

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

сборник тестов для самоподготовки
к итоговому и текущему контролю

ПРИДНЕСТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. Т.Г. Шевченко

Инженерно-технический институт
Кафедра машиноведения и технологического оборудования

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

сборник тестов для самоподготовки
к итоговому и текущему контролю

Тирасполь
2019

УДК 620.22 (076.5)

ББК 30.3я 73

Ю83

Составители:

Е.В. Юрченко к.т.н.; О.Е. Юрченко старший преподаватель.

Рецензенты:

В.Г. Звонкий, к.т.н., доц зав. каф. АТ и ПК ПГУ

им.Т.Г.Шевченко

И.В. Яковец, к.т.н, доц. каф. АТ и ПК ПГУ

им.Т.Г.Шевченко

Сборник тестов для самоподготовки к итоговому и текущему контролю по дисциплине «Материаловедение»:

Учебно-методическое пособие/ Е.В. Юрченко, О.Е. Юрченко, составление. - Тирасполь: электронное издание ПГУ, 2019 -5,5 п. л.-10экз.

Изложен краткий теоретический материал по всем разделам преподаваемого курса дисциплины «Материаловедение». К каждому разделу приведены тестовые вопросы, которые содержат по четыре альтернативных ответа.

Пособие предназначено для закрепления теоретических знаний, полученных студентами на занятиях по материаловедению и дает возможность студентам самостоятельно подготовиться к контролю знаний в тестовой форме.

Для студентов инженерных специальностей очной и заочной форм обучения.

Рекомендовано Научно-методическим советом ПГУ
им.Т.Г.Шевченко

© Юрченко Е.В., Юрченко О.Е., составление, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Введение	5
1	Атомно-кристаллическое строение металлов.	6
	1.1 Электронное строение и классификация металлов. .	6
	1.2 Кристаллическое строение металлов и дефекты кристаллических структур.	7
	. . .	
	Вопросы к разделу 1.	12
2	Теория сплавов.	21
	2.1. Кристаллизация металлов.	21
	Вопросы к разделу 2.1.	23
	2.2. Виды сплавов.	27
	Вопросы к разделу 2.2.	29
	2.3. Диаграммы состояния.	31
	Вопросы к разделу 2.3.	38
3	Механические свойства, деформация и рекристаллизация металлов.	44
		
	Вопросы к разделу 3.	49
4	Железоуглеродистые сплавы (структурный и фазовый составы)	65
	Вопросы к разделу 4.	68
5	Классификация и маркировка сталей и сплавов.	85
	Вопросы к разделу 5.	89
6	Теория термообработки.	102
	Термическая и химико-термическая обработка сталей.	
	Вопросы к разделу 6.	111
7	Цветные металлы и их сплавы.	128
	7.1 Медь и её сплавы.	128
	Вопросы к разделу 7.1.	130
	7.2 Алюминий и его сплавы.	133
	Вопросы к разделу 7.2.	136
	7.3 Титан.	141
	Вопросы к разделу 7.3.	143

7.4	Магний.	145
	Вопросы к разделу 7.4.	147
7.5	Бериллий.	150
	Вопросы к разделу 7.5.	151
7.6	Антифрикционные (подшипниковые) материалы.	153
	Вопросы к разделу 7.6.	153
8	Металлы и сплавы с особыми свойствами и электротехнические материалы.	154
		
	Вопросы к разделу 8.	161
9	Неметаллические и композиционные материалы	170
	Вопросы к разделу 9.	177
	Список литературы	187

Введение.

Изучения дисциплины “Материаловедение” способствует формированию у обучающихся мышления, необходимого для решения практических задач, связанных с установлением взаимосвязи между составом, строением и свойствами материалов; а также знания об основных группах материалов, их свойствах, технологиях упрочнения и областях применения.

Работа по освоению курса предусматривает как аудиторные занятия, так и самостоятельные. Данное пособие предназначено для внеаудиторной работы над курсом и самостоятельной подготовки к текущему и итоговому контролю. В основу данного пособия положено изучение теоретического материала, его осмысление, закрепление, контроль приобретенных знаний.

Контроль знаний как рубежных так и итоговых происходит с использованием компьютерного тестирования, что позволяет повысить объективность оценки знаний студентов (исключить фактор субъективного отношения преподавателя к данному студенту) и улучшить эффективность использования учебного времени. Кроме того, появляется возможность внедрить рейтинговый метод оценки знаний студента, при котором итоговая оценка за семестр (год) складывается как средний бал по результатам сдачи промежуточных сдачи промежуточных (по темам) и окончательных (по курсам) тестов.

1. Атомно-кристаллическое строение металлов.

1.1 Строение и классификация металлов.

Металлы, или вещества, находящиеся в металлическом состоянии, обладают электронным строением, характеризующимся наличием незаполненных подуровней в валентной зоне. Валентные электроны не связаны с определенными атомами, а принадлежат всему металлическому телу, образуя электронный газ, окружающий каркас из положительно заряженных ионов.

Металлическая связь между атомами ненаправленная. Каждый атом стремится окружить себя как можно большим числом соседних атомов, следствием чего является высокая компактность металлов.

Электроны, образующие электронный газ, называют **электронами проводимости**, поскольку они легко перемещаются во внешнем электрическом поле, создавая электрический ток.

Недостроенность валентных энергетических зон металлов определяет их высокую электропроводность, теплопроводность, металлический блеск и другие свойства. Все металлы имеют положительный температурный коэффициент электрического сопротивления, т.е. при $T \rightarrow 0^\circ\text{C}$ $R \rightarrow 0$ (у полупроводников и неметаллов при $T \rightarrow 0^\circ\text{C}$ $R \rightarrow \infty$).

По ряду характерных признаков металлы делят на две группы: **черные** и **цветные**. К черным относят железо и его сплавы (стали, чугуны). Остальные металлы и сплавы на их основе – цветные. Нередко к металлам железной группы относят Ni, Co и Mn.

Металлы с температурой плавления выше 1800°C называют **тугоплавкими**. К ним принадлежат Ti, Zr, Cr, V, Nb, Mo, W и др.

Металлы с низкой температурой плавления (Hg, Sn, Bi, Cd, Pb, Zn, Sb и др.) относят к **легкоплавким**.

К **легким** относятся металлы с низкой плотностью. К ним принадлежат нашедшие широкое техническое применение Mg, Be, Al, Ti.

Металлы (Ag, Au, Os, Ir, Pt, Rh, Pd и др.) составляют группу **благородных**. Они химически инертны. К благородным металлам часто относят медь, обладающую химической стойкостью в сухой атмосфере.

Ряд металлов (Fe, Ni, Co, Gd), в связи с особенностями их электронного строения, обладает **ферромагнетизмом** - способностью сильно намагничиваться во внешнем магнитном поле. Основные свойства **ферромагнетиков** определяются доменной структурой их кристаллов.

1.2 Кристаллическое строение металлов и дефекты кристаллических структур.

Большинство металлов имеют кристаллическую решетку. Положительно заряженные ионы, образующие каркас металлического тела, совершают непрерывные тепловые колебания около точек, закономерно расположенных в определенных местах пространства. Эти точки являются узлами воображаемой пространственной **кристаллической решетки**. Наименьший объем кристалла, при трансляции которого по координатным осям воспроизводится вся кристаллическая решетка, называют **элементарной кристаллической ячейкой**. Ячейка характеризуется параметрами a , b и c - **периодами кристаллической решетки** (расстояниями между атомами, расположенными на ребрах ячейки, направленных по осям x , y и z соответственно) и углами между координатными осями - α (между осями x и z), β (между y и z), γ (между x и y).

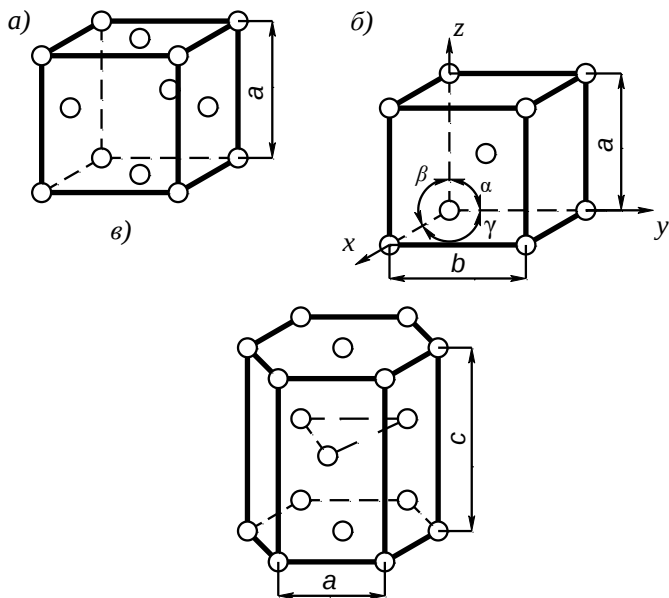


Рис. 1. Кристаллические решётки: а – гранецентрированный куб (ОЦК); б – объемноцентрированный куб (ГЦК); в- гексагональная плотно упакованная (ГПУ)

Различают простые и сложные кристаллические решетки. В элементарной ячейке **простой** решетки атомы (ионы) расположены только в вершинах образующего ячейку многогранника. В **сложных** - они могут находиться также внутри многогранника или на его гранях.

Металлы имеют сложные кристаллические решетки. В большинстве случаев – это **кубическая объемноцентрированная** (ОЦК), **кубическая гранецентрированная** (ГЦК) и **гексагональная плотноупакованная** (ГПУ).

Размеры элементарной ячейки определяются размерами образующих ее атомов. При этом полагают, что атомы, представляемые в виде жестких шаров, касаются

друг друга в направлениях ячейки с наиболее плотным их расположением.

Во многих случаях в разных температурных интервалах один и тот же металл обладает различными кристаллическими решетками. Такое явление носит название **полиморфизм** или **аллотропия**.

Важными характеристиками кристаллической решетки являются коэффициент компактности, координационное число, базис.

Коэффициент компактности - это отношение объема принадлежащих кристаллической ячейке атомов к объему всей ячейки. Следует иметь в виду, что в кристаллической решетке часть атомов, составляющих ячейку, относится не только к данной ячейке, но и к ячейкам, находящимся по соседству. Например, атом, расположенный в вершине кубической ячейки (простая кубическая, ОЦК, ГЦК) принадлежит еще семи соседним ячейкам, т.е. данной ячейке принадлежит лишь $1/8$ атома. Коэффициент компактности простой кубической решетки равен 52%, ОЦК - 68%, ГЦК - 74% (столь же компактна решетка ГПУ).

Координационное число - это число атомов, находящихся в кристаллической решетке на равном наименьшем расстоянии от данного атома. Каждый атом простой кубической решетки имеет 6 ближайших соседей, расположенных на расстоянии длины ребра куба (на расстоянии периода решетки). Координационное число такой решетки обозначают K_6 . В ОЦК решетке у каждого атома 8 ближайших соседей и координационное число равно 8 (K_8). В ГЦК и ГПУ решетках каждый атом имеет 12 ближайших соседей (K_{12}).

Чем выше координационное число, тем плотнее пространственная кристаллическая решетка материала.

Базис кристаллической решетки - это таблица координат атомов, принадлежащих элементарной ячейке, рассматриваемой в пространственных координатных осях.

Базис простой кубической решетки (0,0,0), ОЦК - (0,0,0; 1/2,1/2,1/2), ГЦК- (0,0,0; 1/2,0,1/2; 0,1/2,1/2; 1/2,1/2,0).

Пространственное положение кристаллографических плоскостей (плоскостей, проходящих через определенные группы атомов кристаллической решетки), а также кристаллографических направлений характеризуется кристаллографическими индексами.

В различных направлениях кристаллической решетки плотность расположения атомов различна, что влечет за собой различие в свойствах кристалла в зависимости от направления, в котором это свойство измерено - **анизотропию**. В поликристаллических телах в пределах отдельных зерен наблюдается явление анизотропии. Однако, поскольку ориентация кристаллической решетки в различных зернах различна, в целом по куску материала свойства усредняются. Поэтому реальные металлы являются **изотропными**, т.е. телами с примерно одинаковыми свойствами по всем направлениям. Поскольку их изотропность является не истинной, а усредненной, то их принято называть **квазиизотропами**. Если каким-либо способом, например давлением, сориентировать кристаллические решетки в зернах одинаково (создать текстуру деформации), то такое поликристаллическое тело станет анизотропным.

Реальные кристаллы всегда содержат **дефекты** - искажения правильного расположения атомов в пространстве. Различают точечные, линейные, поверхностные и объемные дефекты.

Точечные дефекты по размерам сравнимы с межатомными расстояниями. К ним относятся вакансии (отсутствие атома в узле кристаллической решетки), межузельные или дислоцированные атомы (атом находится в межузельном пространстве кристаллической решетки) и примесные атомы. Среди последних различают атомы замещения (чужеродный атом занимает место в узле

кристаллической решетки) и атомы внедрения (чужеродный атом находится в межузельном пространстве решетки).

Линейные дефекты по размерам в двух направлениях сравнимы с межатомными расстояниями, а в третьем простираются на многие тысячи периодов кристаллической решетки. Важнейшими видами линейных несовершенств являются краевые (линейные) и винтовые дислокации.

Образование **краевых дислокаций** вызвано присутствием в кристаллической решетке неполных кристаллографических плоскостей. Такие полуплоскости, не имеющие продолжения в нижней или верхней частях кристаллической решетки, называются **экстраплоскостями**. Краевая дислокация представляет собой область упругих искажений, проходящих вдоль края экстраплоскости.

Винтовая дислокация - это область упругих искажений кристаллической решетки, проходящая вдоль линии, вокруг которой атомные плоскости изогнуты по винтовой поверхности. В зависимости от направления изгиба различают правые и левые винтовые дислокации.

Дислокации (краевые и винтовые) не могут обрываться внутри кристалла. Они выходят на границы кристалла, прерываются другими дислокациями или образуют дислокационные петли.

Поверхностные дефекты малы только в одном направлении. Они представляют собой упругие искажения кристаллической решетки по границам зерен или их фрагментов (блоков мозаичной структуры). Различают большеугловые (высокоугловые) и малоугловые (низкоугловые) границы.

Объемные дефекты представляют собой искажения решетки, вызванные наличием пор, трещин, раковин и других макроскопических нарушений непрерывности кристаллической решетки.

Вопросы к разделу

- 1.1. *К какой группе металлов принадлежит железо и его сплавы?*
- a. К тугоплавким.
 - b. К черным.
 - c. К диамагнетикам.
 - d. К металлам с высокой удельной прочностью.
- 1.2. *Какой из приведенных ниже металлов (сплавов) относится к черным?*
- a. Латунь.
 - b. Коррозионно-стойкая сталь.
 - c. Баббит.
 - d. Дюралюмины.
- 1.3. *Как называют металлы с температурой плавления выше 18000С?*
- a. Тугоплавкими.
 - b. Благородными.
 - c. Черными.
 - d. Редкоземельными.
- 1.4. *Какая группа из приведенных ниже металлов относится к благородным?*
- a. Au, Pt, Ag, Os
 - b. Mg, Be, Al, Pb
 - c. Ti, Zr, Cr, Nb
- 1.5. *В какой из приведенных ниже групп содержатся только легкие металлы?*
- a. Титан, медь.
 - b. Серебро, хром.
 - c. Алюминий, олово.
 - d. Магний, бериллий.
- 1.6. *Что является одним из признаков металлической связи?*
- a. Скомпенсированность собственных моментов электронов.

- b. Образование кристаллической решетки.
 - c. Обобществление валентных электронов в объеме всего тела.
 - d. Направленность межатомных связей.
- 1.7. *Какой из признаков принадлежит исключительно металлам?*
- a. Металлический блеск.
 - b. Наличие кристаллической структуры.
 - c. Высокая электропроводность.
 - d. Прямая зависимость электрического сопротивления от температуры.
- 1.8. *Для кристаллического состояния вещества характерны ... (несколько вариантов ответа)*
- a. Ковкость
 - b. Наличие дальнего порядка в расположении частиц
 - c. Анизотропия свойств
 - d. Высокая электропроводность
 - e. Наличие только ближнего порядка в расположении частиц.
- 1.9. *Какому материалу может принадлежать кривая В зависимости электрического сопротивления от температуры (рис. 2)?*
- a. Любому металлическому материалу.
 - b. Неметаллическим материалам.
 - c. Меди.
 - d. Полупроводниковым материалам.

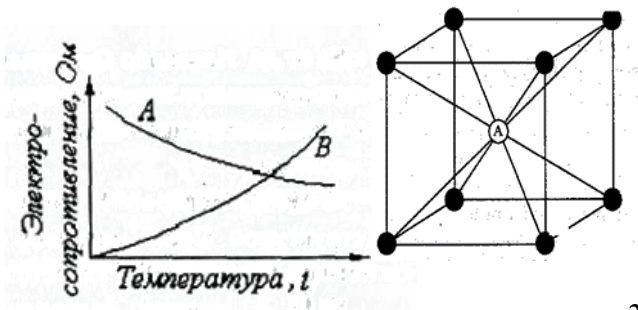


рис 2

рис. 3

- 1.10. Какому материалу может принадлежать кривая A зависимости электрического сопротивления от температуры (рис. 2)?
- Полимерным материалам.
 - Металлическим материалам.
 - Любому неметаллическому материалу.
 - Полупроводниковым материалам.
- 1.11. Как называется явление, заключающееся в неоднородности свойств металла в различных направлениях?
- Изотропность
 - Анизотропия
 - Текстура
 - Полиморфизм
- 1.12. К какому типу кристаллической структуры относится приведенная на рисунке 3 элементарная ячейка кристаллической решетки?
- ОЦК
 - ГЦК
 - ГПУ
- 1.13. Что такое элементарная кристаллическая ячейка?
- Тип кристаллической решетки, характерный для данного химического элемента.

- б. Минимальный объем кристаллической решетки, при трансляции которого по координатным осям можно воспроизвести всю решетку.
- с. Кристаллическая ячейка, содержащая один атом.
- д. Бездефектная (за исключением точечных дефектов) область кристаллической решетки.

1.14. *Что такое базис кристаллической решетки?*

- а. Минимальный объем кристаллической решетки, при трансляции которого по координатным осям можно воспроизвести всю решетку.
- б. Расстояние между соседними одноименными кристаллическими плоскостями.
- с. Число атомов, находящихся на наименьшем равном расстоянии от любого данного атома.
- д. Совокупность значений координат всех атомов, входящих в элементарную ячейку.

1.15. *Какие из представленных на рисунке элементарных ячеек кристаллических решеток относятся к простым (рис. 4)?*

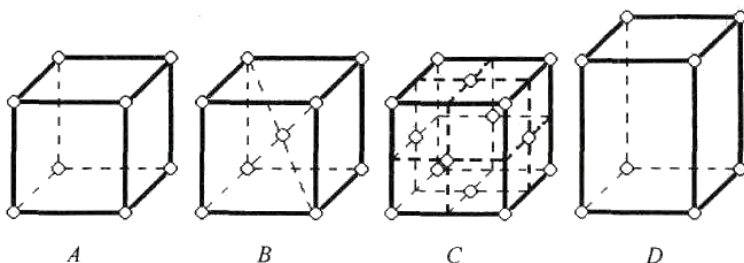


рис. 4

- а. А и D.
- б. В и С.
- с. А и С.
- д. В и D.

1.16. *Сколько атомов принадлежит представленной на рис. 5 элементарной ячейке?*

- а. 8.

- b. 6.
- c. 4.
- d. 14.

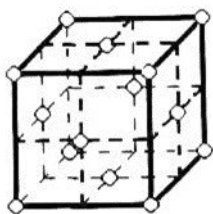


рис. 5

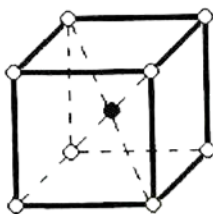


рис. 6

○ - компонент А

● - компонент В

1.17. Какова химическая формула сплава, кристаллическая решетка которого представлена на рис. 6?

- a. A_2B .
- b. A_8B .
- c. A_4B .
- d. AB

1.18. Как называется свойство, состоящее в способности вещества существовать в различных кристаллических модификациях?

- a. Полиморфизм.
- b. Изомерия.
- c. Анизотропия.
- d. Текстура.

1.19. Как называется характеристика кристаллической решетки, определяющая число атомов, находящихся на наименьшем равном расстоянии от любого данного атома?

- a. Базис решетки.
- b. Параметр решетки.
- c. Коэффициент компактности.
- d. Координационное число.

1.20. Каково координационное число кристаллической решетки, элементарная ячейка которой представлена на рис. 7?

- a. K12.
- b. K6
- c. Г12.
- d. K8

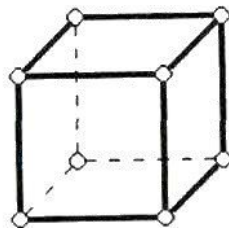


рис. 7

1.21. Какое из изменений характеристик кристаллической решетки приведет к росту плотности вещества?

- a. Увеличение параметров решетки.
- b. Уменьшение количества пор в элементарной ячейке.
- c. Увеличение числа атомов в ячейке.
- d. Увеличение координационного числа.

1.22. Как называется характеристика кристаллической решетки, определяющая отношение объема атомов, приходящихся на элементарную ячейку, к объему ячейки?

- a. Коэффициент компактности.
- b. Координационное число.
- c. Базис решетки.
- d. Параметр решетки.

1.23. Как называется явление, заключающееся в неоднородности свойств материала в различных кристаллографических направлениях?

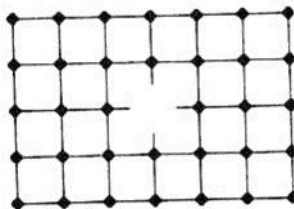
- a. Изотропность.
- b. Анизотропия.
- c. Текстура.
- d. Полиморфизм.

1.24. Какие тела обладают анизотропией?

- a. Текстурированные поликристаллические материалы.

- b. Ферромагнитные материалы.
- c. Поликристаллические вещества.
- d. Аморфные материалы.

1.25. К какой группе дефектов кристаллических структур можно отнести дефект представленного на рис. 8 фрагмента кристаллической решетки?



- a. К точечным.
- b. К линейным.
- c. К поверхностным.
- d. К объемным.

рис.8

1.26. Какую группу дефектов представляют собой искажения, охватывающие области в радиусе 6 ... 7 периодов кристаллической решетки?

- a. Поверхностные.
- b. Объемные.
- c. Точечные.
- d. Линейные.

1.27. Как называется дефект, вызванный отсутствием атома в узле кристаллической решетки?

- a. Дислокация.
- b. Пора.
- c. Вакансия.
- d. Междоузельный атом.

1.28. Какого рода дефект кристаллической структуры представлен на рис. 9?

- a. Примесный атом внедрения.
- b. Междоузельный атом.

- с. Примесный атом замещения.
- d. Вакансия.

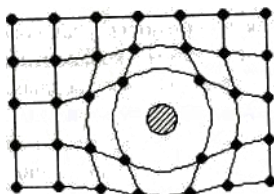


рис 9

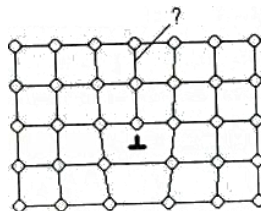


рис 10

- 1.29. Как называется элемент кристаллической структуры, помеченный на рис. 10 знаком вопроса?
- a. Плоскость скольжения.
 - b. Краевая дислокация.
 - с. Цепочка межузельных атомов.
 - d. Экстраплоскость.
- 1.30. Как называются дефекты, измеряемые в двух направлениях несколькими периодами, а в третьем - десятками и сотнями тысяч периодов кристаллической решетки?
- a. Межузельные атомы.
 - b. Поверхностные дефекты.
 - с. Дислокации
 - d. Микротрещины
- 1.31. Вакансия является дефектом:
- a. Линейным
 - b. Поверхностным
 - с. Объёмным
 - d. Точечным
- 1.32. Дислокация является дефектом:
- a. Поверхностным
 - b. Объёмным
 - с. Точечным
 - d. Линейным
- 1.33. Что такое экстраплоскость?

- a. Плоскость раздела фрагментов зерна или блоков мозаичной структуры.
 - b. Поверхностный дефект кристаллической решетки.
 - c. Атомная полуплоскость, не имеющая продолжения в нижней или верхней частях кристаллической решетки.
 - d. Атомная плоскость, по которой происходит скольжение одной части кристалла относительно другой.
- 1.34. *Как называется дефект, представляющий собой область искажений кристаллической решетки вдоль края экстраплоскости?*
- a. Краевая дислокация.
 - b. Цепочка вакансий.
 - c. Микротрещина.
 - d. Винтовая дислокация.
- 1.35. *Какой из перечисленных ниже металлов может существовать в различных полиморфных модификациях?*
- a. Медь
 - b. Магний
 - c. Железо
 - d. Хром
- 1.36. *Какая из перечисленных групп металлов имеет гексагональную плотноупакованную решетку (ГПУ)?*
- a. Вольфрам, железо, ниобий
 - b. Серебро, медь, золото
 - c. Цинк, магний, кадмий
- 1.37. *Какая из перечисленных групп металлов имеет кубическую гранецентрированную решетку (ГЦК)?*
- a. Цинк, магний, кадмий
 - b. Ванадий, молибден, ниобий

- с. *Свинец, медь, алюминий*
- 1.38. *При растворении компонентов друг в друге образуются твердые растворы (несколько вариантов ответа)*
- а. Замещения
 - б. Внедрения
 - с. Коллоидные
 - д. Истинные.
- 1.39. *Образование новых равноосных зерен из деформированных кристаллов называется:*
- а. Возвратом
 - б. Наклепом
 - с. Рекристаллизацией
 - д. Полигонизацией
- 1.40. *Кристаллы неправильной формы называются:*
- а. Кристаллитами или зернами
 - б. Монокристаллами
 - с. Блоками
 - д. Дендритами

2. Теория сплавов

2.1. Кристаллизация металлов

Кристаллизация - это переход жидкости в твердое (кристаллическое) состояние. Как всякий спонтанный процесс, кристаллизация протекает при термодинамических условиях, обеспечивающих снижение энергии Гиббса системы.

Кристаллизация складывается из двух элементарных процессов - зарождения центров кристаллизации и роста кристаллов из этих центров. Скорость каждого из процессов зависит от степени переохлаждения (n) жидкости относительно равновесной температуры, т.е. температуры, при которой энергии Гиббса жидкого и

кристаллического состояний равны. При $n = 0$ образование зародышей кристаллов (центров кристаллизации) невозможно, поскольку равен нулю движущий фактор процесса (разность энергий Гиббса жидкого и твердого состояний). С увеличением переохлаждения эта разность растет, вызывая увеличение скорости возникновения центров (числа центров - ч.ц.) и скорости роста кристаллов (с.к.). Однако, с увеличением n снижается диффузионная подвижность атомов, что вызывает торможение обоих элементарных процессов. При значительном переохлаждении атомы становятся столь малоподвижными, что кристаллизация полностью подавляется.

При небольших значениях n (при малых величинах ч.ц. и больших с.к.) образуются крупнозернистые структуры. С увеличением переохлаждения структуры измельчаются (ч.ц. возрастает быстрее, чем с.к.). От степени переохлаждения зависит критический размер зародыша, т.е. такой минимальный размер, при котором рост зародыша сопровождается снижением энергии Гиббса системы. Зародыши мельче критического к росту не способны и растворяются в жидкости. Чем больше степень переохлаждения жидкости, тем меньше критическая величина зародыша.

При кристаллизации кристаллы, окруженные со всех сторон жидкостью, имеют более или менее правильную геометрическую форму. При столкновении растущих кристаллов форма нарушается, становится неправильной, так как рост граней на участках соприкосновения прекращается. Такие искаженные кристаллы называют **кристаллитами** или **зернами**. Таким образом, форма и размер образовавшихся в результате кристаллизации зерен определяются условиями столкновения растущих кристаллов.

В реальных условиях форма и размер образующихся кристаллов, помимо условий столкновения, зависят от направления и скорости отвода теплоты, температуры жидкого металла, вида и количества примесей (при росте кристаллов на частицах примесей, играющих роль готовых центров, образование зародышей называют **гетерогенным** в отличие от **гомогенного** - самопроизвольного образования). Нередко при кристаллизации возникают разветвленные древовидные кристаллы, называемые **дендритами**.

