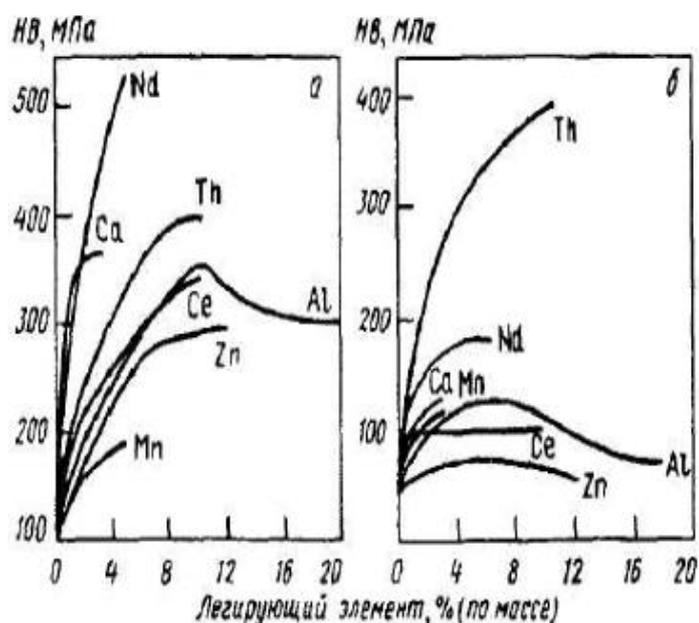


Рис. 4.4. Влияние легирующих элементов на твердость магния при температурах 150°C (а) и 250°C (б) (М.Е. Дриц)

Таблица 2

Механические свойства МА11 при T = 20°

Сортамент	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta_5$ , %	КСУ, кДж / м <sup>2</sup>
Пруток	260-280	130-160	5-14	35

Свойства сплава определяются термической обработкой. Термическая обработка магниевых и алюминиевых сплавов имеет много общего, что объясняется отсутствием полиморфных превращений в этих металлах и близостью температур плавления.

Магниевые сплавы подвергают:

Гомогенизационному отжигу. Низкие скорости диффузионных процессов в твердом магнии приводят в условиях неравновесной кри-

сталлизации к сильному развитию дендритной ликвации (даже при малых скоростях охлаждения), а дендритная ликвация снижает механические свойства и технологическую пластичность. Поэтому перед деформацией сплавы подвергают гомогенизационному отжигу.

Рекристаллизационному отжигу, он понижает прочность, но повышает пластичность магниевых сплавов и в значительной мере устраняет анизотропию свойств полуфабрикатов в продольном и поперечном направлениях. При выборе режимов данного отжига необходимо учитывать склонность к росту зерна при повышенных температурах.

Отжигу для снятия остаточных напряжений. Эту обработку проводят при температурах, при более низких, чем используемые для рекристаллизации, сразу же после технологической обработки, создающей остаточные напряжения (деформация).

Закалке и старению для повышения прочностных свойств. Критические скорости охлаждения невысоки, и фиксация гомогенного состояния, соответствующего температуре нагрева под закалку, происходит уже при охлаждении на воздухе. Лишь для некоторых сплавов необходимо охлаждение струями воздуха или подогретой до 80-95°C водой.

Закалка приводит к существенному повышению прочностных, а иногда и пластических свойств сплавов; особенно это относится к литейным сплавам.

Естественного старения после закалки не происходит. Продолжительность искусственного старения магниевых сплавов значительно больше, чем алюминиевых. Искусственное старение магниевых сплавов повышает прочностные свойства закаленного материала, но эффект упрочнения значительно невелик.

Коррозионная стойкость сплава МА11 крайне низка из-за легирования никелем, поэтому почти полностью вытеснил сплав МА12

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
Методические указания .....	5
<u>Часть I. Металловедение</u> .....	5
<u>Часть II. Неметаллические материалы</u> .....	25
<u>Часть III. Композиционные и наноструктурные материалы</u> .....	28
<u>Часть IV. Научные основы выбора материала</u> .....	29
Контрольная работа .....	31
Задания на контрольную работу .....	31
Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины .....	45
Библиографический список .....	47
Приложение .....	51