Вопросы к разделу

2.1 При какой (каких) температуре(ах) возможен процесс кристаллизации (рис. 11)?

- a. t_2 и t_3
- b. t_1 и t_2
- c. t_1 и t_3

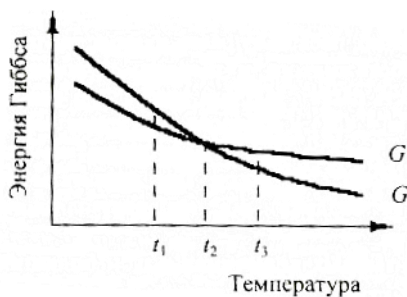


рис. 11

2.2 Какими факторами определяется кристаллизация?

- a. Числом частиц нерастворимых примесей и наличием конвективных потоков.
- b. Числом центров кристаллизации и скоростью роста кристаллов из этих центров
- c. Степенью переохлаждения сплава.
- d. Скоростью отвода тепла.

2.3 Чем определяется форма зерен металла?

- a. Условиями столкновения растущих зародышей правильной формы

- b. Формой частиц нерастворимых примесей, на которых протекает кристаллизация
- c. Интенсивностью тепловых потоков
- d. Формой кристаллических зародышей.

2.4 *Как зависит размер зерен металла от степени переохлаждения его при кристаллизации?*

- a. Чем больше степень переохлаждения, тем крупнее зерно
- b. Размер зерна не зависит от степени переохлаждения
- c. Чем больше степень переохлаждения, тем мельче зерно
- d. Зависимость неоднозначна: с увеличением переохлаждения зерно одних металлов растет, других - уменьшается.

2.5 *Как называется структура, схема которой представлена на рис. 12?*

- a. Дендрит
- b. Блок мозаичной структуры
- c. Сложная кристаллическая решетка
- d. Ледебурит.

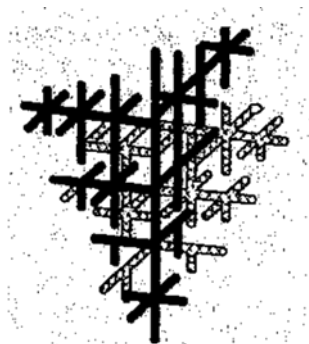


рис. 12

2.6 *К типам структуры металлического сплава не относятся:*

- a. Химическое соединение,
- b. Твёрдый раствор
- c. Высокомолекулярные соединения
- d. Смеси

2.7 *При температуре, меньшей, чем температура плавления, наименьшей свободной энергией обладают системы атомов:*

- a. В газообразном состоянии
 - b. В жидком состоянии
 - c. В твердом состоянии
 - d. В виде плазмы
- 2.8 При изменении внешних условий (например, при изменении температуры) система стремится к состоянию:
- a. С наибольшим уровнем свободной энергии;
 - b. С наименьшим уровнем свободной энергии;
 - c. С наибольшим уровнем полной энергии;
- 2.9 При температуре $T < T_k$ металл будет находиться в:
- a. Газообразном состоянии;
 - b. Жидком состоянии;
 - c. Твердом состоянии;
- 2.10 При температуре $T > T_n$ (рис.13) металл будет находиться в:
- a. Газообразном состоянии;
 - b. Жидком состоянии;
 - c. Твердом состоянии;

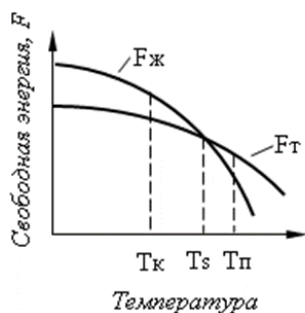


рис.13

- 2.11 Процесс перехода металла из жидкого состояния в кристаллическое можно изобразить в виде:
- a. Кривых охлаждения;
 - b. Изотермической диаграммы;
 - c. Кинетических кривых;

2.12 По графику зависимости скорости роста кристаллов и числа центров кристаллизации от степени переохлаждения (рис.14) укажите величину зерна в зоне I:

- а. Равноосное зерно;
- б. Крупное зерно;
- с. Мелкое зерно;

2.13 По графику зависимости скорости роста кристаллов и числа центров кристаллизации от степени переохлаждения

(рис.14) укажите величину зерна в зоне II:

- а. Равноосное зерно;
- б. Крупное зерно;
- с. Мелкое зерно;

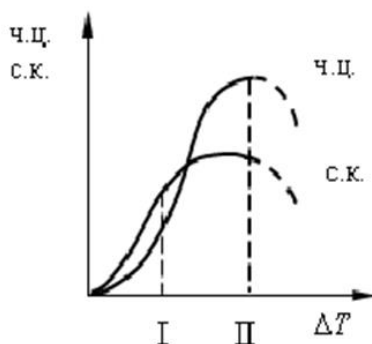


рис. 14

2.14 Механические свойства выше у сплава:

- а. С мелкозернистой структурой;
- б. С крупнозернистой структурой;
- с. С кристаллической структурой;

2.15 Условия теплоотвода, способствующие образованию столбчатых кристаллов

- а. наличие температурного градиента
- б. отсутствие температурного градиента
- с. большая степень переохлаждения

2.16 Изменяется ли относительное удлинение поликристаллического металла с увеличением степени его холодной деформации

- а. остается постоянной
- б. увеличивается
- с. уменьшается

- 2.17 *Процесс образования и роста новых равноосных зерен из деформированных кристаллов*
- а. рекристаллизация
 - б. возврат
 - с. полигонизация
- 2.18 *Изменяется ли коррозионная стойкость при наклепе металла*
- а. не меняется
 - б. понижается
 - с. повышается
- 2.19 *Температурный интервал между равновесной и реальной температурой плавления*
- а. степень переохлаждения
 - б. степень перегрева
 - с. температурный гистерезис
- 2.20 *Разница между равновесной и реальной температурой кристаллизации*
- а. степень переохлаждения
 - б. степень перегрева
 - с. температурный гистерезис
- 2.21 *Разница между реальной температурой плавления и реальной температурой кристаллизации*
- а. степень переохлаждения
 - б. степень перегрева
 - с. температурный гистерезис

2.2. Виды сплавов

Сплавами называют вещества, полученные сплавлением двух или нескольких компонентов. По характеру взаимодействия компонентов различают сплавы: механические смеси, твердые растворы, химические соединения, промежуточные фазы.

При образовании **механических смесей** компоненты химически не взаимодействуют и не растворяются друг в друге. Металлографический анализ структуры обнаружит зерна каждого из входящих в состав сплава компонентов. Механические свойства смесей линейно зависят от соотношения компонентов и являются промежуточными между свойствами чистых компонентов.

В **твердых растворах** компоненты растворяются друг в друге не только в жидком, но и в твердом состоянии. Микроструктура таких сплавов состоит из однородных зерен, имеющих кристаллическую решетку элемента растворителя. Аббревиатура вида $A(B)$ означает твердый раствор, состоящий из компонентов A и B , причем компонент B растворен в кристаллической решетке компонента A .

Механические свойства твердых растворов нелинейно зависят от соотношения компонентов. Они могут быть существенно выше (ниже) свойств любого из образующих сплав компонентов.

Твердые растворы могут быть растворами **замещения** и растворами **внедрения**. В растворах замещения атомы растворенного элемента замещают атомы элемента-растворителя в узлах его кристаллической решетки, в растворах внедрения - внедрены в межузельное пространство. Растворы замещения могут быть **ограниченными** и **неограниченными** (непрерывными). В кристаллической решетке неограниченных твердых растворов $A(B)$ атомы растворенного элемента B могут полностью заместить атомы растворителя A (компоненты A и B изоморфны). В данном случае невозможно установить какой из элементов является растворителем, а какой растворенным веществом. Поэтому аббревиатуры неограниченных растворов $A(B)$ и $B(A)$ идентичны.

Сплав - **химическое соединение** образуется при определенном соотношении компонентов. Ему может быть

приписана химическая формула, например A_nB_m где n и m - число атомов компонентов A и B , образующих соединение (стехиометрические коэффициенты). Соединение имеет собственную кристаллическую решетку, отличную от решеток образовавших его элементов. Механические свойства сплава сильно отличаются от свойств каждого компонента.

Вопросы к разделу

2.22 Микроструктура какого сплава представлена на рис. 15?

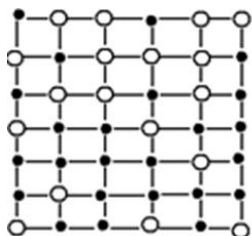
- Твердого раствора внедрения
- Твердого раствора замещения
- Механической смеси
- Химического соединения.



рис.15

2.23 Кристаллическая решетка какого сплава представлена на рис. 16?

- Механической смеси
- Твердого раствора внедрения
- Химического соединения
- Твердого раствора замещения



- компонент А
компонент В

рис.16

2.24 Для каких сплавов компонентов A и B характерно равенство $A(B) = B(A)$?

- Для твердых растворов внедрения
- Для механических смесей.

- с. Для химических соединений
 - д. Для неограниченных твердых растворов.
- 2.25 *Возможна ли 100-процентная концентрация растворяемого компонента в решетке растворителя?*
- а. Возможна в системе с химическими соединениями
 - б. Нет
 - с. Возможна в системе механических смесей
 - д. Возможна в системе неограниченных твердых растворов.
- 2.26 *Компоненты, не способные к взаимному растворению в твердом состоянии и не вступающие в химическую реакцию с образованием соединения образуют:*
- а. Твердые растворы внедрения
 - б. Химические соединения
 - с. Смеси
 - д. Твердые растворы замещения
- 2.27 *При растворении компонентов друг в друге и сохранении решетки одного из компонентов образуются:*
- а. Твердые растворы внедрения
 - б. Химические соединения
 - с. Смеси
 - д. Твердые растворы замещения
- 2.28 *При расположении атомов одного компонента в узлах кристаллической решетки другого компонента (растворителя) образуются:*
- а. Твердые растворы внедрения
 - б. Химические соединения
 - с. Смеси
 - д. Твердые растворы замещения
- 2.29 *Неограниченные твердые растворы замещения образуются в случае:*

- a. Если компоненты имеют одинаковую кристаллическую решетку и одинаковый атомный радиус;
 - b. Если компоненты имеют одинаковую кристаллическую решетку, а атомные радиусы разнятся;
 - c. Если атомы растворенного вещества с располагаются между атомами а в кристаллической решетке растворителя;
- 2.30 *Фаза формирующаяся в твердом состоянии при неограниченной растворимости компонентов в жидком и твердом состоянии*
- a. Химическое соединение
 - b. Твердый раствор замещения
 - c. Твердый раствор внедрения
- 2.31 *Сплав, обладающий лучшими линейными свойствами*
- a. доэвтектический
 - b. эвтектический
 - c. твердый раствор
- 2.32 *Сплав, обладающий большей жидкотекучестью*
- a. Доэвтектический
 - b. Твердый раствор
 - c. Эвтектический
- 2.33 *Сплав, обладающий большей усадочной раковинной*
- a. Доэвтектический
 - b. Эвтектический
 - c. Заэвтектический

2.3. Диаграммы состояния

Диаграммы состояния в графической форме показывают равновесный фазовый состав сплавов в зависимости от температуры и концентрации компонентов.

Общие закономерности существования фаз в равновесных условиях в математической форме выражаются правилом фаз Гиббса:

$$C = K - F + 1$$

где К - число компонентов, образующих систему; F - число фаз; С - число степеней свободы.

Компонентами называют вещества, образующие систему. **Фаза** - это однородная часть системы, отделенная от других частей (фаз) поверхностью раздела, при переходе через которую свойства вещества меняются скачком. Под **степенями свободы** понимают внешние и внутренние факторы (температура, концентрация), которые можно изменять, не выводя систему из данного фазового состава (используйте правило фаз).

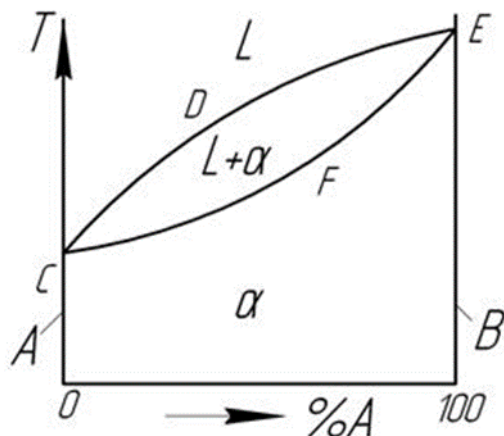
При построении диаграмм состояния используют кривые охлаждения сплавов, полученные при термическом анализе. По точкам перегиба и температурных остановок, вызванных тепловым эффектом превращений, определяют температуры фазовых превращений.

Однокомпонентная диаграмма представляет собой температурную шкалу с нанесенными на нее точками фазовых превращений.

Двухкомпонентная диаграмма помимо температурной оси (оси ординат), имеет ось концентраций (ось абсцисс). Один конец оси абсцисс соответствует чистому компоненту, например А, другой - В. Все промежуточные точки оси соответствуют сплавам с различным соотношением компонентов.

Трехкомпонентные диаграммы имеют вид трехгранной равносторонней призмы, в основании которой лежит концентрационный треугольник, а ребра являются температурными осями. Вершины концентрационного треугольника соответствуют чистым компонентам, стороны - концентрационным осям двойных систем, точки внутри треугольника - тройным сплавам. При определении концентрации компонентов в тройном сплаве через заданную точку (фигуративную точку) треугольника проводят линии, параллельные его сторонам. Отрезок

линии, заключенный между фигуративной точкой и стороной треугольника, отнесенный к длине стороны, равен содержанию компонента (в долях единицы), которому соответствует вершина, противолежащая



стороне.

рис. 17

Диаграмма, подобная представленной на рис. 17, называется диаграммой с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии. Линия диаграммы *CDE* называется линией **ликвидуса**. Выше этой линии все сплавы существуют в виде однофазного жидкого раствора (*L*)

Линия *CFE* - линия **солидуса**. Ниже нее все сплавы находятся в твердом состоянии (в данном случае в виде неограниченного твердого раствора α). Между линиями *CDE* и *CFE* сплавы имеют двухфазный состав ($L + \alpha$).

Химический состав фаз и их относительное количество в сплаве при температуре, соответствующей двухфазной области, определяют с помощью **правила отрезков**.

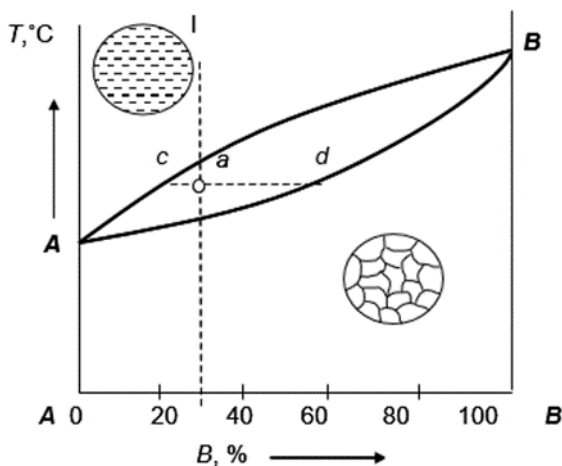


рис. 18

Чтобы определить химический состав фаз, нужно через заданную точку, характеризующую состояние сплава (фигуративную точку), провести **коноду**. Конодой называют горизонтальную линию, лежащую в двухфазной области диаграммы и опирающуюся своими концами на фазовые границы. Проекция концов коноды на ось концентраций покажут состав соответствующих фаз. Отношение длины отрезка, заключенного между фигуративной точкой и одним из концов коноды, к длине всей коноды равно относительному количеству фазы, на границу с которой опирается второй конец коноды. (Используйте правило отрезков при ответе на вопросы).
рис.18

Правило отрезков:

Точки *c* и *d* на коноде (*cad*) показывают состав жидкости и твердого раствора при данной температуре.

Количество жидкости в сплаве при данной температуре определяется пропорцией:

$$ad/cd \cdot 100 \%$$

Количество твердого раствора в сплаве при данной температуре определяется пропорцией:
 $ca/cd \cdot 100 \%$.

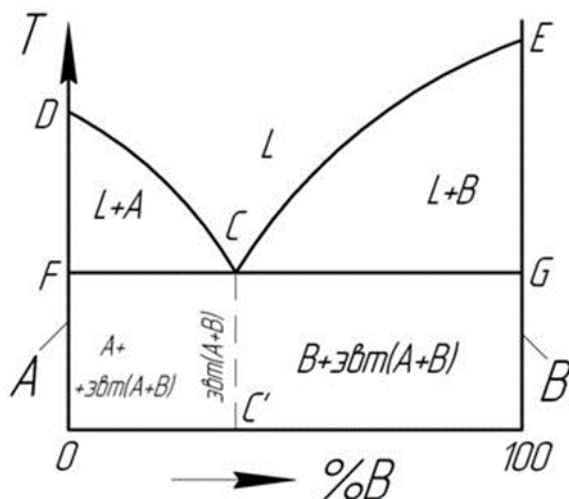


Рис 19 Фазовая диаграмма двухкомпонентной системы A-B с отсутствием растворимости в твердом состоянии

На рис. 19 представлена диаграмма с отсутствием растворимости компонентов в твердом состоянии. Здесь линия DCE - **ликвидус**, FCG - **солидус**. Кристаллизация всех сплавов этой системы заканчивается на линии FCG эвтектическим превращением остатка жидкой фазы в механическую смесь кристаллов компонентов A и B. Образовавшаяся таким образом смесь называется эвтектической или **эвтектикой**. Сплав, кристаллизация которого начинается непосредственно с эвтектического превращения (в данном случае сплав, фигуративная линия которого проходит через точку C), называется **эвтектическим**.

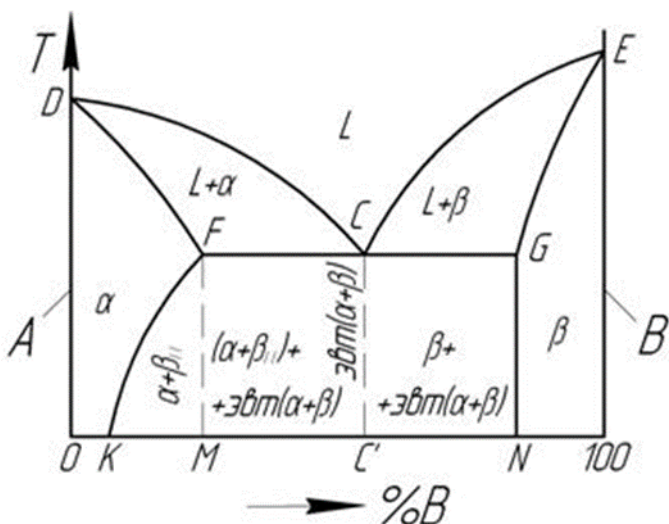


Рис. 20. Фазовая диаграмма двухкомпонентной системы A-B с ограниченной растворимостью в твердом состоянии.

На рис. 20 представлена диаграмма компоненты которых ограничено взаимно растворимы в твердом состоянии. Помимо линий ликвидус и солидус (DCE и $DFCGE$) диаграмма содержит линии KF и NG предельной растворимости компонента В в твердом растворе α ($A(B)$) и компонента А в твердом растворе β ($B(A)$), соответственно. Кристаллизация сплава "с" начинается после пересечения линии ликвидус с выделения кристаллов твердого раствора β . Затем при пересечении линии ECG (линии эвтектики) образуется эвтектическая смесь из твердых растворов α и β . При дальнейшем охлаждении, в связи с уменьшением растворимости компонента А в В (A) выделяются кристаллы твердого раствора α , богатого компонентом А. В конечном счете структура сплава представлена первичными кристаллами β , эвтектикой ($\alpha + \beta$) и вторичными кристаллами α .

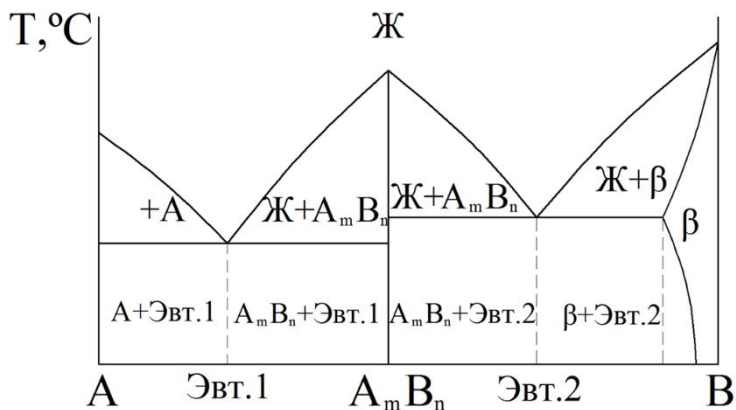


Рис. 21. Фазовая диаграмма двухкомпонентной системы $A-B$ с образованием химического соединения.

Диаграммы с устойчивым химическим соединением (рис. 21) имеют вид двух или нескольких диаграмм, приложенных друг к другу по фигуративной линии химического соединения. Диаграммы с неустойчивым химическим соединением внешне напоминают диаграмму с перитектикой, однако вместо твердого раствора здесь образуется химическое соединение (границы твердого раствора как бы стягиваются в одну вертикальную линию).

Вид диаграмм состояния, в которых компоненты испытывают полиморфные превращения, зависит от характера взаимодействия аллотропических модификаций компонентов. В ряде случаев они напоминают обычные диаграммы, расположенные этажами. Нередко в таких системах встречаются превращения, сходные по виду с эвтектическим, но с распадом не жидкости, а твердого раствора. Превращение подобного типа, в отличие от эвтектического, называют **эвтектоидным**.

Вопросы к разделу

2.34. Какой вид имеет уравнение правила фаз?

- a. $C = K - F + 1$
- b. $C = K + F + 2$
- c. $C = K - F - 1$
- d. $C = F - K + 1$

2.35. Какая диаграмма состояния представлена на рис. 22?

- a. С неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии.
- b. С химическим соединением
- c. С отсутствием растворимости компонентов в твердом состоянии
- d. С ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии.

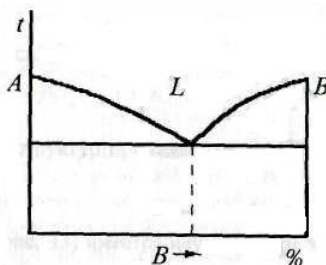


рис. 22

2.36. Что называют эвтектикой?

- a. Вещество, образующееся при некотором соотношении компонентов и имеющее кристаллическую решетку, отличную от решеток, составляющих эвтектику веществ.
- b. Механическая смесь двух компонентов.
- c. Неограниченный твердый раствор компонентов друг в друге
- d. Механическая смесь, образующаяся в результате одновременной кристаллизации компонентов или твердых растворов из жидкого раствора.

2.37. Диаграмма состояния какого типа представлена на рис. 23?

- a. С неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии
- b. С ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии
- c. С неустойчивым химическим соединением
- d. С отсутствием растворимости компонентов в твердом состоянии.

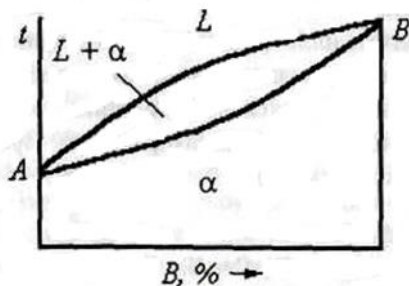


рис. 23

2.38. Какая диаграмма состояния представлена на рис. 24?

- a. С неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии
- b. С ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии
- c. С химическим соединением
- d. С отсутствием растворимости компонентов в твердом состоянии.

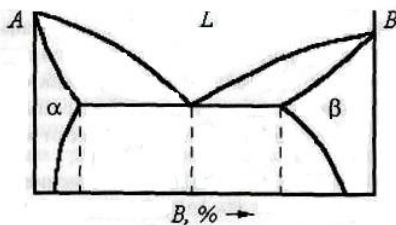


рис. 24

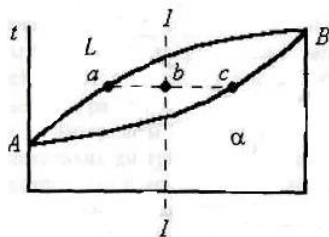


рис. 25

2.39. Отношением каких отрезков определяется количество кристаллической фазы в сплаве I - I в точке b (рис. 25)?

- a. bc/ac .
- b. bc/ab .
- c. ab/ac
- d. ab/bc .

е.

2.40. В каком из сплавов эвтекктическая реакция займет больше времени, если скорость кристаллизации во всех сплавах одинакова (рис. 26)?

- a. e.
- b. c
- c. Во всех сплавах одинаково
- d. d.

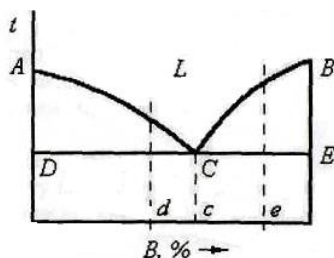


рис. 26

2.41. При каких температурных условиях кристаллизуются чистые металлы?

- a. В зависимости от природы металла температура может снижаться в одних случаях, повышаться в других и оставаться постоянной в третьих
- b. При снижающейся температуре
- c. При растущей температуре
- d. При постоянной температуре.

2.42. При каких температурных условиях кристаллизуются эвтектики в двухкомпонентных сплавах?

- a. При снижающейся температуре

- b. В зависимости от вида сплава температура может расти в одних случаях, снижаться в других и оставаться постоянной в третьих
 - c. При постоянной температуре.
 - d. При растущей температуре.
- 2.43. *В чем состоит отличие эвтектоидного превращения от эвтектического?*
 - a. При эвтектоидном превращении возникают промежуточные фазы, при эвтектическом - механические смеси.
 - b. Принципиальных отличий нет. Это однотипные превращения
 - c. При эвтектоидном превращении распадается твердый раствор, при эвтектическом – жидкий
 - d. При эвтектоидном превращении из твердых растворов выделяются вторичные кристаллы, при эвтектическом - из жидкости - первичные.
- 2.44. *Фаза формирующаяся в твердом состоянии при неограниченной растворимости компонентов в жидком и твердом состоянии*
 - a. Химическое соединение
 - b. Твердый раствор замещения
 - c. Твердый раствор внедрения
- 2.45. *Горизонтальный отрезок, соединяющий составы фаз, находящихся в равновесии*
 - a. Фигуративная линия
 - b. Конода
 - c. Сольвус
- 2.46. *Количество фаз находящихся в равновесии при первичной кристаллизации двухкомпонентного сплава неэвтектического состава*
 - a. Одна
 - b. Две
 - c. Три

- 2.47. *Правило, определяющее состав фаз в диаграммах состояния двойных систем*
- Правило отрезков
 - Правило концентраций
 - Правило конод
- 2.48. *Количество фаз находящихся в равновесии при эвтектическом превращении в двухкомпонентной системе*
- Одна
 - Две
 - Три
- 2.49. *Проекция точки пересечения коноды с линией ликвидуса на ось концентраций показывает*
- Состав жидкой фазы
 - Состав твердой фазы
 - Состав сплава
- 2.50. *Точка, соответствующая началу равновесной кристаллизации сплава лежит на линии*
- Ликвидус
 - Солидус
 - Сольвус
- 2.51. *Точка, соответствующая концу равновесной кристаллизации сплава лежит на линии*
- Ликвидус
 - Солидус
 - Сольвус
- 2.52. *Координаты кривых охлаждения сплавов*
- Температура – концентрация
 - Температура – время
 - Концентрация – время
- 2.53. *Линией «Ликвидус» называют:*
- температуру, соответствующую началу кристаллизации
 - температуру, соответствующую полиморфному превращению

- с. температуру, соответствующую эвтектическому превращению
- д. температуру, соответствующую концу кристаллизации

2.54. Линией «Солидус» называют:

- а. температуру, соответствующую началу кристаллизации
- б. температуру, соответствующую полиморфному превращению
- с. температуру, соответствующую эвтектическому превращению
- д. температуру, соответствующую концу кристаллизации

2.55. Сплав, лежащий правее точки С (рис. 27) называется:

- а. Доэвтектическим;
- б. Эвтектическим;
- с. Заэвтектическим
- д. Заэвтектоидным

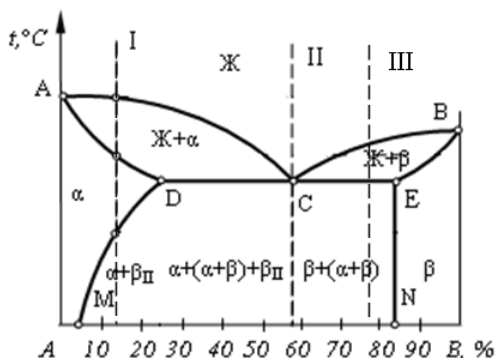


Рис. 27

2.56. Сплав, лежащий левее точки С (рис. 27):

- а. Доэвтектическим;
- б. Эвтектическим;

с. Заэвтектическим.

d. Доэвтектоидным

2.57. Точка, соответствующая началу равновесной кристаллизации сплава лежит на линии.

a. ликвидус

b. солидус

c. сольвус

3. Механические свойства, деформация и рекристаллизация металлов

Материал при приложении к нему внешних сил деформируется. Деформация может быть **упругой**, исчезающей после снятия нагрузки, и **пластической**, остающейся после прекращения действия приложенных сил. При упругом деформировании атомы обратимо смещаются от положения равновесия. При пластическом - атомы обмениваются местами, вследствие чего деформация становится необратимой.

При пластическом деформировании скольжение в кристаллической решетке происходит по плоскостям с наибольшей плотностью расположения атомов.

На свойства металлов большое влияние оказывает их дислокационная структура. Теоретическая прочность в сотни раз превышает прочность реальных материалов. При плотности дислокаций порядка $10^6 \dots 10^8 \text{ см}^{-2}$, характерной для чистых неупрочненных металлов, сопротивление деформированию наименьшее. При увеличении плотности сверх указанных значений подвижность дислокаций снижается, что воспринимается нами как рост прочности. Эффективными способами повышения плотности дислокаций (и других дефектов) и снижения их подвижности являются легирование, пластическое деформирование (деформационное упрочнение),

упрочняющая термическая и химико-термическая обработка.

Состояние пластически деформированного металла термодинамически неустойчиво. Переход в более стабильное состояние происходит при нагреве. Процессы, протекающие при нагреве, подразделяют на две основные стадии: возврат и рекристаллизация.

Под возвратом понимают все изменения кристаллического строения и связанных с ним свойств. При возврате различают стадии: отдых и полигонизация. **Отдых** охватывает изменения в тонкой структуре (в основном уменьшение количества точечных дефектов). **Полигонизация** - процессы образования субзерен с малоугловыми границами, возникшими при скольжении и переползании дислокаций.

Под рекристаллизацией понимают группу явлений, охватывающих процессы зарождения и роста новых зерен с меньшим количеством дефектов строения. Размер рекристаллизованных зерен зависит от величины перегрева выше температурного порога рекристаллизации и от степени предшествующей деформации. Степень деформации (обычно 3 ... 8 %), при которой нагрев деформированного тела приводит к гигантскому росту рекристаллизованных зерен, называется критической.

Температура рекристаллизации зависит от температуры плавления металла и определяется по формуле: $T_{рекp} = aT_{пл}$, где $T_{рекp}$ и $T_{пл}$ - абсолютные температуры рекристаллизации и плавления; a - коэффициент, зависящий от чистоты металла. Чем чище металл, тем a меньше.

Если деформирование металла ведут при температуре, ниже температуры рекристаллизации, то такую обработку называют **холодной**. При холодной обработке металл деформационно упрочняется. При обработке, ведущейся выше температуры рекристаллизации, упрочнение

снимается рекристаллизационными процессами. Такая обработка называется **горячей**.

Механическими называют свойства материала, определяющие его сопротивление действию внешних механических нагрузок.

Прочность металла при статическом нагружении - это свойство, определяющее его способность сопротивляться деформации и разрушению. Стандартными характеристиками прочности являются предел упругости, предел текучести и временное сопротивление.

Пределом упругости называют напряжение, при котором пластическая деформация достигает заданной малой величины, установленной условиями (например, 0,005% - $\sigma_{0,005}$).

Предел текучести (условный) - это напряжение, которому соответствует пластическая деформация 0,2% (σ_{02}). Предел текучести физический устанавливают по диаграмме растяжения, если на ней есть площадка текучести (например, рис. 38).

Временное сопротивление (σ_B) характеризует максимальное напряжение, предшествующее разрушению образца. Различают напряжения условные и истинные.

Условным напряжением называют отношение величины нагрузки к исходному сечению образца; **истинным** - к сечению, которое образец приобрел к моменту достижения данной нагрузки. Диаграммы растяжения пластичных металлов с условными напряжениями отличаются от диаграмм с истинными напряжениями.

Конструктивную прочность материала характеризует комплекс механических свойств, обеспечивающих надежную и длительную работу в условиях эксплуатации. Конструктивная прочность определяется критериями прочности, надежности и долговечности.

К критериям прочности при статических нагрузках относят σ_B , (при оценочных расчетах пластичных материалов используют твердость) или σ_{02} , модуль упругости. В некоторых случаях имеют значение удельные характеристики, критерии жаропрочности.

Твердость характеризует свойство поверхностного слоя материала оказывать сопротивление упругой и пластической деформации при местных контактных воздействиях.

Удельные механические свойства (удельная прочность, удельная жесткость) характеризуют эффективность материалов по массе и представляют собой отношение соответствующих характеристик материала к его плотности.

Жаропрочные материалы характеризуются длительной прочностью и ползучестью. Под пределом длительной прочности понимают напряжение, вызывающее разрушение материала при заданной температуре за определенное время. Пределом ползучести называют напряжение, вызывающее заданную скорость деформации при заданной температуре.

Надежность называют способность материала противостоять хрупкому разрушению. Важными критериями надежности являются пластичность (относительное удлинение - δ , относительное сужение - ψ), вязкость разрушения (K_{Ic}), ударная вязкость (KCU , KCV , KCT), хладноломкость.

δ и ψ характеризуют изменения геометрических параметров стандартных образцов при напряжении, вызывающем разрушение.

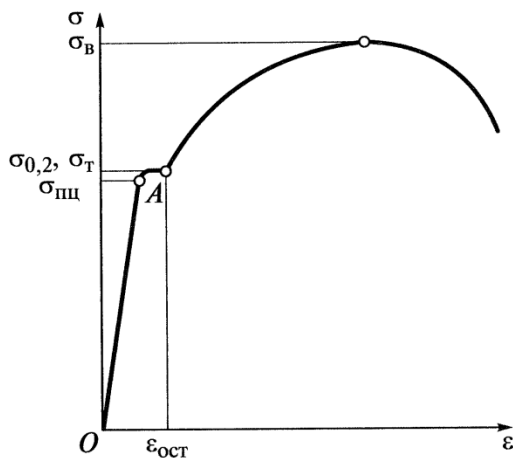
K_{Ic} показывает какой интенсивности достигает напряжение вблизи вершины трещины в момент разрушения.

Ударная вязкость - это сопротивление разрушению при динамических нагрузках.

Хладноломкость определяет влияние снижения температуры на склонность материала к хрупкому разрушению. Порог хладноломкости характеризуется температурой или интервалом температур перехода металла в хрупкое состояние. Хрупкий излом имеет кристаллическое строение. Обычно в изломе можно видеть форму и размер зерен, так как излом происходит без значительной пластической деформации и зерна при разрушении металла не искажаются.

Долговечностью называют способность материала детали сопротивляться развитию постепенного разрушения, обеспечивая ее работоспособность в течение заданного времени. (Рис. 28) Одним из критериев долговечности является **выносливость**, под которой понимают способность материала сопротивляться усталости, или постепенному накоплению повреждений под действием циклически повторяющихся нагрузок.

Выносливость зависит от живучести, определяющей продолжительность работы детали от момента зарождения первой макроскопической трещины усталости (размером 0,5 ... 1,0 мм) до разрушения. Усталостный излом всегда имеет две зоны разрушения: **усталостную зону**



предварительного разрушения с мелкозернистым, часто ступенчато-слоистым строением, иногда с отдельными участками блестящей поверхности, и **зону долома**, носящую характер вязкого или хрупкого (в зависимости от свойств металла) разрушения.

Рис 28. Диаграмма растяжения.

При циклическом нагружении разрушение начинается в местах концентрации напряжений (деформации), локализующихся на различного рода повреждениях поверхностного слоя. Поверхностное упрочнение (химико-термическая обработка, поверхностная закалка, пластическое деформирование) эффективно снижает роль концентраторов, затрудняя деформацию поверхности деталей.

Вопросы к разделу

3.1. *Какое свойство материала характеризует его сопротивление упругому и пластическому деформированию при вдавливании в него другого, более твердого тела?*

а. Выносливость.

- b. Прочность.
 - c. Упругость.
 - d. Твердость.
- 3.2. *Механические свойства материалов это –*
- a. Свойства, которые характеризуют поведение материалов под действием внешних механических сил
 - b. Свойства, определяемые с помощью механических испытаний специально подготовленных образцов
 - c. Свойства, зависящие от структуры материала
 - d. Свойства, определяемые при статических и динамических испытаний
- 3.3. *Что такое динамические испытания?*
- a. Нагрузка к образцу прикладывается медленно и плавно.
 - b. Нагрузка прикладывается с ударом
 - c. Нагрузка прикладывается с изменением её как по величине, так и по направлению
- 3.4. *При статических испытаниях можно определить следующие параметры:*
- a. Показатели твердости и прочности
 - b. Прочностные характеристики и показатели ударной вязкости
 - c. Прочностные и пластические характеристики
- 3.5. *При испытании на растяжение образец нагрузили до напряжения R после чего нагрузку сняли. Какова величина относительного удлинения образца (рис. 29)?*

- a. 6 % .
- b. 4 % .
- c. 3 % .
- d. 8 % .



рис. 29

3.6. Как называется механическое свойство, определяющее способность металла сопротивляться деформации и разрушению при статическом нагружении?

- a. Прочность.
- b. Вязкость разрушения.
- c. Ударная вязкость.
- d. Живучесть.

3.7. Какова размерность величины δ

- a. мм
- b. %
- c. безразмерная величина

3.8. Какие механические свойства материала выявляются при испытаниях на растяжение?

- a. показатель твердости, пластичности, вязкости.
- b. характеристики $\sigma_H, \delta, \psi, \sigma_B, \sigma_T$
- c. характеристики $\delta, \psi, \sigma_B, \sigma_T, \sigma_{пр}$

3.9. Что такое относительное сужение?

- a. Показатель прочности образца.
- b. Отношение наибольшего уменьшения площади поперечного сечения образца после разрыва к начальной площади его поперечного сечения.
- c. Величина, показывающая на сколько изменился образец в мм во время испытания.

3.10. *Что такое относительное удлинение образца?*

- a. Максимальное удлинение, которое может выдержать образец, не разрушаясь.
- b. Отношение (в процентах) приращения расчетной длины образца, остающегося после разрыва к начальной расчетной длине.
- c. Увеличение длины образца в мм

3.11. *Что называют конструктивной прочностью материала?*

- a. Способность противостоять усталости.
- b. Способность работать в поврежденном состоянии после образования трещины.
- c. Способность сопротивляться развитию постепенного разрушения, обеспечивая работоспособность деталей в течение заданного времени.
- d. Комплекс механических свойств, обеспечивающих надежную и длительную работу в условиях эксплуатации.

3.12. *Какое свойство материала называют надежностью?*

- a. Способность противостоять усталости.
- b. Способность работать в поврежденном состоянии после образования трещины.
- c. Способность сопротивляться развитию постепенного разрушения, обеспечивая работоспособность деталей в течение заданного времени.
- d. Способность противостоять хрупкому разрушению.

3.13. *Какое свойство материала называют долговечностью?*

- a. Способность оказывать в определенных условиях трения сопротивление изнашиванию.
- b. Способность сопротивляться развитию постепенного разрушения, обеспечивая работоспособность деталей в течение заданного времени.
- c. Способность противостоять хрупкому разрушению.

- d. Способность работать в поврежденном состоянии после образования трещины.
- 3.14. *Какое свойство материала называют выносливостью?*
- a. Способность сопротивляться развитию постепенного разрушения, обеспечивая работоспособность деталей в течение заданного времени.
 - b. Способность противостоять усталости.
 - c. Способность работать в поврежденном состоянии после образования трещины.
 - d. Способность противостоять хрупкому разрушению.
- 3.15. *Что такое живучесть?*
- a. Продолжительность работы детали от момента зарождения первой макроскопической трещины усталости размером 0,5 ... 1,0 мм до разрушения.
 - b. Способность сопротивляться развитию постепенного разрушения, обеспечивая работоспособность деталей в течение заданного времени.
 - c. Способность материала оказывать в определенных условиях трения сопротивление изнашиванию.
 - d. Способность противостоять хрупкому разрушению.
- 3.16. *Что такое порог хладноломкости?*
- a. Максимальная ударная вязкость при температурах хрупкого состояния.
 - b. Максимальная прочность при температурах хрупкого состояния.
 - c. Относительное снижение ударной вязкости при переходе из вязкого состояния в хрупкое.
 - d. Температура перехода в хрупкое состояние.
- 3.17. *Механические свойства выше у сплава:*
- a. С мелкозернистой структурой;
 - b. С крупнозернистой структурой;
 - c. С кристаллической структурой;
- 3.18. *Что такое предел ползучести?*

- a. Этап ползучести, предшествующий разрушению, при котором металл деформируется с постоянной скоростью.
 - b. Напряжение, при котором пластическая деформация достигает заданной малой величины, установленной условиями.
 - c. Напряжение, которому соответствует пластическая деформация 0,2 %.
 - d. Напряжение, вызывающее данную скорость деформации при данной температуре.
- 3.19. *Что такое удельные механические свойства?*
- a. Отношение прочностных свойств материала к его пластичности.
 - b. Отношение механических свойств материала к его плотности.
 - c. Отношение механических свойств материала к площади сечения изделия.
 - d. Отношение механических свойств материала к соответствующим свойствам железа.
- 3.20. *Деформацией называется:*
- a. Перестройка кристаллической решетки
 - b. Изменение угла между двумя перпендикулярными волокнами под действием внешних нагрузок
 - c. Изменения формы или размеров тела (или части тела) под действием внешних сил, а также при нагревании или охлаждении и других воздействиях, вызывающих изменение относительного положения частиц тела
 - d. Удлинение волокон под действием растягивающих сил
- 3.21. *Мерой внутренних сил, возникающих в материале под влиянием внешних воздействий (нагрузок, изменения температуры и пр.) является:*
- a. Деформация
 - b. Напряжение
 - c. Наклеп

d. Твердость

3.22. *Упругая деформация:*

- a. Остается после снятия нагрузки
- b. Исчезает после снятия нагрузки
- c. Пропорциональна приложенному напряжению
- d. Осуществляется путем движения дислокаций
- e. Это деформация, при которой величина смещения атомов из положений равновесия не превышает расстояния между соседними атомами

3.23. *Пластическая деформация:*

- a. Остается после снятия нагрузки
- b. Исчезает после снятия нагрузки
- c. Пропорциональна приложенному напряжению
- d. Это деформация, при которой величина смещения атомов из положений равновесия не превышает расстояния между соседними атомами

3.24. *Что такое критическая степень деформации?*

- a. Степень деформации, приводящая после нагрева деформированного материала к гигантскому росту зерна.
- b. Степень деформации, при которой достигается наибольшая возможная плотность дефектов кристаллической структуры.
- c. Минимальная степень деформации, при которой запас вязкости материала становится равным нулю.
- d. Минимальная степень деформации, при которой рекристаллизационные процессы не вызывают роста зерна.

3.25. *Способность материала сопротивляться внедрению другого более твердого тела называется*

- a. Прочностью
- b. Упругостью,
- c. Вязкостью, пластичностью.
- d. Твердостью,

3.26. Способность материала восстанавливать первоначальную форму и размеры после прекращения действия нагрузки называется...

- a. Упругостью
- b. Усталостью,
- c. Выносливостью
- d. Упругостью.

3.27. Предел прочности определяют на

- a. Твердомере
- b. Прессе
- c. Разрывной машине
- d. Маятниковом копре

3.28. Индентором при измерении твёрдости по методу Роквелла (шкала C) служит...

- a. Стальной конус
- b. Алмазный конус
- c. Стальной шар
- d. Алмазная пирамида

3.29. На рис.30 показана схема измерения твердости по методу

- a. Бринелля
- b. Виккерса
- c. Роквелла
- d. Шора



рис. 30

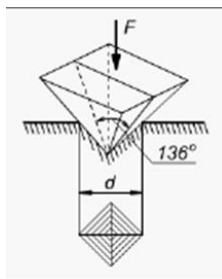


рис. 31

3.30. На рис. 31 показана схема измерения твёрдости по методу...

- a. Бринелля
- b. Виккерса
- c. Роквелла

3.31. Что позволяет определить конструктору выбирающему материал, показатели пластичности δ , ψ

- a. какова пластическая деформация детали до разрушения
- b. при какой пластической деформации деталь может работать в конструкции
- c. способность материала к перераспределению напряжений в случае их концентраций.

3.32. Два материала имеют равные пределы прочности σ_B , но различные δ . Какому из них следует отдать предпочтение при изготовлении детали и почему?

- a. нужно использовать любой материал, т.к. в конструкции пластическая деформация недопустима.
- b. материал с большим значением δ , т.к. в детали такой материал допускает большую деформацию не разрушаясь.
- c. материал с большим значением δ , т.к. этот материал надежней в работе, обеспечивая большую степень перераспределения напряжений при их концентрации, что всегда возможно в реальных деталях при работе.

3.33. При испытании на растяжение устанавливается предел прочности материала. Означает ли это, что действительно характеризует прочность материала? В чем физический смысл этой величины?

- a. показывает физическую прочность материала
- b. характеризует сопротивление материала большим пластическим деформациям

- с. характеризует сопротивление пластическим деформациям.
- 3.34. *Напряжение, которому соответствует пластическая деформация 0,2% и которое обозначают как $\sigma_{0,2}$, называют:*
- a. Условный предел текучести;
 - b. Предел упругости;
 - c. Предел пластичности;
 - d. Временное сопротивление.
- 3.35. *Напряжение, при котором пластическая деформация достигает заданного значения (обычно 0,005; 0,02 и 0,05%), называют:*
- a. Условный предел текучести;
 - b. Предел упругости;
 - c. Предел пластичности;
 - d. Временное сопротивление.
- 3.36. *При испытаниях на изгиб определяют:*
- a. Условный предел текучести;
 - b. Предел прочности;
 - c. Предел пластичности;
 - d. Временное сопротивление.
- 3.37. *При испытаниях на твёрдость по Бринеллю в материал вдавливают:*
- a. Алмазную пирамидку;
 - b. Стальной шарик;
 - c. Стальной или алмазный конус;
 - d. Царапают поверхность.
- 3.38. *При испытаниях на твёрдость по Виккерсу в материал вдавливают:*
- a. Алмазную пирамидку;
 - b. Стальной шарик;
 - c. Стальной или алмазный конус;
 - d. Царапают поверхность.
- 3.39. *При испытаниях на твёрдость по Роквеллу в материал вдавливают:*

- a. Алмазную пирамидку;
 - b. Стальной шарик;
 - c. Стальной или алмазный конус;
 - d. Царапают поверхность.
- 3.40. Упрочнение металла при его деформировании называют:
- a. Наклепом;
 - b. Накатом;
 - c. Ликвацией;
 - d. Отжигом.
- 3.41. В результате динамических испытаний на ударный изгиб на маятниковых копрах определяют:
- a. Ударную вязкость;
 - b. Ударную пластичность;
 - c. Предел хрупкости;
 - d. Трещиностойкость.
- 3.42. Процессы постепенного накопления повреждений в материале под действием циклических нагрузок, приводящие в итоге к его разрушению, называют:
- a. Утомляемостью;
 - b. Усталостью;
 - c. Выносливостью;
 - d. Хрупкостью.
- 3.43. Свойство материалов противостоять усталости называют:
- a. Выносливостью;
 - b. Стойкостью;
 - c. Устойчивостью;
 - d. Толерантностью.
- 3.44. Напряжение, которое может выдержать материал в течение определенного числа циклов, называют:
- a. Ограниченным пределом выносливости;
 - b. Пределом текучести;
 - c. Пределом пластичности;

- d. Доломом.
- 3.45. *Как называется явление упрочнения материала под действием пластической деформации?*
- a. Текстура.
 - b. Улучшение.
 - c. Деформационное упрочнение.
 - d. Полигонизация.
- 3.46. *Как влияет поверхностное упрочнение на чувствительность металла к концентраторам напряжений?*
- a. Не влияет на чувствительность.
 - b. Характер влияния зависит от вида упрочнения.
 - c. Понижает чувствительность.
 - d. Повышает чувствительность.
- 3.47. *Что такое длительная прочность?*
- a. Напряжение, вызывающее разрушение при определенной температуре за данный отрезок времени.
 - b. Свойство материала сопротивляться развитию постепенного разрушения, обеспечивая работоспособность детали в течение заданного времени.
 - c. Долговечность детали от момента зарождения первой макроскопической трещины усталости до разрушения.
 - d. Напряжение, вызывающее заданную скорость деформации при данной температуре.
- 3.48. *Как зависит температура рекристаллизации металла от его чистоты?*
- a. Чем чище металл, тем выше температура рекристаллизации.
 - b. Температура рекристаллизации не зависит от чистоты металла.

- с. Для металлов зависимость имеет знак плюс (чем чище металл, тем выше температура), для легированных сплавов - минус.
 - д. Чем чище металл, тем ниже температура рекристаллизации.
- 3.49. *Что такое отдых? Это группа явлений, происходящих при нагреве деформированного металла и охватывающих...*
- а. Процессы зарождения и роста новых зерен с меньшим количеством дефектов строения.
 - б. Процессы образования субзерен с малоугловыми границами, возникающими при скольжении и переползании дислокаций.
 - с. Изменения тонкой структуры (главным образом уменьшение количества точечных дефектов).
 - д. Все изменения кристаллического строения и связанных с ним свойств.
- 3.50. *Что такое возврат? Это группа явлений, происходящих при нагреве деформированного металла и охватывающих...*
- а. Процессы образования субзерен с малоугловыми границами, возникающими при скольжении и переползании дислокаций.
 - б. Изменения тонкой структуры (главным образом уменьшение количества точечных дефектов).
 - с. Процессы зарождения и роста новых зерен с меньшим количеством дефектов строения.
 - д. Все изменения кристаллического строения и связанных с ним свойств.
- 3.51. *Что такое полигонизация? Это группа явлений, происходящих при нагреве деформированного металла и охватывающих...*
- а. Процессы зарождения и роста новых зерен с меньшим количеством дефектов строения

- b. процессы образования субзерен с малоугловыми границами, возникающими при скольжении и переползании дислокаций.
 - c. Изменения тонкой структуры (главным образом уменьшение количества точечных дефектов).
 - d. все изменения кристаллического строения и связанных с ним свойств.
- 3.52. *Какое деформирование металла называют холодным?*
- a. Деформирование, при котором не возникает деформационное упрочнение.
 - b. Деформирование при температуре ниже температуры рекристаллизации.
 - c. Деформирование при комнатной температуре.
 - d. Деформирование при отрицательных температурах.
- 3.53. *Изменение размеров и форм тела под действием приложенных сил называется:*
- a. Напряжениями;
 - b. Деформациями;
 - c. Концентраторами;
 - d. Растяжениями;
- 3.54. *Мера внутренних сил, возникающих в материале под влиянием внешних воздействий называется:*
- a. Напряжениями;
 - b. Деформациями;
 - c. Концентраторами;
 - d. Растяжениями;
- 3.55. *При испытаниях на статическое растяжение определяют:*
- a. Ударную вязкость;
 - b. Прочность, упругость, пластичность;
 - c. Твердость;
- 3.56. *При испытаниях на изгиб при динамическом нагружении определяют:*
- a. Ударную вязкость;

- b. Прочность, упругость, пластичность;
 - c. Твердость;
- 3.57. *Твердость по Бринеллю обозначается:*
- a. HB;
 - b. HR;
 - c. HV;
- 3.58. *Твердость по Роквеллу обозначается:*
- a. HB;
 - b. HR;
 - c. HV;
- 3.59. *Твердость по Виккерсу обозначается:*
- a. HB;
 - b. HR;
 - c. HV;
- 3.60. *Твердость по Бринеллю измеряется:*
- a. В условных единицах;
 - b. МПа;
 - c. МДж;
- 3.61. *Твердость по Роквеллу измеряется:*
- a. В условных единицах;
 - b. МПа;
 - c. МДж;
- 3.62. *Твердость по Виккерсу измеряется:*
- a. В условных единицах;
 - b. МПа;
 - c. МДж;
- 3.63. *Скольжение в реальном кристалле при пластической деформации осуществляется в результате:*
- a. Последовательного перемещения линий скольжения;
 - b. Последовательного перемещения ионов;
 - c. Последовательного перемещения атомов;
 - d. Последовательного перемещения дислокаций;
- 3.64. *Изменение структуры и свойств металла, вызванное пластической деформацией называется:*

- a. Упрочнением;
 - b. Разупрочнением;
 - c. Динамическим возвратом;
- 3.65. *В результате наклепа твердость:*
- a. Не изменяется;
 - b. Увеличивается;
 - c. Уменьшается;
- 3.66. *В результате наклепа пластичность:*
- a. Не изменяется;
 - b. Увеличивается;
 - c. Уменьшается;
- 3.67. *В результате наклепа предел текучести:*
- a. Не изменяется;
 - b. Увеличивается;
 - c. Уменьшается;
- 3.68. *Процесс устранения внутренних напряжений при нагреве*
- a. рекристаллизация
 - b. возврат
 - c. полигонизация
- 3.69. *Процесс образования и роста новых равноосных зерен из деформированных кристаллов*
- a. рекристаллизация
 - b. возврат
 - c. полигонизация
- 3.70. *Изменяется ли коррозионная стойкость при наклепе металла*
- a. не меняется
 - b. понижается
 - c. повышается
- 3.71. *Упрочнение металла в процессе холодной пластической деформации объясняется*
- a. уменьшением числа дислокаций
 - b. увеличением число дислокаций
 - c. фазовыми превращениями

- 3.72. *Процесс устранения внутренних напряжений при нагреве*
- а. рекристаллизация
 - б. возврат
 - с. полигонизация
- 3.73. *Процесс образования и роста новых равноосных зерен из деформированных называется*
- а. возврат
 - б. рекристаллизация
 - с. полигонизация
- 3.74. *Какой излом, возникает при длительном воздействии циклических нагрузок*
- а. усталостный
 - б. хрупкий
 - с. вязкий
- 3.75. *Изменение структуры и свойств металлического материала, вызванное пластической деформацией называется*
- а. отдых
 - б. полигонизация
 - с. наклеп
- 3.76. *Изменение плотности металла с ростом степени пластической деформации*
- а. остается постоянной
 - б. понижается
 - с. повышается
- 3.77. *Термическая обработка для восстановления структуры и свойств наклепанного металла называется*
- а. отдых
 - б. возврат
 - с. рекристаллизационный отжиг
- 3.78. *Изменение предела прочности наклепанного металла при первичной рекристаллизации*
- а. снижается

- б. повышается
- с. остается постоянным

4. Железоуглеродистые сплавы (структурный и фазовый составы)

К железоуглеродистым относятся сплавы, основными компонентами которых являются железо и углерод. Железо обладает температурным полиморфизмом и может существовать в двух аллотропических модификациях: в виде α -железа с ОЦК и γ -железа с ГЦК кристаллическими решетками. С углеродом железо образует твердые растворы и химическое соединение. Твердый раствор внедрения углерода в α -железе называется ферритом. Растворимость углерода в нем очень мала (максимум 0,02 % при температуре 727°C см. рис 32). Феррит обладает низкой твердостью и высокой пластичностью.

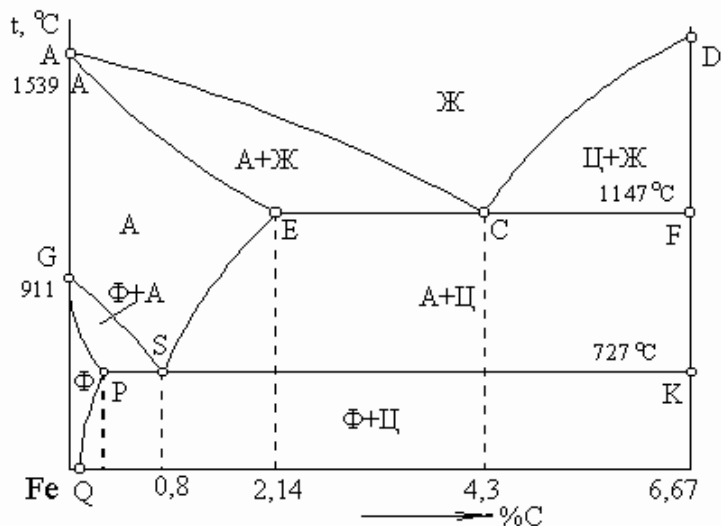


Рис 32 Диаграмма состояния железо-цементит

Твердый раствор внедрения углерода в γ -железе называется **аустенитом**. Максимум растворимости углерода в аустените 2,14% (при температуре 1147°C). В равновесном состоянии аустенит существует лишь выше 727°C. Он обладает высокой пластичностью и низкой твердостью.

Железо образует с углеродом химическое соединение Fe_3C , называемое **цементитом**. Цементит очень тверд и хрупок.

Железоуглеродистые сплавы с концентрацией углерода, не превышающей 2,14 %, называют **сталями**, с более высокой - **чугунами**. Кристаллизация сталей завершается на линии *АНIE* диаграммы Fe- Fe_3C . На линии *НIV* протекает перитектическая реакция.

По равновесной структуре стали в зависимости от содержания углерода подразделяют на техническое железо ($\text{C} < 0,02 \%$), доэвтектоидные ($0,02 < \text{C} < 0,8 \%$), эвтектоидные ($\text{C} = 0,8 \%$) и заэвтектоидные стали ($0,8 < \text{C} < 2,14 \%$). В структуре технического железа присутствуют феррит и третичный цементит, выделяющийся при охлаждении сплава ниже 727°C из феррита.

Структура доэвтектоидной стали состоит из феррита и перлита. Перлит -это эвтектоид - механическая смесь феррита и цементита, образующаяся в результате эвтектоидной реакции из аустенита при охлаждении сплавов ниже 727°C (линии *PSK* диаграммы Fe- Fe_3C). Перлит содержит 0,8 % углерода. По относительному количеству перлита можно судить о содержании углерода в сплаве. Для этого достаточно перемножить долю видимой на микрошлифе площади, занятой перлитом, на 0,8.

Эвтектоидная сталь содержит 0,8 % углерода. Структура ее полностью состоит из перлита.

В структуре заэвтектоидной стали содержатся перлит и вторичный цементит, выделяющийся при охлаждении сплава в интервале температур 1147 ... 727°C из аустенита

в соответствии с линией предельной растворимости *SE* диаграммы Fe-Fe₃C.

Чугуны в системе Fe-Fe₃C называют белыми. Эти сплавы содержат углерод исключительно в химически связанном состоянии в виде Fe₃C.

Кристаллизация белых чугунов завершается эвтектическим превращением при температуре ниже 1147°C (линия *ECF* диаграммы Fe-Fe₃C) с образованием эвтектики, называемой ледебуритом и представляющей собой механическую смесь аустенита и цементита. При охлаждении ниже 727°C аустенит претерпевает эвтектоидное превращение и ледебурит становится смесью перлита и цементита.

По равновесной структуре белые чугуны подразделяют на доэвтектические, эвтектические и заэвтектические.

Содержание углерода в доэвтектическом чугуне может находиться в пределах 2,14 ... 4,3%. Структура его состоит из перлита, вторичного цементита и ледебурита.

Эвтектический чугун содержит 4,3% углерода. Структура его состоит полностью из ледебурита.

В заэвтектическом чугуне содержится более 4,3% углерода (до 6,67%). Его структура состоит из первичного цементита, выделившегося из жидкости, и ледебурита.

Чугуны со структурно свободным углеродом в зависимости от геометрической формы графитных включений называют: **серыми** (графит пластинчатой формы), **ковкими** (графит хлопьевидной формы), **высокопрочными** (графит шаровидной формы). Металлическая основа чугунов может быть ферритной, ферритно-перлитной и перлитной. В ферритных чугунах (чугунах с ферритной металлической основой) нет углерода, связанного в Fe₃C. В перлитных - 0,8% углерода связано в цементит. При одинаковой металлической основе механические свойства чугунов возрастают от серого к высокопрочному.

Серые чугуны получают при охлаждении отливок с обычными скоростями, характерными для песчаных форм (при больших скоростях получают белый чугун). Маркируют серые чугуны буквами СЧ и числом, обозначающем временное сопротивление σ_B , в кг/мм² (в десятых долях МН/м²).

Ковкие чугуны получают путем длительного графитизирующего отжига белых чугунов. Маркируют ковкий чугун буквами КЧ и двумя числами, первое из которых - σ_B в кг/мм², второе - относительное удлинение δ в %.

Высокопрочные чугуны получают путем модифицирования жидкого сплава магнием или церием. Маркируют чугуны буквами ВЧ и числом, обозначающим σ_B в кг/мм².

Вопросы к разделу

- 4.1 Как называется структура, представляющая собой твердый раствор углерода в α -железе?
- Перлит.
 - Цементит.
 - Феррит.
 - Аустенит.
- 4.2 Как называется структура, представляющая собой твердый раствор углерода в γ -железе?
- Цементит
 - Феррит
 - Аустенит
 - Ледебурит.
- 4.3 Как называется структура, представляющая собой карбид железа?
- Феррит
 - Аустенит
 - Ледебурит
 - Цементит.

4.4 Как называется структура, представляющая собой механическую смесь феррита и цементита?

- a. Перлит
- b. γ -феррит
- c. Аустенит
- d. Ледебурит.

4.5 Химическое соединение железа с углеродом называется...

- a. Перлит
- b. Ледебурит.
- c. Цементит
- d. Аустенит

4.6 Механическая смесь феррита и цементита, содержащая 0,8 % углерода, называется...

- a. Ледебурит
- b. Феррит,
- c. Перлит
- d. Аустенит.

4.7 Механическая смесь аустенита, содержащая 4,3 % углерода, называется...

- a. Перлит
- b. Ледебурит
- c. Аустенит
- d. Феррит.

4.8 Как называется структура, представляющая собой механическую смесь аустенита и цементита?

- a. Перлит
- b. Феррит
- c. Ледебурит
- d. δ -феррит.

4.9 На каком участке диаграммы железо-цементит протекает эвтектоидная реакция?

- a. В области QPSKL
- b. В области SECFK
- c. На линии ECF

d. На линии PSK

4.10 На каком участке диаграммы железо-цементит протекает эвтектическая реакция?

a. На линии ECF

b. В области SECFK

c. В области EIBC

d. На линии PSK

4.11 Сталями называют:

a. сплавы железа с углеродом, содержащие до 0,02% C;

b. сплавы железа с углеродом, содержащие от 0,02 до 2,14% C;

c. сплавы железа с углеродом, содержащие от 2,14 до 6,67% C;

d. сплавы железа с углеродом, содержащие 0,8% C.

4.12 Чугунами называют:

a. сплавы железа с углеродом, содержащие до 0,02% C;

b. сплавы железа с углеродом, содержащие от 0,02 до 2,14% C;

c. сплавы железа с углеродом, содержащие от 2,14 до 6,67% C;

d. сплавы железа с углеродом, содержащие 0,8% C.

4.13 Техническим железом называется:

e. сплавы железа с углеродом, содержащие до 0,02% C ;

f. сплавы железа с углеродом, содержащие от 0,02 до 2,14% C;

g. сплавы железа с углеродом, содержащие от 2,14 до 6,67% C;

h. сплавы железа с углеродом, содержащие 0,8% C.

4.14 Эвтектоидной сталью называют:

a. Сплавы железа с углеродом, содержащие до 0,02 % углерода

b. Сплавы железа с углеродом, содержащие от 0,02 % до 2.14 % углерода

c. Сплавы железа с углеродом, содержащие от 2,14 до 6,67 % углерода

- d. Сплавы железа с углеродом, содержащие 0,8 % углерода
- 4.15 *Завтектоидной сталью называют:*
- a. Сплавы железа с углеродом, содержащие до 0,02 % углерода
 - b. Сплавы железа с углеродом, содержащие от 0,02 % до 0.8 % углерода
 - c. Сплавы железа с углеродом, содержащие от 0,8 до 2.14 % углерода
 - d. Сплавы железа с углеродом, содержащие 0,8 % углерода
- 4.16 *Дозтектоидной сталью называют:*
- a. Сплавы железа с углеродом, содержащие до 0,02 % углерода
 - b. Сплавы железа с углеродом, содержащие от 0,02 % до 0.8 % углерода
 - c. Сплавы железа с углеродом, содержащие от 0,8 до 2.14 % углерода.
 - d. Сплавы железа с углеродом, содержащие 0,8 % углерода
- 4.17 *Линия ABCD диаграммы Fe-Fe₃C - это линия*
- a. Ликвидус
 - b. Солидус
 - c. Эвтектоидное превращения
 - d. Эвтектическое превращение
- 4.18 *Какая из структурных составляющих железоуглеродистых сплавов обладает при комнатной температуре наибольшей пластичностью?*
- a. Аустенит
 - b. Феррит
 - c. Цементит
 - d. Перлит.
- 4.19 *Какая из структурных составляющих железоуглеродистых сплавов обладает наибольшей твердостью?*

- a. Аустенит
- b. Перлит
- c. Феррит
- d. Цементит.

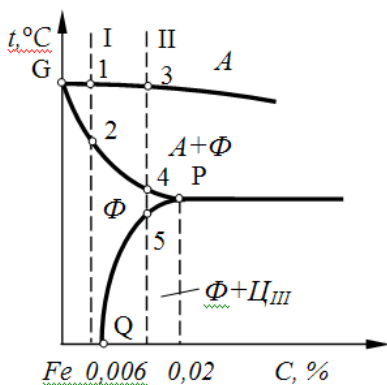
4.20 Сколько процентов углерода (C) содержится в углеродистой заэвтектоидной стали?

- a. $0,02 < C < 0,8$
- b. $4,3 < C < 6,67$
- c. $2,14 < C < 4,3$
- d. $0,8 < C < 2,14$.

4.21 Каков структурный состав заэвтектоидной стали при температуре ниже 727°C ?

- a. Ледебурит + первичный цементит
- b. Феррит + третичный цементит
- c. Перлит + вторичный цементит
- d. Феррит + перлит.

4.22 Сплав I, указанный на рисунке 33, называется:



- a. доэвтектоидной сталию;
- b. однофазным техническим железом;
- c. двухфазным техническим железом;
- d. доэвтектическим чугуном.

рис. 33

4.23. Сплав II, указанный на рисунке 33, называется:

- a. доэвтектоидной сталию;
- b. однофазным техническим железом;
- c. двухфазным техническим железом;
- d. доэвтектическим чугуном.

4.24. Сплав I, указанный на рисунке 34 называется:

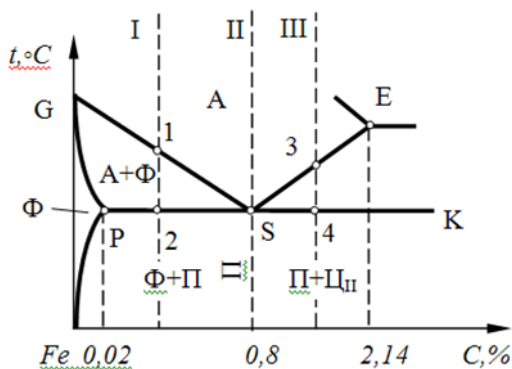


рис. 34

- a. заэвтектоидной сталью;
 - b. доэвтектоидной сталью;
 - c. техническим железом;
 - d. эвтектоидной сталью.
- 4.25. Сплав II, указанный на рисунке 34, называется:
- a. заэвтектоидной сталью;
 - b. доэвтектоидной сталью;
 - c. техническим железом;
 - d. эвтектоидной сталью.
- 4.26. Сплав III, указанный на рисунке 34, называется:
- a. заэвтектоидной сталью;
 - b. доэвтектоидной сталью;
 - c. техническим железом;
 - d. эвтектоидной сталью.
- 4.27. Сплав I, указанный на рисунке 35, называется:
- a. заэвтектоидной сталью;
 - b. доэвтектоидной сталью;
 - c. доэвтектоидной сталью;
 - d. доэвтектоидной сталью.
- 4.28. Сплав II, указанный на рисунке 35, называется:
- a. эвтекктическим чугуном;
 - b. доэвтектоидной сталью;
 - c. доэвтектоидной сталью;
 - d. доэвтектоидной сталью.

4.29. Сплав III, указанный на рисунке 35, называется:

- эвтекктическим чугуном;
- дозэвтектоидной сталью;
- довтекктическим чугуном;
- завтекктическим чугуном .

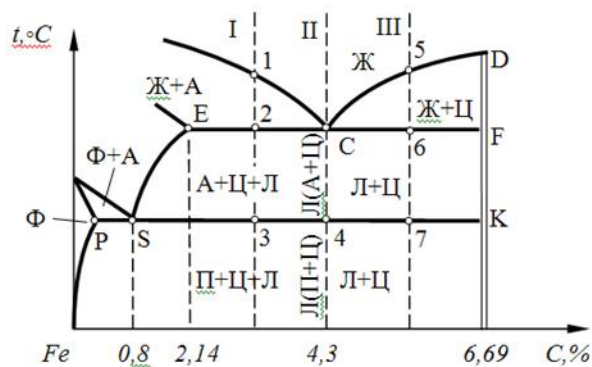


рис. 35

4.30. Укажите структуру доэвтектоидной стали:

- перлит;
- перлит + цементит;
- феррит + перлит;
- феррит + цементит III.

4.31. Укажите структуру заэвтектоидной стали:

- перлит;
- перлит + цементит;
- феррит + перлит;
- феррит + цементит III.

4.32. Укажите структуру эвтектоидной стали:

- перлит ;
- перлит + цементит;
- феррит + перлит;
- феррит + цементит III.

4.33 Структура заэвтекктического белого чугуна при комнатной температуре состоит из

- Ледебурита и первичного цементита,
- Перлита, ледебурита и вторичного цементита,

- с. Перлита и вторичного цементита,
- д. Перлита и цементита,

4.34 На рис. 36 представлена схема структуры стали. Какая это сталь?

- а. Техническое железо
- б. Эвтектоидная
- с. Заэвтектоидная
- д. Доэвтектоидная.

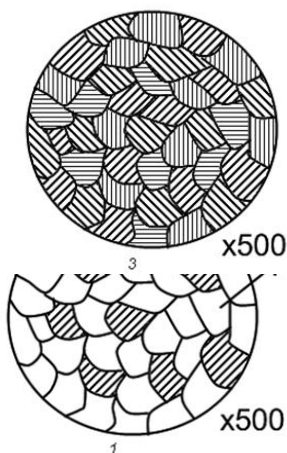


рис. 36

4.35 На рис. 37 представлена схема структуры заэвтектоидной стали. Как называется структурная составляющая, данной схемы?

- а. Феррит
- б. Аустенит
- с. Вторичный цементит
- д. Перлит.

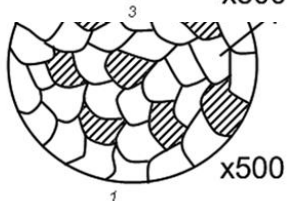


рис. 37

4.36 Какие железоуглеродистые сплавы называют чугунами?

- а. Содержащие углерода более 0,8 %
- б. Содержащие углерода более 4,3 %.
- с. Содержащие углерода более 0,02 %.
- д. Содержащие углерода более 2,14 %

4.37 Доэвтекктическим чугуном называют:

- а. Сплав железа с углеродом, содержащие до 2,14 % углерода

- b. Сплав железа с углеродом, содержащие от 2,14 % до 4,3 % углерода
 - c. Сплав железа с углеродом, содержащие от 4,3 до 6.67 % углерода
 - d. Сплав железа с углеродом, содержащие 4.3 % углерода
- 4.38 *Эвтектическим чугуном называют:*
- a. Сплав железа с углеродом, содержащие до 2,14 % углерода
 - b. Сплав железа с углеродом, содержащие от 2,14 % до 4,3 % углерода
 - c. Сплав железа с углеродом, содержащие от 4,3 до 6.67 % углерода
 - d. Сплав железа с углеродом, содержащие 4.3 % углерода
- 4.39 *Заэвтектическим чугуном называют:*
- a. Сплав железа с углеродом, содержащие до 2,14 % углерода
 - b. Сплав железа с углеродом, содержащие от 2,14 % до 4,3 % углерода
 - c. Сплав железа с углеродом, содержащие от 4,3 до 6.67 % углерода
 - d. Сплав железа с углеродом, содержащие 4.3 % углерода
- 4.40 *Какой чугун называют белым?*
- a. В котором весь углерод или часть его содержится в виде графит
 - b. В котором весь углерод находится в химически связанном состоянии.
 - c. В котором металлическая основа состоит из феррита
 - d. В котором наряду с графитом содержится ледебурит.
- 4.41 *Какова форма графита в белом чугуне?*
- a. Хлопьевидная
 - b. В белом чугуне графита нет
 - c. Шаровидная

d. Пластинчатая.

4.42 В доэвтектических белых чугунах при температуре ниже 727°C присутствуют две фазовые составляющие: цементит и Как называется вторая фаза?

- a. Феррит
- b. Аустенит
- c. Ледебурит
- d. Перлит.

4.43 В каком из перечисленных в ответе сплавов одной из структурных составляющих является ледебурит?

- a. Доэвтектический белый чугун
- b. Сталь при температуре, выше температуры эвтектоидного превращения.
- c. Ферритный серый чугун
- d. Техническое железо.

4.44 Как по микроструктуре чугуна определяют его вид (серый, ковкий, высокопрочный)?

- a. По размеру графитных включений
- b. По характеру металлической основы
- c. По форме графитных включений.
- d. По количеству графитных включений.

4.45 Как по микроструктуре чугуна определяют его вид (ферритный, ферритно-перлитный, перлитный)?

- a. По размеру графитных включений
- b. По количеству графитных включений
- c. По форме графитных включений
- d. По характеру металлической основы.

4.46 Какие железоуглеродистые сплавы называют ферритными чугунами?

- a. Сплавы, в которых весь углерод (более 2,14%) находится в виде графита
- b. Чугуны, в структуре которых наряду с цементитом имеется феррит
- c. Сплавы с ферритной структурой.

- d. Чугуны, в которых графит имеет пластинчатую форму.
- 4.47 *Сколько содержит связанного углерода ферритный серый чугун?*
- a. 4,3%
 - b. 0,0%.
 - c. 2,14%
 - d. 0,8%.
- 4.48 *Сколько содержит связанного углерода перлитный серый чугун?*
- a. 2,14 %.
 - b. 0,8 %.
 - c. 4,3 %.
 - d. 0 %.
- 4.49 *В каком из ответов чугуны с одинаковой металлической основой размещены в порядке возрастания прочности при растяжении?*
- a. Высокопрочный –ковкий -серый.
 - b. Серый –высокопрочный -ковкий
 - c. Ковкий –высокопрочный -серый
 - d. Серый –ковкий -высокопрочный.
- 4.50 *На рис. 38 представлена схема структуры железоуглеродистого сплава. Какой это сплав?*
- a. Техническое железо
 - b. Ферритный серый чугун
 - c. Заэвтектический белый чугун
 - d. Эвтектоидная сталь



рис. 38

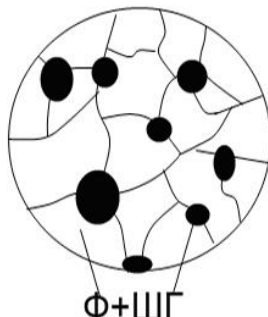


рис. 39

4.51 В поле микроскопа (рис. 39) на фоне равноосных светлых зерен видны шаровидные включения графита. О каком сплаве идет речь?

- а. О ферритном высокопрочном чугуने
- б. О текстурованном техническом железе
- с. О ферритно-перлитном ковком чугуне
- д. О доэвтектическом белом чугуне.

4.52 Чугун, в котором весь углерод находится в виде химического соединения Fe_3C , называется:

- а. Серым
- б. Ковким
- с. Белым
- д. Высокопрочным

4.53 Чугуны с пластинчатой формой графита называются:

- а. Серыми
- б. Ковкими
- с. Белыми
- д. Высокопрочными

4.54 Чугуны, в которых графит имеет шаровидную форму называются:

- а. Серыми
- б. Ковкими

- с. Белыми
 - d. Высокопрочными
- 4.55 Чугун, в котором графит имеет хлопьевидную форму называется:
- a. Серыми
 - b. Ковкими
 - с. Белыми
 - d. Высокопрочными
- 4.56 Какой чугун получают путем длительного отжига белого чугуна?
- a. Ковкий.
 - b. Отбеленный.
 - с. Серый.
 - d. Высокопрочный.
- 4.57 Какой чугун получают путем модифицирования жидкого расплава магнием или церием?
- a. Серый.
 - b. Белый.
 - с. Высокопрочный
 - d. Ковкий.
- 4.58 Чугун, предназначенный для производства фасонных отливок способами литья на машиностроительных заводах, имеет повышенное содержание кремния (до 2,75 – 3,25 %), называется...
- a. Литейный
 - b. Предельный
 - с. Серый
 - d. Белый.
- 4.59 Чугун, используемый для передела на сталь, содержит 4,0-4,4%С, до 0,6-0,8% Si, до 0,25-1,0% Mn, 15-0,3% P и 0,03-0,07% S, называется...
- a. Белый
 - b. Предельный
 - с. Литейный
 - d. Серый.

- 4.60 *Легировующие элементы чугуна (несколько вариантов ответа)*
- a. Хром
 - b. Никель
 - c. Титан,
 - d. Сера
 - e. Фосфор
 - f. Медь.
- 4.61 *Введение в жидкий сплав различных добавок химических элементов для придания сплаву особых свойств за счет изменения его внутреннего строения, называется...*
- a. Легирование
 - b. Модифицирование
 - c. Рафинирование.
- 4.62 *Очистка сплавов от ненужных и вредных примесей называется...*
- a. Рафинирование
 - b. Легирование
 - c. Модифицирование.
- 4.63 *Вредные примеси в стали... (несколько вариантов ответов)*
- a. Фосфор
 - b. Марганец
 - c. Сера
 - d. Хром,
 - e. Газы (азот, кислород, водород).
- 4.64 *Твердая поверхностная корка, состоящая из цементита, образовавшегося при литье серого чугуна в металлические формы, называется...*
- a. Отжиг
 - b. Белизна,
 - c. Отбел
 - d. Отливом.

- 4.65 *Черный сплав с содержанием углерода более 2,14%, обладающий пониженной температурой плавления и хорошими литейными свойствами, называется...*
- a. Углеродистой сталью
 - b. Серым чугуном,
 - c. Чугуном
 - d. Ковким чугуном.
- 4.66 *Какие марки серых чугунов используются для изготовления деталей, работающих при повышенных статических и динамических нагрузках?*
- a. СЧ 20
 - b. СЧ 40,
 - c. СЧ 10, СЧ 15
 - d. СЧ45.
- 4.67 *Какие компоненты используются для легирования серых чугунов, работающих при повышенных температурах? (несколько вариантов ответа)*
- a. Хром и никель
 - b. Молибден,
 - c. Алюминий
 - d. Хром, никель, алюминий.
- 4.68 *Какой графит является менее сильным концентратором напряжений?*
- a. Шаровидный
 - b. Пластинчатый
 - c. Хлопьевидный.
- 4.69 *Сплав системы Fe-C-Si, содержащий в качестве примесей марганец, фосфор, серу называется*
- a. Серым чугуном
 - b. Отбеленным чугуном,
 - c. Ковким чугуном
 - d. Высокопрочным чугуном.

- 4.70 Чугун, в котором весь углерод или его большая часть находится в свободном состоянии, в виде пластинчатого графита, называется...
- a. Ковким
 - b. Белым,
 - c. Серым
 - d. Половинчатым.
- 4.71 Отличительной особенностью высокопрочного чугуна являются его высокие механические свойства, обусловленные наличием в структуре...
- a. Пластинчатого графита
 - b. Шаровидного графита.
 - c. Хлопьевидного
 - d. Цементита.
- 4.72 Форма графитовых включений в ковком чугуне
- a. Хлопьевидная
 - b. Дендритная
 - c. Глобулярная
 - d. Пластинчатая
- 4.73 Перлит – это
- a Твёрдый раствор внедрения
 - b Химический соединение Fe и C
 - c Твёрдый раствор замещения
 - d Смесь Ф и Ц эвтектоидного состава
- 4.74 При $t_0=727^{\circ}\text{C}$ в системе Fe-Fe₃C происходит образование
- a Феррита
 - b Эвтектоидное превращение
 - c Перлитные превращения
 - d Образование первичного Ц
- 4.75 Наиболее мягкая и пластичная фаза железоуглеродистых сплавов
- a. Феррит
 - b. Цементит
 - c. Перлит

- d. Ледебурит
- 4.76 *Белый чугун отличается от серых:*
- a. Ферритной структурой основы
 - b. Наличием аустенитной фазы
 - c. Наличием в структуре химически связанного углерода в виде цементита
 - d. Высокой пластичностью и вязкостью
- 4.77 *В белом чугуне при t^0 комн. углерод содержится в виде*
- a. Хлопьевидного графита
 - b. Цементита
 - c. Пластинчатого графита
 - d. Глобулярного графита
- 4.78 *Средние значения временного сопротивления (предела прочности) чугуна СЧ25, в МПа равны:*
- a. 25
 - b. 2,5
 - c. 250
 - d. 2500
- 4.79 *Средние значения временного сопротивления (предела прочности) чугуна ВЧ60, в МПа равны:*
- a. 6,0
 - b. 60
 - c. 600
 - d. 6000
- 4.80 *Средние значения временного сопротивления (предела прочности) чугуна КЧ37-12, в МПа равны:*
- a. 37
 - b. 12
 - c. 370
 - d. 120
- 4.81 *СЧ15 – одна из марок серого чугуна с пластинчатым графитом. Цифра 15 означает:*
- a. содержание углерода в процентах
 - b. относительное удлинение

- с. предел прочности при растяжении, поделенный на 10
- d. твёрдость по Бринеллю

4.82 *Какая структурная составляющая не должна встречаться в структуре серых чугунов?*

- a. шаровидный графит
- b. феррит
- с. ледебурит
- d. перлит

4.83 *Какая из предложенных форм графита характерна для высокопрочного чугуна?*

- a. вермикулярная
- b. пластинчатая
- с. шаровидная
- d. хлопьевидная

5. Классификация и маркировка сталей и сплавов.

По **химическому составу** стали классифицируют на нелегированные (углеродистые) и легированные. Последние в свою очередь подразделяют на хромистые, никелевые, хромоникелевые, хромоникельмолибденовые и т.д. Классификационным признаком является наличие в стали тех или иных легирующих элементов.

По **равновесному составу** стали классифицируют на доэвтектоидные, содержащие менее 0,8 % C, эвтектоидные (0,8 % C), заэвтектоидные (более 0,8 % C) ледебуритные. Последние представляют собой высоколегированные сплавы, в литой структуре которых имеется эвтектика.

По **степени раскисленности** стали классифицируют на кипящие (раскисленные только марганцем), полуспокойные (раскисленные марганцем и кремнием) и спокойные (раскисленные марганцем, кремнием и алюминием). Кипящие стали характеризуются пониженной плотностью отливки, низким содержанием кремния и

повышенной пластичностью. Спокойные стали дают плотную отливку. Полуспокойные - занимают промежуточное положение между кипящими и спокойными. Кипящие стали обозначают индексом **кп**, полуспокойные - **пс**, спокойные - **сп**.

По **качеству стали** подразделяют на стали обыкновенного качества, качественные, высококачественные и особовысококачественные. Основным критерием качества является содержание в стали серы и фосфора. Например, в качественных сталях предельное содержание S и P не должно превышать 0,035% (каждого элемента), в высококачественных - 0,025%.

По **назначению** стали классифицируют на конструкционные, инструментальные и стали с особыми свойствами.

Стали обыкновенного качества маркируют буквами **Ст** и однозначным числом 0, 1, 2, ..., 6 - номером сплава. Чем число больше, тем выше среднее содержание углерода в стали. Информацию о количественном химическом составе сплава марка не содержит. После цифры может стоять индекс раскисленности. Например, **Ст6сп** - сталь обыкновенного качества спокойная номер 6.

Углеродистые конструкционные качественные стали маркируют двузначным числом, показывающим среднее содержание углерода, выраженное в сотых долях процента. Например, сплав марки 30 соответствует качественной стали, содержащей 0,30% углерода. Иногда марки низкоуглеродистых сталей содержат индекс раскисленности **кп** или **пс** (спокойные стали маркируют без индекса). Например **08кп** - углеродистая конструкционная качественная кипящая сталь, содержащая 0,08 % углерода.

Низкоуглеродистые листовые стали 05, 08, 10 используют, главным образом, для изделий, получаемых холодной штамповкой (холоднодеформируемые стали). Низкоуглеродистые стали 15, 20, 25 чаще применяют для

деталей, упрочняемых цементацией (цементуемые стали). Среднеуглеродистые стали 30, 35, 40, 45, 50, 55 используют для самых разнообразных деталей машиностроения в улучшенном, нормализованном или поверхностно закаленном состоянии (улучшаемые стали). Высокоуглеродистые стали 60, 65, 70, 75, 80, 85 преимущественно применяют для изготовления силовых упругих элементов - плоских и круглых пружин, рессор, упругих колец и других деталей пружинного типа (рессорно-пружинные стали).

Углеродистые инструментальные стали маркируют буквой У (углеродистая) и числом, соответствующим содержанию углерода, выраженному в десятых долях процента. Например **У8А** - углеродистая инструментальная сталь, содержащая 0,8 % углерода. Буква А показывает, что сталь высококачественная.

Легированные конструкционные стали маркируют цифрами и буквами. Двухзначное число, стоящее в начале марки, соответствует среднему содержанию углерода в сотых долях процента. Буквы указывают на наличие легирующих элементов: Б - Nb, В - W, Г - Mn, Д - Cu, Е - Se, К - Co, М - Mo, Н - Ni, П - P, Р - B, С - Si, Т - Ti, Ф - V, Х - Cr, Ц - Zr, Ч - редкоземельный элемент, Ю - Al. Число, стоящее после буквы, показывает примерное процентное содержание легирующего элемента, символизируемого этой буквой. Отсутствие числа указывает, что среднее содержание соответствующего элемента не превышает 1,0 ... 1,5 %. Буква А в конце марки показывает, что сталь высококачественная (А внутри марки соответствует легирующему элементу - азоту), буква Ш - особовысококачественная. Например, сплав марки **20ХНЗА** - конструкционная высококачественная сталь, содержащая (в среднем) 0,20 % C, 3 % Ni и не более 1,5 % Cr.

Буква А в начале марки указывает, что сталь автоматная, т.е. обладающая хорошей обрабатываемостью резанием. Такие стали имеют повышенное содержание серы. Кроме того, они могут быть дополнительно легированы свинцом, селеном или кальцием. Например, **А20** - сернистая автоматная углеродистая ($\sim 0,2\%$ С) сталь; **АЦ30** - углеродистая ($\sim 0,3\%$ С) кальцийсодержащая с добавками свинца и теллура автоматная сталь; **АС14ХГН** - свинцовистая автоматная легированная сталь, содержащая примерно $0,14\%$ С, повышенное количество серы, легированная свинцом, а также хромом, марганцем и никелем (Сг, Мп и Ni не более $1,0 \dots 1,5\%$ каждого).

Каждый из легирующих элементов вносит определенный вклад в характеристики сталей. Например, никель увеличивает прокаливаемость стали и интенсивно снижает температуру перехода в хрупкое состояние. Хром увеличивает прокаливаемость. При концентрации хрома 13% и более сталь становится коррозионно-стойкой (нержавеющей). Ванадий и титан являются сильными измельчителями зерна. Молибден и вольфрам предотвращают развитие отпускной хрупкости и т.д.

Металлы и сплавы, способные сопротивляться коррозионному воздействию газообразной среды при высоких температурах, называются жаростойкими или окалиностойкими. **Жаростойкими** являются, например, высокохромистые стали 08Х17Т, 15Х25Т, 20Х23Н18.

Металлы и сплавы, способные длительное время сопротивляться деформированию и разрушению при повышенных температурах, называют жаропрочными. **Жаропрочными** являются, например, алюминиевые сплавы АК4-1, АЛ33, магниевые сплавы МА12, МЛ19, титановые сплавы ВТ3-1, ВТ-6, стали 10Х11Н20ТЗР, 45Х14Н14В2М и др. **Мартенситно-старееющими** сталями называют безуглеродистые высоколегированные сплавы,

упрочняющиеся после закалки и старения вследствие выделения интерметаллидных фаз. Например, мартенситно-старееющими являются стали 03Н18К9М5Т, 03Н12К15М10, 03Х11Н10М2Т.

Легированные **инструментальные** стали обычно маркируют однозначным числом, указывающим на среднее содержание углерода, выраженное в десятых долях процента, и буквами, обозначающими легирующие элементы. Например, сплав 5ХНМ - качественная инструментальная сталь, содержащая в среднем 0,5 % углерода; хром, никель и молибден в количествах, не превышающих 1,5 % каждого. Если сплав содержит около 1 % углерода, то число в начале марки не ставится, например, В2Ф (1 % С, 2 % W и не более 1 % V), Х12 (1 % С и 12 % Cr).

Вопросы к разделу

- 5.1. *В поле микроскопа около четверти площади микрошлифа занято перлитом. Сталь какой марки может находиться под микроскопом?*
- a. 40.
 - b. 05.
 - c. 10.
 - d. 20.
- 5.2. *Какая из приведенных в ответах сталей относится к заэвтектоидным?*
- a. Ст1кп.
 - b. У10А.
 - c. 10пс.
 - d. А11.
- 5.3. *Какой из признаков может характеризовать кипящую сталь?*
- a. Низкое содержание кремния.
 - b. Высокая плотность отливки.
 - c. Низкая пластичность.

- d. Низкое содержание марганца.
- 5.4. *Какую сталь называют кипящей (например, СтЗкп)?*
 - a. Сталь, обладающую повышенной плотностью.
 - b. Сталь, доведенную до температуры кипения.
 - c. Сталь, раскисленную марганцем, кремнием и алюминием.
 - d. Сталь, раскисленную только марганцем.
- 5.5. *Что является основным критерием для разделения сталей по качеству?*
 - a. Степень раскисления стали.
 - b. Степень легирования стали.
 - c. Содержание в стали серы и фосфора.
 - d. Содержание в стали неметаллических включений.
- 5.6. *Каково предельное содержание серы и фосфора в высококачественных сталях?*
 - a. S - 0,05 %, P - 0,04 %.
 - b. S - 0,015 %, P - 0,025 %.
 - c. S - 0,025 %, P - 0,025 %.
 - d. S - 0,035 %, P - 0,035 %.
- 5.7. *Каково предельное содержание серы и фосфора в качественных сталях?*
 - a. S - 0,015 %, P - 0,025 %.
 - b. S - 0,025 %, P - 0,025 %.
 - c. S - 0,035 %, P - 0,035 %.
 - d. S - 0,05 %, P - 0,04 %.
- 5.8. *Вредное явление, развивающееся из-за повышенного содержания примеси серы в стали*
 - a. горячеломкость (красноломкость)
 - b. хладноломкость
 - c. образуются флокены
- 5.9. *Вредное явление, развивающееся из-за содержания примеси фосфора в стали*
 - a. горячеломкость (красноломкость)
 - b. хладноломкость

- с. образуются флокены
- 5.10. *К какой категории по качеству принадлежит сталь Ст6сп?*
- а. К высококачественным сталям.
 - б. К особовысококачественным сталям.
 - с. К качественным сталям.
 - д. К сталям обыкновенного качества.
- 5.11. *К какой категории по качеству принадлежит сталь 08кп?*
- а. К сталям обыкновенного качества.
 - б. К качественным сталям.
 - с. К высококачественным сталям.
 - д. К особовысококачественным сталям.
- 5.12. *Содержат ли информацию о химическом составе (содержании углерода) марочные обозначения сталей обыкновенного качества, например, Ст4?*
- а. Нет. Число 4 характеризует механические свойства стали.
 - б. Нет.
 - с. Да. В сплаве Ст4 содержится 0,4 % углерода.
 - д. Да. В сплаве Ст4 содержится 0,04 % углерода.
- 5.13. *Какой из сплавов СтЗсп или сталь 30 содержит больше углерода?*
- а. СтЗсп.
 - б. В обоих сплавах содержание углерода одинаково.
 - с. Сталь 30.
 - д. Для ответа на поставленный вопрос следует состав сплава СтЗсп уточнить по ГОСТ 380-88.
- 5.14. *Изделия какого типа могут изготавливаться из сталей марок 65, 70?*
- а. Изделия, изготавливаемые глубокой вытяжкой.
 - б. Пружины, рессоры.
 - с. Неответственные элементы сварных конструкций.
 - д. Цементуемые изделия.
- 5.15. *Каков химический состав стали 20ХНЗА?*

- a. $\sim 0,2 \text{ \% C}$, не более $1,5 \text{ \% Cr}$, $\sim 3 \text{ \% Ni}$. Сталь высококачественная.
 - b. $\sim 2 \text{ \% C}$, не более $1,5 \text{ \% Cr}$ и N , $\sim 3 \text{ \% Ni}$.
 - c. $\sim 0,02 \text{ \% C}$, $\sim 3 \text{ \% N}$ и $\sim 1 \text{ \% Cr}$ и Ni .
 - d. $\sim 20 \text{ \% Cr}$, не более $1,5 \text{ \% Ni}$ и около $3 \text{ \% N}$.
- 5.16. *Каков химический состав сплава 5ХНМА?*
- a. $\sim 0,5 \text{ \% C}$; не более, чем по $1,5 \text{ \% Cr}$, Ni и Mo . Сталь высокого качества.
 - b. $\sim 5 \text{ \% C}$; не более, чем по $1,5 \text{ \% Cr}$, Ni , Mo и N .
 - c. $\sim 0,05 \text{ \% C}$; не более, чем по $1,5 \text{ \% Cr}$, Ni и Mo . Сталь высокого качества.
 - d. $\sim 5 \text{ \% Cr}$; Ni , Mo и N не более, чем по $1,5 \text{ \%}$.
- 5.17. *Какие стали называют автоматными?*
- a. Стали, предназначенные для изготовления ответственных пружин, работающих в автоматических устройствах.
 - b. Стали, длительно работающие при цикловом знакопеременном нагружении.
 - c. Стали с улучшенной обрабатываемостью резанием, имеющие повышенное содержание серы или дополнительно легированные свинцом, селеном или кальцием.
 - d. Инструментальные стали, предназначенные для изготовления металлорежущего инструмента, работающего на станках-автоматах.
- 5.18. *К какой группе материалов относится сплав марки А20?*
- a. К углеродистым инструментальным сталям.
 - b. К углеродистым качественным конструкционным сталям.
 - c. К сталям с высокой обрабатываемостью резанием.
 - d. К алюмининиевым сплавам
- 5.19. *К какой группе материалов относится сплав марки АЦ20? Каков его химический состав?*

- a. Конструкционная сталь, содержащая $\sim 0,2\%$ С и легированная N и Zr.
 - b. Высококачественная конструкционная сталь, содержащая $\sim 0,2\%$ С и $\sim 1\%$ Zr.
 - c. Автоматная сталь. Содержит $\sim 0,2\%$ С, легирована Са с добавлением Pb и Те.
 - d. Алюминиевый сплав, содержащий $\sim 2\%$ Zn.
- 5.20. *К какой группе материалов относится сплав марки АС40? Каков его химический состав?*
- a. Высококачественная конструкционная сталь. Содержит около $0,4\%$ углерода и около 1% кремния.
 - b. Антифрикционный чугун. Химический состав в марке не отражен.
 - c. Конструкционная сталь, легированная азотом и кремнием. Содержит около $0,4\%$ углерода.
 - d. Автоматная сталь. Содержит около $0,4\%$ углерода, повышенное количество серы, легирована свинцом.
- 5.21. *Даны две марки сталей: 40Х9С2 и 40Х13. Какая из них коррозионно-стойкая (нержавеющая)?*
- a. 40Х9С2.
 - b. 40Х13.
 - c. Ни одна из этих марок сталей не может быть отнесена к коррозионно-стойким (нержавеющим).
 - d. Обе марки относятся к коррозионно-стойким (нержавеющим) сталям.
- 5.22. *Какие металлы называют жаростойкими?*
- a. Металлы, способные сопротивляться часто чередующимся нагреву и охлаждению.
 - b. Металлы, способные сопротивляться коррозионному воздействию газа при высоких температурах.
 - c. Металлы, способные сохранять структуру мартенсита при высоких температурах.
 - d. Металлы, способные длительное время сопротивляться деформированию и разрушению при повышенных температурах.

- 5.23. *Какие металлы называют жаропрочными?*
- a. Металлы, способные сохранять структуру мартенсита при высоких температурах.
 - b. Металлы, способные сопротивляться коррозионному воздействию газа при высоких температурах.
 - c. Металлы, способные длительное время сопротивляться деформированию и разрушению при повышенных температурах.
 - d. Металлы, способные сопротивляться часто чередующимся нагреву и охлаждению.
- 5.24. *Какие стали называют мартенситно-стареющими?*
- a. Стали, в которых мартенситно-перлитное превращение протекает при естественном старении.
 - b. Стали, в которых мартенсит образуется как следствие закалки и старения.
 - c. Безуглеродистые высоколегированные сплавы, упрочняющиеся после закалки и старения вследствие выделения интерметаллидных фаз.
 - d. Высоколегированные аустенитные стали, упрочняемые закалкой и последующей термомеханической обработкой с большими степенями обжата.
- 5.25. *К какой группе материалов относится сплав марки У10А? Каков его химический состав?*
- a. Высококачественная углеродистая конструкционная сталь. Содержит около 0,1 % С.
 - b. Высокоуглеродистая сталь. Содержит около 1 % С, легирована N.
 - c. Титановый сплав. Содержит около 10 % Al.
 - d. Высококачественная углеродистая инструментальная сталь. Содержит около 1 % С.
- 5.26. *Какова форма графита в чугунах марки КЧ 35-10?*
- a. Пластинчатая.
 - b. Хлопьевидная.

- с. В этом чугуне графита нет.
 - d. Шаровидная.
- 5.27. *Графит какой формы содержит сплав СЧ 40?*
- a. Пластинчатой.
 - b. Шаровидной.
 - c. Хлопьевидной.
 - d. В сплаве графита нет.
- 5.28. *Графит какой формы содержится в сплаве ВЧ 50?*
- a. Шаровидной.
 - b. Хлопьевидной.
 - c. В сплаве графита нет.
 - d. Пластинчатой.
- 5.29. *Что означает число 10 в марке сплава КЧ 35-10?*
- a. Относительное удлинение, в процентах.
 - b. Ударную вязкость, в кДж/м².6
 - c. Временное сопротивление, в кг/мм².
 - d. Предел текучести, в МПа.
- 5.30. *Что означает число 40 в марке сплава СЧ 40?*
- a. Предел текучести, в МПа.
 - b. Предел прочности при изгибе, в кг/мм².
 - c. Ударную вязкость, в кДж/м².
 - d. Временное сопротивление, в кг/ мм².
- 5.31. *Среднее значение предела прочности чугуна ВЧ50 в МПа равно:*
- a. 500;
 - b. 50;
 - c. 5;
 - d. 0,5.
- 5.32. *Среднее значение предела прочности чугуна КЧ37–12 в МПа равно:*
- a. 37;
 - b. 3,7;
 - c. 370;
 - d. 12.

- 5.33. *Механические свойства выше у серых чугунов со структурой:*
- a. ферритной;
 - b. феррито-перлитной;
 - c. перлитной;
 - d. аустенитной.
- 5.34. *Ковкий чугун получают в результате:*
- a. графитизирующего отжига белых чугунов;
 - b. модифицирования магнием;
 - c. отжига серых чугунов;
 - d. диффузионного отжига.
- 5.35. *Укажите марки жаростойких сталей (несколько вариантов ответов)*
- a. 40X9C2 и 40X10C2M
 - b. 12X18H9T, 36X18H25C2,
 - c. 10X13CЮ, 08X17T
 - d. 12X1MФ, 25X1M1Ф.
- 5.36. *Укажите марки жаропрочных сталей.*
- a. 12X18H9T, 36X18H25C2
 - b. 10X13CЮ, 08X17T,
 - c. 15X11MФ, 11X11H2B2MФ
 - d. 15X12BHMФ, 18X12BHBФР.
- 5.37. *Назовите конструкционную улучшенную сталь:*
- a. 15; 18 ХГТ
 - b. 08X18H10T; X28
 - c. X12M ; P6M5
 - d. 30ХТСА; 40ХН2МА
- 5.38. *Легирована марганцем сталь*
- a. 40 ХНМА
 - b. У7А
 - c. 18 Г2АФ
 - d. P18
- 5.39. *Какая из сталей относится к автоматным?*
- a. 40А,
 - b. А12

- с. 08пс
 - d. 18ХГТ
- 5.40. *Какая из сталей относится к подшипниковым?*
- a. 40Х,
 - b. АС4
 - с. ШХ15
 - d. 18ХГТ
- 5.41. *Какая из сталей относится к износостойким сталям?*
- a. 40Х
 - b. АС4
 - с. 110Г13Л
 - d. 18ХГТ
- 5.42. *Какая из сталей относится к коррозионно-стойким сталям?*
- a. 40Х
 - b. 40Х13
 - с. 40
 - d. 40ХГ
- 5.43. *Теплостойкостью не ниже 400-450 °С, способностью противостоять воздействию удельных давлений до 2000-2200 МПа в течение длительного времени и высокой износостойкостью должны обладать:*
- a. быстрорежущие стали
 - b. штамповые стали для горячего деформирования
 - с. штамповые стали для холодного деформирования
 - d. твердые сплавы
- 5.44. *Какая из сталей относится к штамповым сталям для горячего деформирования умеренной теплостойкости и повышенной ударной вязкости?*
- a. Х12
 - b. 5ХНМ
 - с. Р18
 - d. 9ХС

- 5.45. *Какая из сталей относится к износостойким штамповым сталям для холодного деформирования?*
- a. X12
 - b. 5XNM
 - c. P18
 - d. 9XC
- 5.46. *Содержание углерода в штамповых сталях для холодного деформирования находится в пределах:*
- a. 0,3 – 0,6 %
 - b. 0,8 - 2.2 %
 - c. 0,1-0,3 %
 - d. свыше 4,3 %
- 5.47. *Содержание углерода в штамповых сталях для горячего деформирования находится в пределах:*
- a. 0,3 – 0,6 %
 - b. 0,8 - 2.2 %
 - c. 0,1-0,3 %
 - d. свыше 4,3 %
- 5.48. *Повышенное содержание хрома 11-13 % характерно для:*
- a. штамповых сталей горячего деформирования умеренной теплостойкости и повышенной ударной вязкости
 - b. износостойких штамповых сталей для холодного деформирования
 - c. штамповых сталей высокой теплостойкости для горячего деформирования
 - d. высокопрочных штамповых сталей для холодного деформирования с повышенной ударной вязкостью
- 5.49. *Расположите следующие группы режущих инструментальных материалов в порядке возрастания их теплостойкости: 1- твердые сплавы, 2- быстрорежущие стали, 3 – режущая керамика, 4 – природный алмаз:*
- a. 1. – 1, 2, 3, 4

- b. 2. – 4, 2, 3, 1
 - c. 3. – 2, 4, 1, 3
 - d. 4. – 4, 3, 2, 1
- 5.50. *Расположите следующие группы режущих инструментальных материалов в порядке возрастания их твердости: 1- твердые сплавы, 2- быстрорежущие стали, 3 – режущая керамика, 4 – природный алмаз:*
- a. 1, 2, 3, 4
 - b. 2, 1, 3, 4
 - c. 3, 2, 1, 4
 - d. 4, 3, 2, 1
- 5.51. *Какие из инструментальных материалов работоспособны при температурах 800 -1000 °С?*
- a. Y10-Y13
 - b. P18
 - c. BK8
 - d. T15K6
- 5.52. *Какие из инструментальных материалов работоспособны при температурах 500 -600 °С?*
- a. Y10-Y13
 - b. P18
 - c. 5XNM
 - d. T15K6
- 5.53. *Цель легирования:*
- a. создание сталей с особыми свойствами (жаропрочность, коррозионная стойкость и т.д.)
 - b. получение гладкой поверхности
 - c. повышение пластических свойств
 - d. уменьшения поверхностных дефектов
- 5.54. *К карбидообразующим элементам относятся:*
- a. никель,
 - b. молибден
 - c. алюминий
 - d. вольфрам

- 5.55. *Какое содержание вредных примесей серы и фосфора содержится в высококачественных сталях?*
- a. до 0,04% серы и до 0,035% фосфора
 - b. до 0,025% серы и до 0,025% фосфора
 - c. до 0,015% серы и до 0,025% фосфора
 - d. сера и фосфор отсутствуют
- 5.56. *Какой легирующий элемент обозначается буквой С при маркировке сталей?*
- a. селен
 - b. углерод
 - c. кремний
 - d. свинец
- 5.57. *Буква А при маркировке стали (например, 39ХМЮА, У12А) обозначает:*
- a. азот
 - b. высококачественную сталь
 - c. автоматную сталь
 - d. сталь ферритного класса
- 5.58. *В сталях используемых для изготовления строительных конструкций содержание углерода должно быть:*
- a. не более 0,25%
 - b. 0,35 до 0,45%
 - c. до 0,8%
 - d. до 1,2%
- 5.59. *К группе цементуемых сталей с неупрочняемой сердцевиной относится:*
- a. сталь 20ХГНР
 - b. сталь 15ХФ
 - c. сталь 15
 - d. сталь 45
- 5.60. *Для изготовления мелкогазмерных режущих (слесарных) инструментов (метчиков, напильников, развёрток и др.) применяются:*
- a. У10А – У13А

- б. 18ХГТ, 20ХГМ
- с. 110Г13Л
- д. 03Х18Н10, 17Х18Н9

5.61. Основным легирующим элементом быстрорежущей стали является вольфрам. Каким легирующим элементом можно заменить часть дорогостоящего вольфрама?

- а. хромом
- б. кобальтом
- с. кремнием
- д. молибденом

5.62. Какой сплав получен методом порошковой металлургии?

- а. ВК8
- б. Р18
- с. У12А
- д. 5ХНМ

5.63. Какие карбиды составляют основу твердого сплава Т5К10?

- а. карбид вольфрама + карбид титана
- б. карбид хрома + карбид молибдена
- с. карбид марганца + карбид хрома
- д. карбид молибдена + карбид вольфрама

5.64. Основной особенностью режущей керамики является отсутствие связующей фазы. На какое свойство это отрицательно влияет?

- а. ударную вязкость
- б. возможность применения высоких скоростей резания
- с. разупрочнение при нагреве
- д. пластическую прочность

5.65. Какие примеси в железоуглеродистых сталях относятся к вредным:

- а. кремний
- б. марганец
- с. сера

- d. фосфор
- 5.66. *Какие примеси в железоуглеродистых сталях относятся к полезным:*
- a. кремний
 - b. марганец
 - c. сера
 - d. фосфор
- 5.67. *В каких сталях в наибольшей степени удален кислород:*
- a. в кипящих «кп»
 - b. в спокойных «сп»
 - c. в полуспокойных «пс»
 - d. в низкоуглеродистых
- 5.68. *В каких сталях в наименьшей степени удален кислород:*
- a. в кипящих «кп»
 - b. в спокойных «сп»
 - c. в полуспокойных «пс»
 - d. в низкоуглеродистых
- 5.69. *Стали, характеризующиеся низким содержанием вредных примесей и неметаллических включений, называются:*
- a. малопрочными и высокопластичными
 - b. углеродистыми качественными
 - c. углеродистыми сталями обыкновенного качества
 - d. автоматными сталями

6. Теория термообработки.

Термическая и химико-термическая обработка сталей.

Термической называют обработку, связанную с нагревом и охлаждением металла с целью изменения его структуры и свойств.

Температурные режимы термообработки сталей связаны с диаграммой Fe-Fe₃C. Равновесные температуры,

отвечающие положению линий PSK , GS и SE диаграммы, обозначают A_1 , A_2 и A_m соответственно рис.40. При нагреве неравновесные температуры превращений обозначают: перлита в аустенит - A_{C1} ; превращений, связанных с получением однофазной аустенитной структуры, - A_{C3} (для доэвтектоидных сталей), A_{cm} (для заэвтектоидных). При обычных скоростях нагрева неравновесные температуры на $30 \dots 50^\circ\text{C}$ выше соответствующих равновесных.

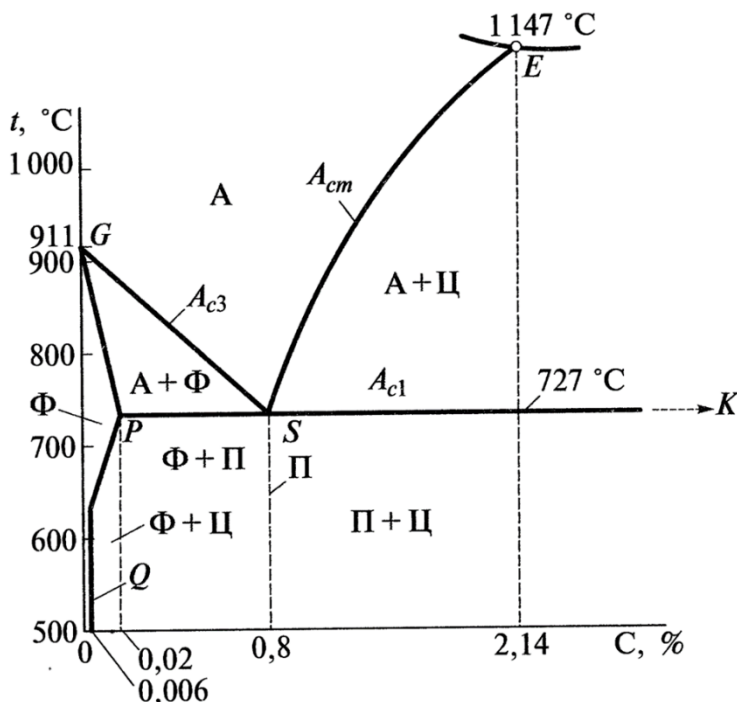


Рис.40. Стальной угол диаграммы $Fe-Fe_3C$ с нанесенными критическими точками

В зависимости от склонности аустенитного зерна при нагреве к росту различают **наследственно крупнозернистые** (зерно склонно к росту) и **наследственно мелкозернистые** (зерно не склонно к росту) стали. Свойства стали, возникшие в результате той

или иной обработки, определяются реально образовавшимся зерном - действительным зерном. Наследственная зернистость должна учитываться при назначении режимов обработки, влияющей на размер получаемого действительного зерна, например, при закалке, отжиге.

Основными видами термической обработки сталей являются отжиг (первого и второго рода), закалка, отпуск. (рис 41)

Отжиг состоит в нагреве металла, выдержке и последующем медленном охлаждении (вместе с печью). Отжиг приближает металл к равновесию.

Отжиг первого рода проводят для получения более равновесной, чем исходная, структуры, не связывая эту цель с наличием или отсутствием фазовой перекристаллизации. Примерами отжига первого рода являются рекристаллизационный отжиг, диффузионный отжиг.

При **рекристаллизационном отжиге** деформационно упрочненный металл нагревают несколько выше температурного порога рекристаллизации. В результате отжига материал приобретает такие же механические свойства, какие он имел до деформации.

Диффузионный (гомогенизирующий) отжиг проводят при нагреве до высоких температур (применительно к сталям - значительно выше A_{c3} или A_{cm}), предполагающих интенсивную диффузию атомов. Такому отжигу подвергают, например, отливки для устранения дендритной ликвации (гомогенизации сплава).

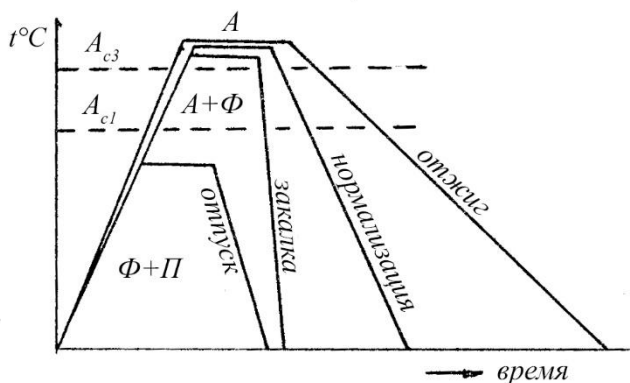


Рис. 41. Графики видов термообработки.

При отжиге второго рода непременно протекает, хотя бы частичная, фазовая перекристаллизация. К отжигу второго рода относятся неполный отжиг, полный отжиг.

При неполном отжиге нагрев ведут до температуры A_{c1} (ниже A_{c3} или A_{cm}). Происходит частичная перекристаллизация сплава (меняется перлитная составляющая). Чаще неполный отжиг применяют для заэвтектоидных сталей (сфероит дизирующий отжиг).

При полном отжиге сталь нагревают до A_{c3} или A_{cm} . Происходит полная перекристаллизация сплава.

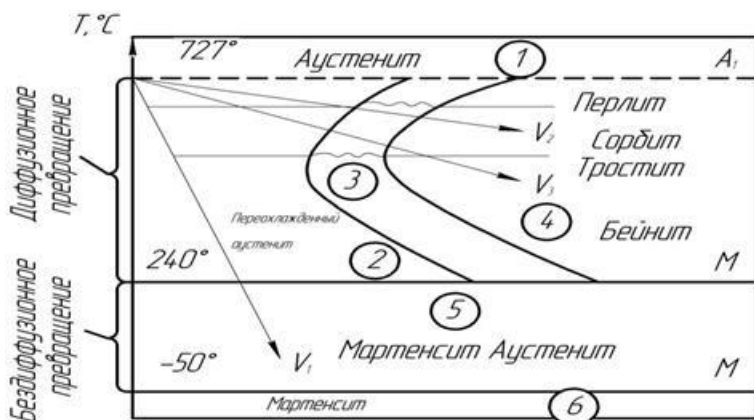
Закалка состоит в нагреве сплавов выше температур фазовых превращений и последующем быстром охлаждении, фиксирующем их высокотемпературное состояние (истинная закалка) или состояние, промежуточное между высокотемпературным и равновесным, характерным для нормальной температуры.

Теоретическая возможность осуществления закалки определяется видом диаграммы состояния системы, которой принадлежит сплав. Необходимо, чтобы при нагреве он испытывал, хотя бы частичную, твердофазовую перекристаллизацию. При закалочных скоростях охлаждения диффузионные процессы в металле в

значительной степени подавлены, и, следовательно, фазовые превращения не могут не отличаться от равновесных. (Отставание диффузионных процессов в твердой фазе при неравновесном охлаждении даже при кристаллизации из жидкого расплава приводит к разнородности состава кристаллов в центре и на периферии).

Применительно к сталям нагрев при закалке обычно ведут до температуры A_{c3} (доэвтектоидные стали) и A_{c1} (заэвтектоидные стали). Если нагрев ведется до температур A_{c3} или A_{cm} , то такая закалка называется **полной**, если до A_{c1} – **неполной**.

В зависимости от скорости охлаждения существуют два принципиально различных способа закалки - закалка на ферритно-цементитные смеси и закалка на мартенсит рис.42 (С-образные кривые). При охлаждении со скоростью ниже **критической**, т.е. такой минимальной скорости, которая необходима для образования мартенсита, возникают структуры перлитного типа (перлит, сорбит, троостит, бейнит). Сорбит и троостит отличаются от перлита и друг от друга степенью дисперсности (троостит дисперснее сорбита, а последний - перлита). Чем структура дисперснее, тем выше ее механические свойства.



*Рис.42. Диаграмма изотермического превращения
аустенита*

Охлаждение со скоростью выше критической ведет к превращению аустенита в **мартенсит**. Суть превращения состоит в перестройке кристаллической решетки аустенита (ГЦК) в решетку феррита (ОЦК). При этом углерод, растворенный в аустените, оказывается полностью в решетке феррита. Таким образом, мартенсит представляет собой пересыщенный твердый раствор углерода в феррите. Кристаллическая решетка мартенсита - тетрагональная (искаженная решетка феррита с увеличенным параметром c).

Если при полной закалке (полном отжиге) охлаждение нагретой заготовки ведут на спокойном воздухе, то такая термическая обработка называется **нормализацией**.

Большинство легирующих элементов, растворенных в аустените, повышают его временную устойчивость, сдвигая С-образные кривые изотермического превращения аустенита вправо по координатной оси времени. При этом критическая скорость закалки уменьшается. (В сталях мартенситного типа этого уменьшения оказывается достаточно, чтобы уже при нормализации получить мартенситную структуру).

Мартенситное превращение протекает по бездиффузионному, сдвиговому механизму. Под действием напряжений, возникающих при быстром охлаждении сплава, в кристаллической решетке аустенита происходит сдвиг по плоскостям легкого скольжения с одновременной $\gamma \rightarrow \alpha$ перестройкой. Отличительными особенностями мартенситного превращения являются бездиффузионность и ориентированность (иглы мартенсита находятся под определенными углами относительно друг друга в соответствии с расположением плоскостей легкого скольжения в аустените).

Мартенситное превращение не захватывает всю аустенитную структуру. Часть аустенита сохраняется в закаленной стали. Такой аустенит называют остаточным. Количество остаточного аустенита определяется режимами термической обработки и зависит от температур начала и конца мартенситного превращения.

Мартенсит - самая твердая структура, образующаяся при термообработке сталей. Чем больше в нем углерода, тем он тверже. Заэвтектоидные стали, в отличие от доэвтектоидных, подвергают неполной закалке. Это объясняется тем, что избыточная фаза заэвтектоидных сталей (цементит) обладает высокой твердостью, и наличие дисперсных включений цементита повышает износостойкость стали. Нагрев до A_{cm} привел бы к растворению цементита и, кроме того, к укрупнению аустенитного зерна, а, следовательно, к возникновению после закалки структуры крупноигльчатого мартенсита, обладающего пониженными механическими свойствами. Если неполной закалке подвергнуть доэвтектоидную сталь, то избыточная фаза (феррит), имеющая малую твердость, понизит механические свойства закаленного сплава.

Температура начала мартенситного превращения не зависит от скорости охлаждения, но определяется составом сплава. Углерод и большинство легирующих элементов сдвигают точки начала и конца превращения к более низким температурам.

Мартенсит - термодинамически неустойчивая структура. Нагрев, повышая подвижность атомов, приводит к образованию более устойчивых структур (троостит, сорбит, перлит). С повышением температуры снижается твердость и возрастает пластичность сплава.

Термическая обработка, состоящая в нагреве закаленной стали до температуры ниже A_1 , выдержке и последующем охлаждении с произвольной скоростью, называется **отпуском**. Чем выше нагрев, тем в большей

степени структура приближается к равновесной. Различают три вида отпуска: низкий ($t = 150 \dots 250^{\circ}\text{C}$), средний ($t = 350 \dots 500^{\circ}\text{C}$) и высокий ($t = 500 \dots 680^{\circ}\text{C}$).

Сочетание закалки и высокого отпуска называют **улучшением**, а стали, предназначенные для такой обработки (среднеуглеродистые стали), - **улучшаемыми**.

В некоторых случаях нагрев при отпуске заменяют длительной выдержкой при нормальной температуре. Такая обработка называется **старением**. Если старение проводят с небольшим нагревом, то его называют искусственным.

Обычно при среднем отпуске образуется трооститная структура, при высоком - сорбитная. От одноименных структур закалки троостит и сорбит отпуска отличается тем, что цементитные частицы в них имеет зернистую форму (в структурах закалки - пластинчатую).

Большинство легирующих элементов сдерживают мартенситное превращение, сдвигая его в область более высоких температур.

Следует различать термины "закаливаемость" и "прокаливаемость". **Закаливаемость** - это способность металла повышать твердость при закалке. **Прокаливаемость** - это глубина, на которую распространяется закаленная область. При сквозной прокаливаемости свойства материала однородны и достаточно высоки по всему сечению. Количественно прокаливаемость оценивается критическим диаметром, под которым понимают наибольший диаметр прутка, прокаливающегося насквозь (в центре возникает полумартенситная структура, состоящая на 50 % из троостита и на 50 % из мартенсита) в данном охладителе. Чем больше скорость теплоотвода (охлаждения), тем на большую глубину прокаливается изделие. Поэтому критический диаметр при охлаждении в воде больше, чем в масле, и тем более больше, чем на воздухе. Особенно сильно увеличивают прокаливаемость

сталей легирующие элементы (кроме кобальта), растворенные в аустените. Критический диаметр зависит от критической скорости закали. Чем скорость меньше, тем больше диаметр.

В ряде случаев применяют закалку, при которой высокому нагреву подвергают лишь поверхностный слой материала (**поверхностная закалка**). В результате поверхностной закали изделие приобретает высокую поверхностную твердость, сердцевина же остается вязкой. Широко применяют закалку с индукционным нагревом токами высокой частоты (ТВЧ). Чем выше частота тока, тем тоньше слой, в котором индуцируются токи, и тем тоньше окажется закаленный слой.

Обработка, при которой металл нагревают в специальных средах, изменяющих химический состав поверхностного слоя, называется **химико-термической (ХТО)**. Распространенными видами ХТО сталей являются цементация (насыщение поверхностного слоя изделия углеродом), азотирование (насыщение азотом), нитроцементация и цианирование (насыщение азотом и углеродом одновременно).

Режимы химико-термической обработки, состоящей в диффузионном насыщении металла А компонентом В, определяются видом диаграммы состояния системы А-В. Термодинамически такая обработка возможна, если в диаграмме имеется высокотемпературная область значительной растворимости компонента В в А.

Например, **цементация сталей** проводится в аустенитной области диаграммы состояния Fe-Fe₃C. Цементации подвергают низкоуглеродистые стали (цементуемые стали). В качестве насыщающих сред (при цементации такие среды называют карбюризаторами) используют древесный уголь с добавками углекислых солей; углеродсодержащие газы; расплавы солей с добавками карбидов. Максимальное возможное насыщение

поверхностного слоя определяется линией *SE* диаграммы - линией предельной концентрации углерода в аустените. Цементованная сталь при охлаждении от температуры цементации испытывает эвтектоидное превращение, вследствие чего насыщенный углеродом слой (диффузионный слой) приобретает сложную структуру: на поверхности - перлит + цементит, глубже - перлит и затем - перлит + феррит. Конечная цель цементации - получение высокотвердого поверхностного слоя при сохранении вязкой сердцевины достигается последующей (после насыщения углеродом) закалкой и низким отпуском. После термообработки поверхностный слой изделия состоит из высокоуглеродистого мартенсита, сердцевина — из низкоуглеродистого вязкого мартенсита (при достаточной прокаливаемости) или сохраняет ферритно-перлитную структуру доэвтектоидной стали.

ХТО, состоящую в диффузионном насыщении поверхностного слоя азотом и углеродом и проводимую в расплавленных солях, содержащих группу CN, называют **цианированием**.

Если насыщение азотом и углеродом осуществляется в газовой фазе, состоящей из азот- и углеродсодержащих газов, то такая химико-термическая обработка называется нитроцементацией.

Вопросы к разделу

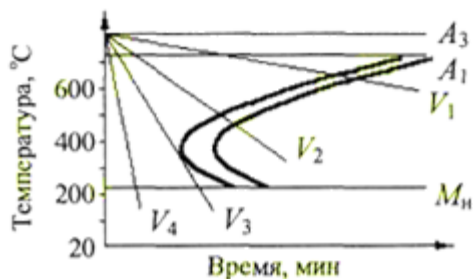
6.1. *Пересыщенный твердый раствор углерода в Fe α полученный при охлаждении А со скоростью больше критической называется:*

- a. Цементит
- b. Перлит
- c. Феррит
- d. Мартенсит

6.2. *Как называется склонность (или отсутствие таковой) аустенитного зерна к росту?*

- a. Отпускная хрупкость.
 - b. Наследственная или природная зернистость.
 - c. Аустенизация.
 - d. Действительная зернистость.
- 6.3. *Какие из перечисленных в ответах технологические процессы следует проводить с учетом наследственной зернистости?*
- a. Холодная обработка давлением
 - b. Литье в песчаные формы.
 - c. Высокий отпуск
 - d. Закалка, отжиг.
- 6.4. *Металлографический анализ наследственно мелкозернистой стали показал, что размер ее зерна находится в пределах 0,05 ... 0,08 мм. Какое зерно имеется в виду?*
- a. Действительное.
 - b. Начальное.
 - c. Наследственное.
 - d. Исходное.
- 6.5. *Чем объясняется, что троостит обладает большей твердостью, чем сорбит?*
- a. Форма цементитных частиц в троостите отличается от формы частиц в сорбите.
 - b. В троостите меньше термические напряжения, чем в сорбите
 - c. Троостит содержит больше (по массе) цементитных частиц, чем сорбит.
 - d. В троостите цементитные частицы более дисперсны, чем в сорбите.
- 6.6. *Какую кристаллическую решетку имеет мартенсит?*
- a. Кубическую.
 - b. ГПУ.
 - c. Тетрагональную.
 - d. ГЦК.

6.7. Какая из скоростей охлаждения, нанесенных на диаграмму изотермического распада аустенита (рис. 43), критическая?



- a. V_1 .
- b. V_4
- c. V_3
- d. V_2 .

рис. 43

6.8. Как называется структура, представляющая собой пересыщенный твердый раствор углерода в α -железе?

- a. Мартенсит.
- b. Цементит
- c. Феррит.
- d. Аустенит.

6.9. Какую скорость охлаждения при закалке называют критической?

- a. Максимальную скорость охлаждения, при которой еще протекает распад аустенита на структуры перлитного типа
- b. Минимальную скорость охлаждения, необходимую для получения мартенситной структуры.
- c. Минимальную скорость охлаждения, необходимую для фиксации аустенитной структуры.
- d. Минимальную скорость охлаждения, необходимую для закалки изделия по всему сечению.

6.10. Каковы основные признаки мартенситного превращения?

- a. Диффузионный механизм превращения и четкая зависимость температуры превращения от скорости охлаждения сплава.

- b. Зависимость полноты превращения от температуры аустенизации и малые искажения в кристаллической решетке
 - c. Слабовыраженная зависимость температуры превращения от состава сплава и малые напряжения в структуре
 - d. Бездиффузионный механизм превращения и ориентированная структура.
- 6.11. *Как влияет скорость охлаждения при закалке на температуру начала мартенситного превращения?*
- a. Чем выше скорость охлаждения, тем ниже температура
 - b. Температура начала мартенситного превращения не зависит от скорости охлаждения.
 - c. Чем выше скорость охлаждения, тем выше температура.
 - d. Зависимость температуры начала мартенситного превращения от скорости охлаждения неоднозначна.
- 6.12. *От чего зависит количество остаточного аустенита?*
- a. От температуры точек начала и конца мартенситного превращения.
 - b. От скорости нагрева при аустенизации
 - c. От однородности исходного аустенита.
 - d. От скорости охлаждения сплава в области изгиба С-образных кривых.
- 6.13. *У сплава А критическая скорость закалки больше, чем у сплава Б. У какого сплава больше критический диаметр?*
- a. У сплава А.
 - b. У сплава Б.
 - c. Зависимость между критической скоростью закалки и критическим диаметром неоднозначна
 - d. Критический диаметр не зависит от критической скорости закалки.

6.14. Какой температуре (каким температурам) отвечают критические точки A_3 железоуглеродистых сплавов?

- a. 727°C .
- b. $727 \dots 1147^{\circ}\text{C}$ (в зависимости от содержания углерода).
- c. $727 \dots 911^{\circ}\text{C}$ (в зависимости от содержания углерода).
- d. 1147°C .

6.15. Что означает точка A_{c3} ?

- a. Температурную точку начала распада мартенсита
- b. Температурную точку начала превращения аустенита в мартенсит.
- c. Температуру критической точки перехода перлита в аустенит при неравновесном нагреве
- d. Температуру критической точки, выше которой при неравновесном нагреве доэвтектоидные стали приобретают аустенитную структуру.

6.16. На какой линии диаграммы состояния Fe-C расположены критические точки A_m ? (рис.44)

- a. PSK.
- b. SE.
- c. ECF.
- d. GS.

6.17. Как называется термическая обработка, состоящая в нагреве закаленной стали ниже A_1 выдержке и последующем охлаждении?

- a. Отжиг
- b. Аустенизация.
- c. Отпуск.

d. Нормализация.

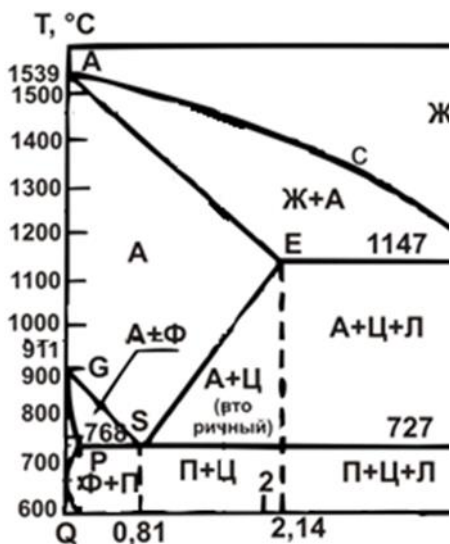


рис.44

6.18. Как называется термическая обработка стали, состоящая в нагреве ее выше A_3 или A_{cm} , выдержке и последующем быстром охлаждении?

- Истинная закалка
- Полная закалка.
- Неполная закалка.
- Нормализация.

6.19. Как называется термическая обработка стали, состоящая в нагреве ее выше A_3 или A_{cm} , выдержке и последующем охлаждении вместе с печью?

- Неполный отжиг.
- Полный отжиг
- Рекристаллизационный отжиг.
- Низкий отжиг.

6.20. Как называется термическая обработка стали, состоящая в нагреве ее до аустенитного состояния и последующего охлаждения на спокойном воздухе?

- Истинная закалка.

- b. Улучшение.
 - c. Неполный отжиг
 - d. Нормализация.
- 6.21. Какой структурный состав приобретет доэвтектоидная сталь после закалки от температуры выше A_{c1} , но ниже A_{c3} .
- a. Мартенсит + феррит.
 - b. Перлит + вторичный цементит.
 - c. Мартенсит + + вторичный цементит.
 - d. Феррит + перлит.
- 6.22. От какой температуры (t) проводят закалку углеродистых заэвтектоидных сталей?
- a. От t на 30 ... 50°C выше A_t
 - b. От t на 30 ... 50°C ниже линии ECF диаграммы Fe-C.
 - c. От t на 30 ... 50°C выше эвтектической
 - d. От t на 30 ... 50°C выше A_1 .
- 6.23. Почему для доэвтектоидных сталей (в отличие от заэвтектоидных) не применяют неполную закалку?
- a. Образуется мартенсит с малой степенью пересыщения углеродом
 - b. Образуются структуры немартенситного типа (сорбит, троостит).
 - c. Изделие прокаливается на недостаточную глубину.
 - d. В структуре, наряду с мартенситом, остаются включения феррита.
- 6.24. Как влияет большинство легирующих элементов на мартенситное превращение?
- a. Не влияют на превращение
 - b. Сдвигают точки начала и конца превращения к более высоким температурам.
 - c. Сдвигают точки начала и конца превращения к более низким температурам.
 - d. Сужают температурный интервал превращения.
- 6.25. Твердость низкоуглеродистой стали можно повысить

- a. Закалкой ТВЧ
 - b. Отжигом,
 - c. Объемной закалкой
 - d. Нормализацией,
 - e. Цементацией и закалкой ТВЧ.
- 6.26. *Для повышения вязкости стали после закалки обязательной термической операцией является:*
- a. Обжиг
 - b. Отпуск
 - c. Нормализация
 - d. Отжиг
- 6.27. *Углеродистые стали при закалке охлаждают:*
- a. В масле
 - b. На воздухе
 - c. С печью
 - d. В воде
- 6.28. *Гомогенизированный отжиг сталей проводят при температурах ...*
- a. 160-180°C,
 - b. 800-900°C,
 - c. 750-780°C
 - d. 1100-1200°C
 - e. 660-680°C.
- 6.29. *Оптимальная температура закалки стали У13 составляет ...*
- a. 900°C
 - b. 770°C
 - c. 870°C
 - d. 727°C
 - e. 1000°C
- 6.30. *Структура, получаемая после закалки и среднего отпуска:*
- a. Троостит отпуска
 - b. Остаточный аустенит,
 - c. Сорбит отпуска

d. Мартенсит отпуска

e. Перлит.

6.31. *Процесс термической обработки, при которой сталь нагревают до оптимальной температуры, выдерживают при этой температуре и затем быстро охлаждают с целью получения неравновесной структуры, называется..*

a. Отжиг

b. Закалка,

c. Диффузионный отжиг

d. Полный отжиг.

6.32. *Основные параметры закалки (несколько вариантов ответов)*

a. Скорость нагрева

b. Скорость охлаждения,

c. Температура

d. Время выдержки

e. Давление.

6.33. *Средний отпуск производится при температуре...*

a. 150-250°C

b. 300-500°C

c. 200-300°C

d. 350-600°C

6.34. *Какова температура закалки стали 50 (сталь содержит 0,5 % углерода)?*

a. 600... 620°C

b. 810... 830°C

c. 740... 760°C.

d. 1030 ... 1050°C.

6.35. *Какова температура закалки стали У12 (сталь содержит 1,2% углерода)?*

a. 760 ... 780°C

b. 600 ... 620°C.

c. 1030 ... 1050°C

d. 820 ... 840°C.

- 6.36. Сколько процентов углерода содержится в мартенсите закаленной стали марки 45 (сталь содержит 0,45 % углерода)?
- a. 0,45 %.
 - b. 2,14 %.
 - c. 0,02 %.
 - d. 0,80 %.
- 6.37. В чем состоит отличие сталей У10 и У12 (содержание углерода 1,0 и 1,2 % соответственно), закаленных от температуры 760°C?
- a. В структуре сплава У12 больше вторичного цементита
 - b. Отличий нет.
 - c. Мартенсит сплава У12 содержит больше углерода.
 - d. Мартенсит сплава У10 дисперснее, чем У12.
- 6.38. Какова концентрация углерода в мартенсите закаленной стали марки У12 (сталь содержит 1,2 % углерода)?
- a. ~ 0,02%
 - b. ~ 0,8%.
 - c. ~ 2,14%
 - d. ~ 1,2%.
- 6.39. Что такое закаливаемость?
- a. Глубина проникновения закаленной зоны.
 - b. Процесс образования мартенсита.
 - c. Способность металла быстро прогреться на всю глубину.
 - d. Способность металла повышать твердость при закалке
- 6.40. Прокаливаемость стали это способность стали
- a. Закаливаться на определённую глубину
 - b. Сопrotивляться термическим и фазовым напряжениям при Закалке
 - c. К увеличению твёрдости при закалке

- d. Приобретение после закалки одинаковой твёрдости по сечению изделия
- 6.41. *Что называют критическим диаметром?*
- a. Диаметр изделия, при закалке которого в центре обеспечивается критическая скорость закалки
 - b. Максимальный диаметр изделия, принимающего сквозную закалку
 - c. Диаметр изделия, при закалке которого в центре образуется полумартенситная структура.
 - d. Максимальный диаметр изделия, прокаливающегося насквозь при охлаждении в данной закалочной среде.
- 6.42. *Как зависит прокаливаемость стали от интенсивности охлаждения при закалке?*
- a. Взаимосвязь между интенсивностью охлаждения и прокаливаемостью неоднозначна
 - b. Чем интенсивнее охлаждение, тем меньше прокаливаемость.
 - c. Прокаливаемость не зависит от интенсивности охлаждения
 - d. Чем интенсивнее охлаждение, тем больше прокаливаемость.
- 6.43. *Расположите образцы стали, закаленные в воде, в масле и на воздухе, по степени убывания глубины закаленного слоя, если образец, закаленный в воде, насквозь не прокалился?*
- a. В масле - на воздухе - в воде.
 - b. На воздухе - в масле - в воде
 - c. В масле - в воде - на воздухе.
 - d. В воде - в масле - на воздухе.
- 6.44. *В чем состоит значение сквозной прокаливаемости сталей?*
- a. Сквозное прокаливание обеспечивает...
 - b. Повышение твердости термообработанного изделия, однако при этом ударная вязкость в сердцевине ниже, чем в наружных слоях.

- с. Получение после термообработки зернистых структур во всем объеме изделия и высоких однородных по сечению механических свойств. Получение одинаковой твердости по сечению изделия.
 - д. Сокращение количества остаточного аустенита, что приводит к повышению механических свойств стали.
- 6.45. *Как зависит твердость полумартенситной структуры доэвтектоидной стали от концентрации углерода?*
- а. Чем больше углерода, тем больше твердость.
 - б. Чем больше углерода, тем меньше твердость.
 - с. Зависимость неоднозначна. Твердость полумартенситной структуры определяется также характером термообработки
 - д. Твердость не зависит от концентрации углерода.
- 6.46. *Чем достигается сквозная прокаливаемость крупных деталей?*
- а. Многократной закалкой.
 - б. Применением при закалке быстроредействующих охладителей.
 - с. Обработкой после закалки холодом.
 - д. Применением для их изготовления легированных сталей.
- 6.47. *При каком виде отпуска закаленное изделие приобретает наибольшую пластичность?*
- а. При низком отпуске.
 - б. При высоком отпуске.
 - с. Пластичность стали является ее природной характеристикой и не зависит от вида отпуска.
 - д. При среднем отпуске.
- 6.48. *При каком виде термической обработки доэвтектоидных сталей возникают зернистые структуры?*
- а. При изотермической закалке.

- b. При закалке со скоростью выше критической.
 - c. При полном отжиге.
 - d. При отпуске на сорбит, или троостит.
- 6.49. *Как влияет температура нагрева при отпуске на твердость изделий из углеродистой стали?*
- a. Влияние температуры отпуска на твердость неоднозначно.
 - b. Чем выше температура нагрева, тем выше твердость.
 - c. Чем выше температура нагрева, тем ниже твердость.
 - d. Твердость не зависит от температуры отпуска.
- 6.50. *При какой термической обработке углеродистой стали наиболее вероятно образование структуры зернистого сорбита?*
- a. При нормализации.
 - b. При улучшении.
 - c. При закалке на мартенсит и среднем отпуске
 - d. При закалке на сорбит.
- 6.51. *Как называется термическая обработка, состоящая из закалки и высокого отпуска?*
- a. Нормализация.
 - b. Улучшение.
 - c. Сфероидизация.
 - d. Полная закалка
- 6.52. *Высокий отпуск применяется для:*
- a. Режущих инструментов
 - b. Осей автомобилей
 - c. Мерительных инструментов
 - d. Пружин и рессор
- 6.53. *Как влияет большинство легирующих элементов на превращения в стали при отпуске?*
- a. Сдерживают процесс мартенситно-перлитного превращения, сдвигая его в область более высоких температур.
 - b. Не влияют на превращения при отпуске.

- c. Сдвигают процесс мартенситно-перлитного превращения в область более низких температур.
 - d. Ускоряют мартенситно-перлитное превращение.
- 6.54. *Как называется обработка, состоящая в длительной выдержке закаленного сплава при комнатной температуре или при невысоком нагреве?*
- a. Рекристаллизация
 - b. Нормализация.
 - c. Высокий отпуск
 - d. Старение.
- 6.55. *Рекристаллизационный отжиг сталей проводят с целью*
- a. Устранения накали после холодной пластической деформации
 - b. Уменьшения ликвидуса
 - c. Снятие остаточных напряжений
 - d. Устранение крупнозернистой структуры
- 6.56. *Какой отжиг следует применить для снятия деформационного упрочнения?*
- a. Рекристаллизационный.
 - b. Полный (фазовую перекристаллизацию).
 - c. Сфероидизирующий.
 - d. Диффузионный.
- 6.57. *Какова цель диффузионного отжига?*
- a. Гомогенизация структуры.
 - b. Снятие напряжений в кристаллической решетке.
 - c. Улучшение ферритной составляющей структуры.
 - d. Получение зернистой структуры.
- 6.58. *Как регулируют глубину закаленного слоя при нагреве токами высокой частоты?*
- a. Силой тока.
 - b. Интенсивностью охлаждения.
 - c. Частотой тока.
 - d. Типом охлаждающей жидкости.

6.59. *Какими особенностями должна обладать диаграмма состояния системы насыщаемый металл - насыщающий компонент для осуществления химико-термической обработки?*

- a. ХТО возможна только для систем, образующих механические смеси кристаллов компонентов.
- b. Должна быть высокотемпературная область значительной растворимости компонента в металле.
- c. ХТО возможна только для систем, образующих непрерывные твердые растворы.
- d. В диаграмме должны присутствовать устойчивые химические соединения.

6.60. *Признаками перегрева стали являются:*

- a. Образование мелкозернистой структуры
- b. Образование крупного действительного зерна
- c. Получению видманштеттовой структуры
- d. Появление участков оплавления по границам зерна и их окисление

6.61. *Признаками пережога стали являются:*

- a. Образование мелкозернистой структуры
- b. Образование крупного действительного зерна
- c. Получению видманштеттовой структуры
- d. Появление участков оплавления по границам зерна и их окисление

6.62. *К методам поверхностного упрочнения относятся:*

- a. Закалка токами высокой частоты
- b. Нормализация
- c. Отпуск
- d. Лазерное

6.63. *При низком отпуске мартенсит превращается в ...*

- a. Феррит
- b. Отпущенный
- c. Мартенсит аустенит
- d. Феррит и перлит

- 6.64. Как называется обработка, состоящая в насыщении поверхности стали углеродом?
- a. Цементация.
 - b. Нормализация
 - c. Улучшение.
 - d. Цианирование.
- 6.65. Процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя стали азотом называется:
- a. Легированием
 - b. Азотированием
 - c. Цементацией
 - d. Нормализацией
- 6.66. Какова конечная цель цементации стали?
- a. Создание мелкозернистой структуры сердцевины.
 - b. Повышение содержания углерода в стали
 - c. Получение в изделии твердого поверхностного слоя при сохранении вязкой сердцевины.
 - d. Увеличение пластичности поверхностного слоя.
- 6.67. Что такое карбюризатор?
- a. Вещество, служащее источником углерода при цементации
 - b. Карбиды легирующих элементов.
 - c. Устройство для получения топливовоздушной среды
 - d. Смесь углекислых солей.
- 6.68. Какова структура диффузионного слоя, полученного в результате цементации стали? (Начиная от поверхности, следуют структуры:)
- a. цементит + перлит; перлит; перлит + феррит
 - b. цементит + феррит; перлит; феррит
 - c. перлит + феррит; феррит; феррит + цементит.
 - d. перлит; перлит + + цементит; цементит + феррит.
- 6.69. Чем отличается мартенсит, полученный после закалки цементованного изделия, в сердцевинных участках от мартенсита в наружных слоях?

- a. В сердцевине из-за низкой прокаливаемости сталей образуются структуры перлитного типа.
 - b. В наружных слоях мартенсит высокоуглеродистый, в сердцевине – низкоуглеродистый
 - c. В сердцевине мартенсита нет.
 - d. В наружных слоях мартенсит мелкоигольчатый, в сердцевине - крупноигольчатый.
- 6.70. *Как называется обработка, состоящая в насыщении поверхности стали азотом и углеродом в расплавленных солях, содержащих группу CN?*
- a. Нитроцементация.
 - b. Улучшение.
 - c. Цианирование.
 - d. Модифицирование.
- 6.71. *Как называется обработка, состоящая в насыщении поверхности стали азотом и углеродом в газовой среде?*
- a. Цианирование
 - b. Улучшение.
 - c. Модифицирование.
 - d. Нитроцементация.
- 6.72. *Какие стали называют цементуемыми?*
- a. Высокоуглеродистые (более 0,7% C).
 - b. Высоколегированные.
 - c. Низкоуглеродистые (0,1 ... 0,25% C).
 - d. Среднеуглеродистые (0,3 ... 0,5% C).
- 6.73. *Цементации подвергают стали*
- a. Высоко углеродистые
 - b. Низко углеродистые
 - c. Любые
 - d. Средне углеродистые
- 6.74. *Алитирование – насыщение поверхностного слоя металла*
- a. Кремнием
 - b. Азотом

- c. Алюминием
 - d. Углеродом
- 6.75. *Процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя стали углеродом называется:*
- a. Легированием
 - b. Азотированием
 - c. Цементацией
 - d. Нормализацией
- 6.76. *Процесс одновременного насыщения стали углеродом и азотом в газовой среде называется:*
- a. Легированием
 - b. Азотированием
 - c. Нитроцементацией
 - d. Нормализацией
- 6.77. *Цементуемые изделия после закалки подвергают:*
- a. Высокому отпуску
 - b. Среднему отпуску
 - c. Улучшению
 - d. Низкому отпуску
- 6.78. *Азотирование детали повышает*
- a. Износостойкость
 - b. Ударную вязкость
 - c. Относительное удлинение
- 6.79. *Азотированию подвергают стали*
- a. Низкоуглеродистые легированные
 - b. Низкоуглеродистые
 - c. Среднеуглеродистые легированные
 - d. Высокоуглеродистые

7. Цветные металлы и их сплавы

7.1 Медь и её сплавы.

Медь - металл красноватого цвета с ГЦК кристаллической решеткой. Плотность Cu равна 8890 кг/м³.

При 1083°C медь плавится. Она обладает высокой электро- и теплопроводностью, коррозионнотойка в сухой атмосфере (Cu примыкает к группе благородных металлов). Механические свойства меди характеризуются высокой пластичностью и невысокими прочностью и твердостью.

В технике наряду с чистой медью широко используются ее сплавы. Наибольшее распространение получили сплавы меди с цинком, называемые **латунями**, и сплавы с другими элементами (Sn, Si, Al, Be и т. д.), получившие название **бронзы**.

Цинк растворяется в меди до концентрации 39%, образуя твердый раствор α (соответствующие ему сплавы называют α -латунями). Чем больше в α -латуни цинка, тем выше прочность и пластичность сплава. Увеличение концентрации Zn сверх 39 % приводит к появлению в структуре сплава фазы β -твердого раствора на базе химического соединения CuZn с электронным типом связи. Прочность сплавов $\alpha + \beta$ по мере возрастания содержания цинка увеличивается, а пластичность убывает. При концентрации Zn более 45 % сплав становится однофазным твердым раствором β . Такие сплавы хрупки и практического применения не имеют.

Кроме основных компонентов (Cu и Zn) латунь может содержать легирующие элементы (Al, Fe, Pb, Sn и т.д.).

Деформируемые латуни маркируют буквой Л и следующими за ней обозначениями легирующих элементов, если таковые имеются. Затем следуют группы чисел, первое из которых указывает на концентрацию меди, а каждое из последующих - на содержание соответствующего легирующего элемента. Концентрация цинка определяется по разности. Например, сплав Л62 содержит 62% Cu и 38 % Zn; ЛАН59-3-2 содержит 59 % Cu, 3 % Al, 2 % Ni и 36 % Zn.

В марках литейных латуней в явной форме указывается содержание цинка (содержание меди

определяют по разности). Числа, соответствующие процентной концентрации цинка и легирующих элементов, следуют непосредственно за буквенными символами. Например, сплав ЛЦ40МцЗА содержит 40 % Zn, 3% Mn, 1 % Al, и 56 % Cu.

Принципы маркировки бронз в общем близки с маркировкой латуней. Различия состоят в том, что на первом месте в марке пишут не Л, а Бр, кроме того, ни в деформируемых, ни в литейных сплавах не указывают в явной форме концентрацию меди, имея в виду, что она всегда является основой сплава. Например, сплав БрОЦС 4-4-17 - деформируемая бронза, содержащая 4% Sn, 4% Zn, 17% Pb, основа сплава - медь; сплав БрОЗЦ12С5 - литейная бронза, содержащая 3 % Sn, 12 % Zn, 5 % Pb, основа сплава Cu.

Сплавы меди широко применяют для изделий, обладающих высокой теплопроводностью (различная теплообменная аппаратура, например, сплавы Л62, Л68), электрической проводимостью (контакты, детали реле, токопроводящая арматура и др.), коррозионной стойкостью (паровая и водяная арматура, например, морская латунь ЛО70-2, бронзы БрО5Ц5С5, БрОЗЦ7С5Н). Оловянистые, оловянисто-цинково-свинцовистые, алюминийевые, свинцовистые бронзы, кремнистые и марганцовистые латуни, например, БрО10Ф1, БрСЗО, ЛЦ16К4 применяют для изготовления вкладышей подшипников скольжения. Бериллиевые бронзы, например БрБ2, применяют для изготовления ответственных пружин, мембран, пружинящих контактов.

Вопросы к разделу

7.1. Какими из приведенных в ответах свойств характеризуется медь?

- а. Низкой $t_{пл}$ (651°C), низкой теплопроводностью, низкой плотностью (1740 кг/м³).

- b. Низкой $t_{пл}$ (327°C), низкой теплопроводностью, высокой плотностью ($11\,600\text{ кг/м}^3$).
- c. Высокой $t_{пл}$ (1083°C), высокой теплопроводностью, высокой плотностью (8940 кг/м^3).
- d. Высокой $t_{пл}$ (1665°C), низкой теплопроводностью, низкой плотностью (4500 кг/м^3).

7.2. *Каков тип кристаллической решетки меди?*

- a. В модификации α -ГПУ, в модификации β -ОЦК.
- b. Кубическая гране-центрированная.
- c. Гексагональная плотноупакованная.
- d. Кубическая объемно-центрированная .

7.3. *Что такое латунь?*

- a. Сплав меди с цинком.
- b. Сплав железа с никелем.
- c. Сплав меди с оловом.
- d. Сплав алюминия с кремнием.

7.4. *Каково максимальное содержание цинка в латунях, имеющих практическое значение?*

- a. 45 %.
- b. 39 %.
- c. 52 %.
- d. 18 %.

7.5. *Как влияет увеличение концентрации цинка на прочность и пластичность α -латуней?*

- a. Обе характеристики снижаются.
- b. Обе характеристики возрастают.
- c. Прочность увеличивается, пластичность снижается.
- d. Прочность снижается, пластичность растет.

7.6. *Как влияет на прочность и пластичность $\alpha + \beta$ латуней увеличение концентрации цинка?*

- a. Прочность и пластичность снижаются
- b. Прочность и пластичность увеличиваются
- c. Прочность увеличивается, пластичность снижается
- d. Прочность снижается, пластичность увеличивается.

7.7. Как называется сплав марки Л62? Каков его химический состав?

- a. Литейная сталь, содержащая 0,62 % С
- b. Литейный алюминиевый сплав, содержащий 62 % Al.
- c. Сплав меди с цинком, содержащий 62 % Cu
- d. Сплав бронзы с медью, содержащий 62 % бронзы.

7.8. Как называется сплав марки ЛК80-3? Каков его химический состав?

- a. Литейный алюминиевый сплав (силумин). Состав устанавливают по ГОСТу
- b. Латунь. Содержит примерно 80 % Zn, 3 % Cd, остальное - Cu.
- c. Литейная эвтектоидная сталь. Содержит примерно 0,8%С и ~ 3% Со.
- d. Латунь. Содержит примерно 80 % Cu, 17 % Zn и 3 % Si.

7.9. Какова марка деформируемого сплава, содержащего 36 % Zn, 3 % Al, 2% Ni, Cu-основа?

- a. БрАЦН 3-36-2.
- b. ЛЦ36А3Н2.
- c. ЛАН 59-3-2
- d. БрЦ36А3Н2.

7.10. Какова марка литейного сплава, содержащего 40 % Zn, 3 % Mn, 1%Al (основа - Cu)?

- a. БрЦАМц40-1-3.
- b. ЛЦ40Мц3А
- c. БрЦ40АМц3.
- d. ЛАМц 56-1-3.

7.11. Как называют сплавы меди с другими элементами (кремнием, алюминием, оловом, бериллием и т. д.)?

- a. Бронзы
- b. Латунь
- c. Инвары
- d. Баббиты.

- 7.12. Какова марка литейного сплава, содержащего 12 % Zn, 3 % Sn, 5 % Pb, Cu - основа?
- a. БрОЦС 3-12-5.
 - b. ЛЦ12ОЗС5.
 - c. ЛОС 80-3-5
 - d. БрОЗЦ12С5.
- 7.13. Какова марка деформируемого сплава, содержащего 4 % Sn, 4 % Zn, 17 %Pb (основа-Cu)?
- a. БрО4Ц4С17.
 - b. БрОЦС 4-4-17
 - c. ЛОС 75-4-17
 - d. ЛЦ4О4С17.
- 7.14. Латунь и бронзы – это сплавы на основе:
- a. алюминия
 - b. меди
 - c. цинка
 - d. магния
- 7.15. Латунь Л80. Цифра в маркировке обозначает:
- a. твёрдость
 - b. временное сопротивление
 - c. содержание меди
 - d. содержание цинка
- 7.16. Из предложенных марок сплавов выберите марку свинцовистой бронзы:
- a. БрА7
 - b. ЛК 80-3
 - c. БрОЦС 4-4-2,5
 - d. БрС30

7.2 Алюминий и его сплавы.

Алюминий - легкий металл (плотность 2700 кг/м^3) белого цвета с ГЦК кристаллической решеткой. Температура плавления Al 660°C . Обладает высокой электро- и теплопроводностью, высокой химической активностью и одновременно исключительной

коррозионной стойкостью, объясняемой образованием на поверхности тонкой прочной беспористой оксидной пленки Al_2O_3 , надежно защищающей металл от дальнейшего окисления. Механические свойства алюминия характеризуются низкими прочностью и твердостью и высокой пластичностью. Сплавы на основе алюминия обладают малой плотностью, высокими удельными механическими свойствами, высокой коррозионной стойкостью, свариваемостью и т.д.

Алюминиевые сплавы классифицируют на **деформируемые** (в их структуре отсутствует эвтектика), **литейные** (сплавы с эвтектикой), **неупрочняемые термической обработкой** (нагрев таких сплавов не сопровождается твердофазными превращениями), **упрочняемые термической обработкой** (сплавы с твердофазными превращениями). Кроме того, сплавы подразделяют на жаропрочные, высокопрочные, ковочные, сплавы для заклепок и т.д.

Деформируемыми сплавами, неупрочняемыми термообработкой, являются сплавы на основе системы Al-Mg (**магналии**), например, AMg2, AMg3, AMg6; сплавы системы Al-Mn, например, AMц.

Важнейшими деформируемыми сплавами, упрочняемыми термической обработкой, являются:

- сплавы на основе системы Al-Cu-Mg с добавками Mg (**дюралюмины**), например, Д1, Д16, ВД17, Д18, Д19, В65 (сплав ВД17 жаропрочный, Д18 и В65 - сплавы для заклепок);

- сплавы на основе системы Al-Mg-Si (**авиали**), например, АВ, АД31, АД35;

- ковочные сплавы на основе системы Al-Mg-Si-Cu, например, АК6, АК8, на основе системы Al-Cu-Mg с добавками Fe и Ni, например, АК4-1 (сплав жаропрочный);

- высокопрочные сплавы на основе системы Al-Zn-Mg-Cu, например, В93, В95, В96Ц. К высокопрочным сплавам относится сплав, на основе системы Al-Cu-Li, - ВАД23.

Литейными сплавами являются сплавы, на основе систем Al-Si (**силумины**), например, АК12 (АЛ2), АК7ч (АЛ9); Al-Cu, например, АЛ 19, АЛ33; Al-Mg, например, АЛ8, АМг10 (АЛ27).

В соответствии с новой цифровой системой маркировки А1 сплавов единица, стоящая в начале марки, характеризует основу сплава - алюминий. Вторая цифра обозначает основной легирующий элемент или группу элементов. Третья или третья и вторая цифры те же, что и в старой маркировке. Нечетное число или ноль, стоящие на четвертом месте, обозначают деформируемый сплав. У литейных сплавов четвертая цифра четная. При такой маркировке сплав Д16, например, обозначается 1160.

Чистота сплавов по контролируемым примесям (Fe, Si и др.) обозначается буквами: пч (практически чистый), ч (чистый), оч (очень чистый), стоящими после марки сплава, например, АМг5оч.

Состояние деформируемых сплавов, отражающее термическое и термомеханическое воздействие, имеет обозначения: М - мягкий, отожженный; Т - закаленный и естественно состаренный; Т1 - закаленный и искусственно состаренный на максимальную прочность; Н - нагартованный (деформация 1 ... 7 %); Н1 или НН - усиленно нагартованный; ТН - закаленный, естественно состаренный и нагартованный. Например, АК6Т1 - обозначение закаленного и искусственно состаренного деформируемого (ковочного) алюминиевого сплава АК6, АМг2Н1 обозначение усиленно нагартованного деформируемого неупрочняемого термической обработкой сплава АМг2.

Термическое упрочнение алюминиевых сплавов достигается закалкой и последующим старением. Обосновать режимы термообработки таких сплавов как дюралюмины можно, в первом приближении, рассматривая их как сплавы системы Al-Cu (в дюралюминах медь главный легирующий элемент). Свежезакаленные сплавы имеют довольно низкую твердость и прочность, высокую пластичность. При длительном пребывании закаленного сплава при нормальной температуре (естественное старение) или при сравнительно непродолжительном нагреве (искусственное старение) атомы легирующих элементов (в сплавах системы Al-Cu - атомы меди), расположенные в свежезакаленном сплаве случайно, собираются в определенных местах кристаллической решетки, образуя участки повышенной концентрации - зоны Гинье-Престона. В результате естественного старения образуются зоны толщиной 0,5 ... 1 и протяженностью 3 ... 6 нм (их называют зоны ГП-1), вызывая упрочнение сплава.

Если естественно состаренный сплав подвергнуть кратковременному нагреву до 250 ... 270°C, то зоны ГП растворяются и сплав возвращается в свежезакаленное состояние с характерными для него свойствами (низкой твердостью и высокой пластичностью). Это явление получило название **возврат**. После возврата сплав может быть вновь упрочнен при естественном или искусственном старении.

При искусственном старении зоны Гинье-Престона укрупняются, достигая 1 ... 4 по толщине и 20 ... 30 нм по протяженности (зоны ГП-2). Концентрация меди в них приближается к стехиометрическому соотношению в соединении CuAl_2 . Дальнейшее развитие процессов искусственного старения приводит к образованию метастабильных когерентно связанных с твердым раствором, а затем стабильных обособленных от раствора фаз. Скорость искусственного старения зависит от

температуры. Повышение температуры ускоряет процесс. Однако в сплавах системы Al-Cu с 3 ... 5 % меди получаемая при этом максимальная прочность тем ниже, чем выше температура старения. Наибольшее упрочнение получают при естественном старении в результате образования зон ГП-1. Не всегда максимум прочности достигается естественным старением, более того, во многих высокопрочных сплавах (B93, B95 и др.) естественное старение не протекает вообще (упрочнения при длительной выдержке при нормальной температуре не происходит).

Вопросы к разделу.

- 7.17. *Каковы основные характеристики алюминия?*
- a. Малая плотность; низкая теплопроводность; низкая коррозионная стойкость
 - b. Высокая плотность; высокая теплопроводность; высокая коррозионная стойкость
 - c. Малая плотность; высокая теплопроводность; высокая коррозионная стойкость
 - d. Малая плотность; высокая теплопроводность; низкая коррозионная стойкость.
- 7.18. *Каков тип кристаллической решетки алюминия?*
- a. Кубическая гранецентрированная.
 - b. В модификации α -ГПУ, в модификации β -ОЦК
 - c. Кубическая объемноцентрированная
 - d. Гексагональная плотноупакованная.
- 7.19. *Что является упрочняющим фактором при термической обработке сплавов системы Al-Cu?*
- a. Образование при старении зон Гинье-Престона.
 - b. Фиксация при комнатной температуре высокотемпературного состояния.
 - c. Образование при закалке мартенситной структуры
 - d. Выделение при старении дисперсных фаз.
- 7.20. *Как зависит максимально достижимая прочность сплавов системы Al-Cu от температуры старения?*

- a. Прочность не зависит от температуры старения.
 - b. Чем выше температура, тем выше прочность.
 - c. Чем выше температура, тем ниже прочность.
 - d. Прочность достигается закалкой, старение же только снимает возникшие при закалке напряжения.
- 7.21. *Чем объяснить, что в сплавах системы Al-Cu при искусственном старении после достижения максимальной прочности наступает разупрочнение?*
- a. Выделением стабильной фазы CuAl_2 . Образованием зон Гинье-Престона
 - b. Распадом мартенситной структуры
 - c. Упорядочением твердого раствора.
- 7.22. *Что называют возвратом для естественно состаренных алюминиевых сплавов?*
- a. Для алюминиевых сплавов возврат - это синоним отжига
 - b. Переход сплава в свежезакаленное состояние под действием кратковременного нагрева
 - c. Переход искаженной под действием закалочных напряжений кристаллической решетки в равновесное состояние
 - d. Переход пластически деформированной кристаллической решетки в равновесное состояние.
- 7.23. *Чем объясняется явление возврата для состаренных алюминиевых сплавов?*
- a. Выделением стабильных фаз
 - b. Выделением метастабильных фаз.
 - c. Растворением зон Гинье-Престона.
 - d. Устранением искажений кристаллической решетки.
- 7.24. *К какой группе принадлежат алюминиевые сплавы типа АМг, например, АМгб?*
- a. К литейным сплавам
 - b. К деформируемым сплавам, неупрочняемым термообработкой
 - c. К деформируемым высокопрочным сплавам

- d. К деформируемым сплавам, упрочняемым термообработкой.
- 7.25. *Как называется сплав марки Д16? Каков его химический состав?*
- a. 16 % цинка.
 - b. Сталь, содержащая 16 % меди.
 - c. Деформируемый алюминиевый сплав, упрочняемый термообработкой - дуралюмин.
 - d. Состав устанавливают по стандарту.
- 7.26. *Какой из алюминиевых сплавов марок АМг2Н1 или АМг50ч обладает большей прочностью?*
- a. АМг2Н1 прочнее в связи с деформационным упрочнением. АМг50ч прочнее в связи с большей легированностью.
 - b. Прочность обоих сплавов примерно одинакова.
 - c. На поставленный вопрос можно ответить только при одинаковых сплавах или при равных чистоте и виде обработки.
- 7.27. *К каким материалам относится сплав ВАД23?*
- a. К жаропрочным алюминиевым сплавам
 - b. К алюминиевым сплавам неупрочняемым термообработкой.
 - c. К литейным алюминиевым сплавам.
 - d. К высокопрочным алюминиевым сплавам.
- 7.28. *К каким материалам относится сплав В96?*
- a. К алюминиевым сплавам неупрочняемым термообработкой. К высокопрочным алюминиевым сплавам
 - b. К литейным алюминиевым сплавам.
 - c. В96 - криогенный титановый сплав.
- 7.29. *Что означает буква Т в конце марки алюминиевых сплавов, например АК4Т?*
- a. Термическую обработку: закалку + искусственный отпуск. Механическую обработку: сплав упрочнен (Т-твердый) холодной пластической деформацией.

- b. Термическую обработку: закалку + естественный отпуск
 - c. Систему легирования: сплав дополнительно легирован титаном.
- 7.30. *Какой сплав обозначают маркой АК6Т1?*
- a. Естественно состаренный ковочный алюминиевый сплав АК6.
 - b. Закаленный и искусственно состаренный деформируемый алюминиевый сплав АК6
 - c. Алюминиевый сплав, содержащий 6 % Si и 1 % Ti.
 - d. Деформируемый алюминиевый сплав АК6, дополнительно легированный титаном.
- 7.31. *Возможно ли существование алюминиевого сплава марки АМг6Т?*
- a. Нет. Сплавы типа АМг не подвергают деформационному упрочнению.
 - b. Нет. АМг6 относится к сплавам, неупрочняемым термообработкой
 - c. Да. Так маркируют сплав АМг6, дополнительно легированный титаном
 - d. Да. Так маркируют естественно состаренный сплав АМг6.
- 7.32. *Какое старение применяют для высокопрочных сплавов марок В93, В95 и др. Почему?*
- a. Эффект от старения у этой группы сплавов невелик, поэтому старение, как правило, не применяют
 - b. Естественное. При искусственном старении сплавы сильно разупрочняются.
 - c. Искусственное. При естественном старении сплавы этой группы не упрочняются.
 - d. Для достижения максимальной прочности - естественное, максимальной жаропрочности - искусственное.

- 7.33. *Какие детали изготавливают из сплавов В65, Д18?*
- а. Лопатки и диски компрессоров реактивных двигателей.
 - б. Детали, работающие в условиях вибрационных нагрузок, например, колеса шасси самолетов.
 - с. Конструкции с высокой жесткостью, например, элероны.
 - д. Заклепки для конструкций самолетов.
- 7.34. *Какой из сплавов предпочтителен для изготовления лопаток компрессора реактивного двигателя, работающих при температурах до 300°C?*
- а. АК4-1.
 - б. АМг6.
 - с. АЛ27.
 - д. Д16.
- 7.35. *Какое свойство алюминия используют для изготовления теплообменников в промышленных и бытовых холодильных установках?*
- а. отражательную способность
 - б. коррозионную стойкость
 - с. теплопроводность
 - д. электрическую проводимость
- 7.36. *Высокая коррозионная стойкость алюминиевых сплавов обусловлена:*
- а. типом кристаллической решетки
 - б. наличием тонкой окисной плёнки Al_2O_3
 - с. наличием примесей
 - д. легированием хромом
- 7.37. *Какой из предложенных деформируемых алюминиевых сплавов подвергается упрочняющей термообработке?*
- а. АМц
 - б. АМг
 - с. Д16
 - д. АМг2

7.38. Основным легирующим элементом литейных алюминиевых сплавов (силуминов) является:

- a. магний
- b. титан
- c. кремний
- d. медь

7.3 Титан

Титан существует в двух аллотропических модификациях. Ниже 882°C существует α -титан, обладающий ГПУ кристаллической решеткой. При более высоких температурах вплоть до температуры плавления (1665°C) Ti существует в модификации β с ОЦК решеткой. Титан может быть отнесен как к тугоплавким металлам (температура плавления выше, чем у Fe), так и к легким (плотность Ti - 4500 кг/м^3). По химической стойкости он не уступает коррозионно-стойким нержавеющей) сталям, а в ряде случаев превосходит их.

Титановые сплавы наиболее широко применяют в авиации и ракетной технике для изготовления деталей, работающих при температурах $250 \dots 550^{\circ}\text{C}$ когда легкие алюминиевые сплавы уже не могут работать, а стали и никелевые сплавы уступают им по удельной прочности.

Для повышения прочности титановые сплавы легируют марганцем, железом, алюминием, молибденом, хромом, ванадием, оловом и другими элементами. Элементы, расширяющие область существования α -модификации титана и повышающие температуру $\alpha \rightarrow \beta$ перехода, называют α -стабилизаторами. Важнейшим элементом этой группы является Al. Элементы, расширяющие область существования β -модификации титана и снижающие температуру полиморфного превращения, называют β -стабилизаторами. Важнейшими из них являются Mo, V, Cr, Mn, Fe, Ni и др. Способность β -фазы к переохлаждению лежит в основе термической

обработки титановых сплавов. Элементы, практически не влияющие на температуру полиморфного превращения, называют нейтральными. Наибольшее практическое значение из них имеют Sn и Zr.

По структуре в отожженном состоянии титановые сплавы подразделяют на пять групп: α -сплавы (BT1-0, BT5 и др.); псевдо α -сплавы (OT4, BT4, BT18 и др.); $\alpha + \beta$ -сплавы (BT6, BT3-1, BT22 и др.); псевдо β -сплавы (BT15, TC6 и др.); β -сплавы (4201 и др.).

Альфа-сплавы характеризуются однофазной структурой. Они не упрочняются термической обработкой. Повышение их прочности достигается холодной пластической деформацией.

Псевдо α -сплавы могут закаливаться с образованием титанового мартенсита α' , представляющего собой твердый раствор легирующих в α -титане. Мартенсит в псевдо α -сплавах имеет малую степень пересыщения. Упрочнение сплава при этом незначительно.

Альфа + бета-сплавы подвергают упрочняющей термической обработке, состоящей из закалки и старения. Закалка состоит в нагреве до температур, несколько ниже полного превращения $\alpha + \beta \rightarrow \beta$ (в β -состоянии происходит интенсивный рост зерна), выдержке и последующем быстром охлаждении. В зависимости от содержания β -стабилизаторов в закаленном сплаве возможно образование мартенситных фаз α' и α'' , а также метастабильной фазы β' . При высоком содержании β -стабилизаторов и при малых и средних скоростях охлаждения может образоваться фаза ω , сильно охрупчивающая сплав. Появления этой фазы стремятся не допускать. При старении (искусственном) происходит распад закалочных структур (α' , α'' , β'). Конечные продукты - дисперсные α и β -фазы, близкие к равновесному состоянию, образование

которых вызывает дисперсионное упрочнение (твердение) сплава.

При закалке псевдо β -сплавов фиксируется метастабильная β' -фаза. При старении из β' выделяется тонкодисперсная α -фаза, повышающая прочность и твердость сплава.

Бета-сплавы при всех температурах имеют структуру β -фазы. Термической обработкой не упрочняются.

Вопросы к разделу.

7.39. К какой группе металлов относится титан?

- a. К благородным.
- b. К редкоземельным.
- c. К тугоплавким.
- d. К легкоплавким.

7.40. Какие кристаллические решетки имеют полиморфные модификации титана?

- a. α -ОЦК, β -ГПУ.
- b. α -ГЦК, β -ОЦК.
- c. α -ГПУ, β -ОЦК.
- d. α -ГПУ, β -ГЦК.

7.41. Ti имеет две аллотропические модификации: α - с ГПУ решеткой и β - с решеткой ОЦК. Какая из модификаций высоко- или низкотемпературная более пластична?

- a. Пластичность не зависит от типа кристаллической решетки. Ее величина является опытной характеристикой.
- b. Ti- β более пластичен.
- c. В обеих модификациях титан одинаково пластичен.
- d. В низкотемпературной модификации титан более пластичен.

7.42. Как влияют на температуру полиморфного превращения титана алюминий, молибден, олово?

- a. Sn - повышает, Al - снижает, Mo - практически не влияет.
 - b. Al - повышает, Mo - снижает, Sn - практически не влияет
 - c. Mo - повышает, Sn - снижает, Al - практически не влияет
 - d. Al - повышает, Sn - снижает, Mo - практически не влияет.
- 7.43. *Какое свойство делает титановые сплавы особенно ценными при создании летательных аппаратов?*
- a. Низкая плотность.
 - b. Высокая абсолютная прочность
 - c. Высокая химическая стойкость
 - d. Высокая удельная прочность.
- 7.44. *Какая обработка проводится для упрочнения α -сплавов титана?*
- a. Закалка.
 - b. Закалка + старение.
 - c. Холодная пластическая деформация.
 - d. Стабилизирующий отжиг.
- 7.45. *Почему при закалке титановых сплавов их не нагревают в область β ?*
- a. При закалке из области бета не образуется мартенситных структур
 - b. При закалке из β -области образуется малопересыщенный мартенсит.
 - c. При закалке из β -области образуется α -фаза, охрупчивающая сплав.
 - d. В β -области происходит сильный рост зерна.
- 7.46. *Можно ли использовать для упрочнения титановых сплавов ω -фазу?*
- a. Да. ω -фаза упрочняет сплав без снижения его пластичности.
 - b. Нет. ω -фаза обладает низкой твердостью.

- с. Да. ω -фаза интенсивно упрочняет сплав, несколько снижая его пластичность.
 - d. Нет. ω -фаза сильно охрупчивает сплав.
- 7.47. *Какая обработка проводится для упрочнения $\alpha + \beta$ сплавов титана?*
- a. Стабилизирующий отжиг.
 - b. Закалка + старение.
 - с. Отжиг + старение.
 - d. Горячая пластическая деформация.
- 7.48. *К какой группе (каким группам) относятся титановые сплавы BT18 и OT4?*
- a. BT18 - к $(\alpha + \beta)$ -сплавам, OT4 - к псевдо α -сплавам.
 - b. BT18 - к $(\alpha + \beta)$ -сплавам, OT4 - к β -сплавам.
 - с. BT 18 - к псевдо α -сплавам, OT4 - сплав на основе олова, а не титана.
 - d. Оба - к псевдо α -сплавам.

7.4 Магний

Магний является наиболее легким металлом (в ряду технических легких металлов Al, Be, Mg, Ti) Его плотность - около 1740 кг/м^3 , температура плавления 651°C . Он обладает ГПУ кристаллической решеткой. Mg - активный металл, энергично взаимодействующий с кислородом воздуха. Тонкая пленка оксида MgO при температуре ниже 450°C предохраняет поверхность от дальнейшего окисления, однако, при более высоких температурах защитные свойства оксида нарушаются, и при 623°C магний сгорает ослепительно ярким пламенем. Магний обладает весьма низким, особенно в литом состоянии, комплексом механических свойств ($\sigma_B = 100 - 120 \text{ МПа}$; $\sigma_{0.2} = 20 \dots 30 \text{ МПа}$; $\delta = 6 \dots 8 \%$; $\text{HB} = 300 \text{ МПа}$; $E = 45 \text{ ГПа}$). Прочностные свойства в значительной мере зависят от зернистости и дефектности литой структуры. Низкая пластичность Mg объясняется тем, что в металлах с гексагональной кристаллической структурой при

температуре, близкой к нормальной, скольжение происходит только по базисным плоскостям и лишь при нагреве появляются дополнительные плоскости скольжения и двойникования.

К достоинствам магниевых сплавов относятся высокие удельные механические свойства, хорошая обрабатываемость резанием, отличные демпфирующие свойства, высокая коррозионная стойкость в щелочах, керосине, бензине, минеральных маслах (для предотвращения воздушной коррозии магниевые сплавы оксидируют или покрывают лакокрасочными пленками, эпоксидной смолой).

Сплавы магния легируют марганцем, алюминием, цинком,¹ цирконием, литием, бериллием, редкоземельными элементами. Mn повышает коррозионную стойкость сплава и одновременно увеличивает его прочность. Al и Zn увеличивают прочность и модифицируют (измельчают) структуру литых сплавов. Наиболее интенсивно измельчает зерно Zr, кроме того, он увеличивает пластичность. Значительно увеличивает пластичность Li, к тому же он снижает плотность сплава. Введение малых количеств Be (0,005 ... 0,02 %) почти полностью исключает воспламенение магния при нагреве. РЗЭ увеличивают сопротивление ползучести сплава при высоких температурах (до 250°C).

Для упрочнения магниевых сплавов широко используется эффект дисперсионного твердения с выделением дисперсных фаз типа Mg_4Al_3 , $MgZn_2$ и др., протекающего при искусственном старении закаленных сплавов. Диффузионные процессы в магниевых сплавах протекают чрезвычайно медленно, поэтому операции термообработки имеют большую продолжительность (время выдержки при температуре закалки доходит до 24 ч). Охлаждение при закалке ведут в горячей воде или на воздухе.

Основные виды термической обработки имеют определенные условные обозначения. Отжиг обозначают Т2, закалку - Т4, закалку и старение для получения максимальной твердости - Т6, закалку и стабилизирующий отпуск - Т7 и т.д. Например, МА11Т4 означает деформируемый магниевый сплав МАП, подвергнутый закалке.

По технологии изготовления магниевые сплавы подразделяют на **литейные** и **деформируемые** (литейные маркируют буквами МЛ, деформируемые - МА). По применению сплавы классифицируют на **конструкционные** (большинство сплавов) и сплавы **со специальными свойствами** (например, МА17 применяют для изготовления звукопроводов ультразвуковых линий задержки). По плотности сплавы подразделяют на **легкие** и **сверхлегкие**. К сверхлегким относятся сплавы, легированные литием (МА18, МА21), остальные - легкие.

Сплавы, легированные значительным количеством иттрия (ИМВ5, ИМВ7) отличает высокая прочность и пластичность при температурах выше 250°C.

Вопросы к разделу

7.49. *Каковы основные качественные характеристики магния?*

- a. Низкая жесткость, низкая плотность, высокие демпфирующие способности, низкая пластичность
- b. Высокая жесткость, низкая плотность, низкие демпфирующие способности, высокая пластичность
- c. Высокая жесткость, низкая плотность, высокие демпфирующие способности, высокая пластичность
- d. Низкая жесткость, низкая плотность, высокие демпфирующие способности, высокая пластичность.

7.50. *Каков тип кристаллической решетки магния?*

- a. В низкотемпературной модификации - ГПУ, в высокотемпературной -ОЦК.
 - b. Объемноцентрированная кубическая (К8).
 - c. В низкотемпературной модификации - ОЦК. в высокотемпературной ГЦК.
 - d. Гексагональная плотно-упакованная (Г 12).
- 7.51. *Каковы (ориентировочно) режимы закалки сплавов на основе магния?*
- a. Температура около 100°C, выдержка до 40 ч, охлаждение в растворах солей
 - b. Температура около 200°C, выдержка до 12 ч, охлаждение в масле или на воздухе.
 - c. Температура около 700°C, выдержка 15 ... 30 мин, охлаждение в холодной воде.
 - d. Температура около 400°C, выдержка до 24 ч, охлаждение в горячей воде или на воздухе.
- 7.52. *Каков механизм старения, приводящего к упрочнению закаленных магниевых сплавов?*
- a. Образование в пересыщенном твердом растворе зон Гинье-Престона.
 - b. Полная рекристаллизация структуры сплава
 - c. Выщеление из пересыщенного твердого раствора дисперсных интерметаллидных фаз.
 - d. Образование дополнительных объемов мартенсита.
- 7.53. *Чем объясняется длительность выдержек, присущая магниевым сплавам, при температурах термообработки?*
- a. Низкой скоростью диффузионных процессов.
 - b. Дефектностью кристаллической структуры сплавов.
 - c. Типом кристаллической решетки магния.
 - d. Высоким уровнем энергии связи атомов в решетке.
- 7.54. *Какие свойства магниевых сплавов позволяют эффективно применять их как конструкционные материалы?*
- a. Хорошая обрабатываемость резанием

- b. Высокая абсолютная прочность
 - c. Низкая плотность.
 - d. Высокие удельные механические свойства.
- 7.55. *Чем можно объяснить низкую пластичность магния?*
- a. Отсутствием полиморфизма.
 - b. Малым числом плоскостей скольжения в кристаллической решетке.
 - c. Дефектностью кристаллической решетки.
 - d. Высокой энергией связи атомов в решетке.
- 7.56. *Какой сплав обозначают маркой МЛЗТ2?*
- a. Литейный магниевый сплав МЛЗ, дополнительно легированный редкоземельными элементами.
 - b. Закаленный и искусственно состаренный литейный магниевый сплав МЛЗ.
 - c. Отожженный магниевый сплав МЛЗ
 - d. Магниевый сплав, содержащий 3 % Li и 2 % Ti.
- 7.57. *Какой сплав обозначают маркой МА11Т6?*
- a. Закаленный и состаренный на максимальную твердость магниевый сплав МАП.
 - b. Магниевый сплав, содержащий 11 % Al и 6 % Ti.
 - c. Отожженный деформируемый магниевый сплав МАП.
 - d. Жаропрочный магниевый сплав МАП, легированный дополнительно торием.
- 7.58. *Какие магниевые сплавы называют сверхлегкими?*
- a. Все конструкционные магниевые сплавы относятся к сверхлегким.
 - b. Сплавы, легированные бериллием.
 - c. Сплавы, легированные литием
 - d. Сплавы, легированные РЗЭ.
- 7.59. *Какова роль редкоземельных элементов в легировании магниевых сплавов?*
- a. РЗЭ повышают прочность и пластичность сплавов при криогенных температурах.

- b. РЗЭ увеличивают сопротивление сплава ползучести при повышенных температурах.
 - c. РЗЭ повышают коррозионную стойкость сплавов.
 - d. РЗЭ исключают воспламенение магния при нагреве.
- 7.60. Каково назначение магниевых сплавов, легированных иттрием, например сплава ИМВ7?
- a. Работа в условиях глубокого вакуума
 - b. Работа в коррозионноактивных средах
 - c. Работа при температурах жидкого водорода.
 - d. Работа при высоких (более 250°C) температурах.
- 7.61. *К каким видам принадлежат сплавы марок АЛ 19 и МА21?*
- a. АЛ 19 - деформируемый сплав Al, МА21 - литейный сплав Mg.
 - b. АЛ 19 -неупрочняемый термообработкой сплав на основе Al, МА21 - медь технической чистоты.
 - c. АЛ 19 - литейный сплав Al, МА21 - деформируемый сплав Mg.
 - d. АЛ 19 - алюминиевый сплав, легированный литием, МА21 - магниевый сплав, легированный алюминием.
- 7.62. *К каким материалам относится сплав МЛ15?*
- a. К алюминиевым сплавам, легированным литием.
 - b. К литейным магниевым сплавам.
 - c. К α -сплавам титана
 - d. К литейным медным сплавам.

7.5 Бериллий

Бериллий относится к группе легких металлов (плотность 1800 кг/м³). Он имеет две аллотропические модификации. Ве _{α} обладает ГПУ кристаллической решеткой и существует до 1250°C. От 1250°C до температуры плавления (1284°C) бериллий существует в модификации β с ОЦК решеткой.

У бериллия очень высокие *удельные* прочность и жесткость. По этим характеристикам, особенно по удельной жесткости, Ве значительно превосходит высокопрочные стали и сплавы на основе алюминия, магния, титана. Бериллий обладает большой скрытой теплотой плавления и очень высокой скрытой теплотой испарения. Высокие тепловые и механические свойства позволяют использовать бериллий в качестве теплозащитных и конструкционных материалов космических летательных аппаратов (головные части ракет, тормозные устройства космических челноков, оболочки кабин космонавтов, камеры сгорания ракетных двигателей и т.д.). Высокая удельная жесткость в сочетании со стабильностью размеров, высокой теплопроводностью и др. свойствами дают возможность использовать бериллий при создании высокоточных приборов (детали инерциальных систем навигации - гироскопов и др.).

Широкое применение бериллия сдерживается высокой стоимостью, связанной с малой распространенностью в природе, сложностью технологии переработки руд и изготовления деталей, токсичностью металла.

Вопросы к разделу.

- 7.63. К какой группе металлов относится бериллий?
- К редкоземельным
 - К тугоплавким.
 - К благородным.
 - К легким.
- 7.64. Какими из приведенных в ответах свойств характеризуется бериллий?
- Высокой $t_{пл}$ (1665°C), низкой жесткостью, низкой плотностью (4500 кг/м^3).
 - Высокой $t_{пл}$ (1284°C), высокой жесткостью, низкой плотностью (1800 кг/м^3).

- с. Высокой $t_{пл}$ (1539°C), высокой жесткостью, высокой плотностью (7800 кг/м^3).
 - д. Низкой $t_{пл}$ (651°C), низкой жесткостью, низкой плотностью (1740 кг/м^3).
- 7.65. *Каков тип кристаллической решетки бериллия?*
 - а. Гексагональная плотноупакованная (Г12).
 - б. Объемноцентрированная кубическая (К8).
 - с. В низкотемпературной модификации - ОЦК, в высокотемпературной - ГЦК.
 - д. В низкотемпературной модификации - ГПУ, в высокотемпературной - ОЦК.
- 7.66. *Какой из материалов может быть применен для изготовления пружинящего элемента ответственного назначения?*
 - а. МА5.
 - б. БрБ2.
 - с. ВТ1-0.
 - д. АК4-1.
- 7.67. *Для каких из перечисленных в ответах изделий применяют бериллий, или сплавы на его основе?*
 - а. Высококачественные гироскопы.
 - б. Упругие элементы электронной аппаратуры.
 - с. Самосмазывающиеся подшипники скольжения.
 - д. Заклепки корпусов ракет.
- 7.68. *Какое из перечисленных в ответах изделий может быть изготовлено из бериллия или из сплавов на его основе?*
 - а. Камера сгорания ракетного двигателя.
 - б. Сердечник реле постоянного тока.
 - с. Антенна космического аппарата с памятью формы
 - д. Опора скольжения высокоточного прибора, например, гироскопа.
- 7.69. *Для каких из перечисленных в ответах изделий применяют сплав БрБ2?*

- a. Для головок цилиндров самолетных поршневых двигателей.
- b. Для сопел ракетных двигателей
- c. Для приборных пружин.
- d. Для быстроходных подшипников скольжения.

7.6 Антифрикционные (подшипниковые) материалы.

Сплавы цветных металлов широко применяются в качестве антифрикционных (подшипниковых) материалов. Они обладают гетерогенной структурой, состоящей из мягкой основы с равномерно распределенными включениями твердых частиц (баббиты, ряд сплавов на основе меди, цинковые антифрикционные сплавы) или из твердой основы и мягких включений (свинцовистая бронза, оловяни-стый алюминий).

Баббиты, например, Б83, Б16, БКА - сплавы на основе олова (Б83) или свинца (Б 16 - с добавкой Sn, БКА - безоловянистый). Применяют баббиты для изготовления вкладышей подшипников скольжения быстроходных тяжело нагруженных машин (Б83, Б88), автомобильных моторов (Б16), подшипников вагонов (БКА, БК2).

Алюминиевые подшипниковые сплавы, например АО9-2, АО20-1, работают в условиях высокой энергонапряженности (при высоких давлениях и скоростях скольжения).

Несколько уступает по антифрикционным свойствам алюминиевым сплавам свинцовистая бронза БрСЗО. Бронзу БрО5Ц5С5, латунь ЛЦ16К4 и др. применяют в качестве антифрикционных материалов при невысоких скоростях скольжения (1 ... 3 м/с).

7.70. *Каковы основные признаки подшипниковых сплавов?*

- a. Сплав имеет однофазную структуру.
- b. Сплав обладает высокой твердостью.

с. Сплав имеет многофазную структуру, состоящую из мягкой основы и твердых включений или из твердой основы и мягких включений

д. Сплав имеет мелкозернистое строение.

7.71. *Что такое баббит?*

а. Латунь с двухфазной структурой.

б. Литейный алюминиевый сплав.

с. Антифрикционный сплав.

д. Бронза, упрочненная железом и марганцем.

7.72. *Для изготовления каких деталей применяют сплав Б83?*

а. Ответственных пружинящих элементов приборов

б. Топливных и кислородных баков ракет.

с. Передних кромок крыльев сверхзвуковых самолетов

д. Быстроходных, высоконагруженных подшипников скольжения.

7.73. *Какой из приведенных в ответах материалов предпочтителен для изготовления быстроходных подшипников скольжения?*

а. БрО5Ц5С5.

б. АО9-2.

с. АЧС-3.

д. ЛЦ16К4.

8. Металлы и сплавы с особыми свойствами и электротехнические материалы

По электрическим свойствам материалы могут быть проводниками, полупроводниками и диэлектриками.

Проводниковые материалы классифицируют в зависимости от удельного электрического сопротивления на металлы и сплавы высокой проводимости, криопроводники и сверхпроводники, сплавы с повышенным электрическим сопротивлением.

Среди металлов высокой электрической проводимости широко распространены медь (удельное электрическое

сопротивление $\rho = 0,017$ мкОм·м), алюминий ($\rho = 0,028$ мкОм·м) и железо ($\rho = 0,098$ мкОм·м). Имеют практическое значение также серебро ($\rho = 0,006$ мкОм·м) и золото ($\rho = 0,022$ мкОм·м).

Электрические и механические характеристики меди в значительной степени определяются наличием примесей и напряженностью структуры металла. Наименьшим электрическим сопротивлением обладает чистая медь. Любые примеси снижают ее электропроводность. Деформационное упрочнение ухудшает проводниковые свойства меди, но увеличивает ее механическую прочность.

Холоднотянутая (твердая) медь - МТ применяется в основном там, где необходимы, наряду с достаточной электрической проводимостью ($\rho = 0,018$ мкОм·м), прочность, твердость, высокое сопротивление истирающим нагрузкам (например, контактные провода, коллекторные пластины электрических машин).

Отожженная (мягкая) медь - ММ имеет высокую электрическую проводимость (ρ не более $0,01724$ мкОм·м) и применяется в виде проволок для изготовления токопроводящих жил кабелей, обмоточных и монтажных проводов, в производстве волноводов и т.д.

Алюминий как проводниковый материал занимает второе место после меди. Для электротехнических целей используют специальные марки алюминия А5Е (общее содержание примесей 0,5%) и А7Е (примесей 0,3%), в которых содержание железа и кремния находится в определенном соотношении, а концентрация Ti, V, Cr и Mn снижена до тысячных долей процента. Удельное электрическое сопротивление проводникового алюминия не более $0,0289$ мкОм·м.

Железо значительно уступает меди и алюминию по электрической проводимости, но оно обладает более высокими механическими характеристиками. В качестве проводникового материала железо (низкоуглеродистые

стали) применяют в тех случаях, когда прочностные свойства имеют решающее значение, например, для рельсов подвижного состава с электрической тягой.

К криопроводникам относятся материалы, приобретающие при глубоком охлаждении (ниже -173°C) высокую электрическую проводимость, но не переходящие в сверхпроводниковое состояние. Одним из таких материалов является алюминий особой чистоты А999 (99,999% Al). При температуре жидкого азота минус $195,6^{\circ}\text{C}$ удельное электрическое сопротивление составляет около $3 \cdot 10^{-3}$ мкОм·м, а при температуре жидкого водорода минус $252,6^{\circ}\text{C}$ - около $5 \cdot 10^{-5}$ мкОм·м.

К сплавам с повышенным удельным электрическим сопротивлением (не менее 0,3 мкОм·м) относятся медноникелевые сплавы: манганин (МНМц 3-12), константан (МНМц 40-1,5); сплавы на основе никеля: нихромы (Х20Н80, Х15Н60); на железной основе: фехраль (Х13Ю4), хромель (0Х23Ю5) и др.

Манганин - сплав на основе Cu, легированный 3 % Ni и 12 % Mn, обладает стабильным удельным электрическим сопротивлением в интервале температур от -100 до $+100^{\circ}\text{C}$. Низкое значение термоЭДС в паре с медью и высокая стабильность электросопротивления во времени позволяют широко использовать манганин при изготовлении резисторов и электроизмерительных приборов высоких классов точности. Константан (около 40 % Ni и 1,5 % Mn, основа - Cu) по стойкости к нагреву превосходит манганин, что позволяет использовать его в реостатах и электронагревательных приборах, работающих при температуре до 500°C . Высокая термоэлектродвижущая сила константана в паре с медью и железом исключает возможность применения его в электроизмерительных приборах, однако, она позволяет применять константан при изготовлении термопар.

Сплавы высокого электрического сопротивления (нихромы, фехраль, хромель и др.) применяют для изготовления нагревательных элементов электрических приборов и печей. Рабочие температуры таких сплавов 900 ... 1200⁰С.

Диэлектриками называют материалы, основным электрическим свойством которых является способность поляризоваться в электрическом поле. В диэлектриках электрические заряды прочно связаны с атомами, молекулами или ионами и в электрическом поле лишь несколько смещаются относительно положения равновесия. Происходит разделение центров положительного и отрицательного зарядов, т.е. поляризация. Для диэлектриков характерно высокое сопротивление прохождению постоянного электрического тока. Мерой поляризуемости диэлектрика является относительная диэлектрическая проницаемость, равная отношению емкости конденсатора с диэлектриком к емкости такого же конденсатора с вакуумом. Важнейшей характеристикой диэлектрических материалов является электрическая прочность. При превышении в объеме диэлектрика некоторой критической величины напряженности электрического поля происходит пробой. (Под напряженностью электрического поля понимают отношение приложенного к диэлектрику напряжения к расстоянию между подводящими напряжением электродами). Значение напряжения в момент пробоя называют пробивным напряжением, а достигнутую к этому моменту напряженность - электрической прочностью.

В приборостроении в ряде случаев требуются материалы с минимальным или заданным по величине температурным коэффициентом линейного расширения, материалы с малым температурным коэффициентом модуля упругости и др. Сплавы, имеющие подобные свойства, принадлежат системе Fe-Ni.

Минимальное значение температурного коэффициента линейного расширения ($1,5 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$) в интервале температур от -60 до $+100^{\circ}\text{C}$ имеет сплав с 36% никеля - 36Н, называемый инвар. Малое значение температурного коэффициента линейного расширения сплавов инварного типа имеет ферромагнитную природу и связано с большой магнитострикцией, т.е. изменением размеров ферромагнетика при его намагничивании. Размеры изделий инварного сплава определяются двумя составляющими: нормальной, зависящей от энергии связи между атомами, и магнитострикционным увеличением размера, вызванным внутренним магнитным полем ферромагнетика. С увеличением температуры размер любого тела растет вследствие ослабления межатомных связей, но в сплавах инварного типа этот рост компенсируется уменьшением магнитострикционной составляющей, поскольку увеличение тепловых колебаний атомов влечет за собой снижение намагниченности, а, следовательно, и магнитострикции.

Частичная замена в инваре никеля на кобальт и дополнительное легирование медью уменьшает коэффициент линейного расширения сплава в том же температурном интервале до $1,0 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ (32НКД - суперинвар). Сплав 29НК (ковар) имеет такой же коэффициент, как термостойкое стекло, вольфрам и молибден. У сплава 47НД (платинит) коэффициент линейного расширения такой же, как у обычного стекла и у платины.

Сплавы с малым температурным коэффициентом модуля упругости называют элинварными, например 36НХ (элинвар), 42НХТЮ, 44НХТЮ.

Ферромагнитные материалы в зависимости от конфигурации их петли магнитного гистерезиса подразделяют на магнитно-твердые и магнитно-мягкие.

Магнитно-твердые сплавы используют для изготовления постоянных магнитов. Они имеют широкую

петлю гистерезиса с большой коэрцитивной (размагничивающей) силой $H_c > 4$ кА/м и обладают значительной магнитной энергией, пропорциональной величинам H_c и остаточной магнитной индукции B_r .

Увеличение коэрцитивной силы магнитно-твердых сталей достигается получением неоднородной напряженной структуры, представленной высокоуглеродистым мартенситом с высокой плотностью дефектов строения.

Для постоянных магнитов небольшой мощности могут быть использованы углеродистые инструментальные стали. Обычно применяют высокоуглеродистые стали, легированные хромом и кобальтом (ЕХЗ, ЕХ5К5 и др.). Легирующие элементы увеличивают прокаливаемость стали, повышают ее коэрцитивную силу и магнитную энергию. Широкое применение получили литые сплавы типа алнико, например ЮНДК15, ЮНДК40Т8АА, обладающие значительно большей коэрцитивной силой и магнитной энергией, чем легированные стали. В качестве материалов постоянных магнитов применяют сплавы системы Fe-Ni-Al, сплавы на основе РЗМ (Sm, Pr, Y), получаемые методом порошковой металлургии.

Из магнитно-мягких сплавов изготавливают электромагниты, магнитопроводы электрических машин, трансформаторов, электрических приборов и аппаратов. Основные требования, предъявляемые к магнитно-мягким материалам, - низкая коэрцитивная сила (узкая петля гистерезиса), высокая магнитная проницаемость, высокая индукция насыщения, малые потери на вихревые токи и перемагничивание. Низкие значения H_c и высокая магнитная проницаемость μ достигаются в ферромагнетиках при однофазной близкой к равновесию структуре с минимумом внутренних напряжений.

Магнитно-мягким материалом является, например, техническое железо. Оно обладает достаточно высокой

начальной и максимальной магнитной проницаемостью ($\mu_n = 0,3$ и $\mu_{\max} = 9$ мГн/м) и низкой коэрцитивной силой ($H_c = 64$ А/м). Недостатком железа является низкое удельное электрическое сопротивление (ρ не более $0,1$ мкОм·м), обуславливающее значительные тепловые потери, связанные с вихревыми токами, возникающими при перемагничивании. Поэтому применение технического железа ограничено устройствами, работающими на постоянном токе.

Наиболее широкое распространение в качестве магнитно-мягких материалов, работающих в полях промышленной частоты (низкочастотные поля), получили кремнийсодержащие (электротехнические) стали. Основное назначение кремния - увеличение удельного электрического сопротивления стали, и, следовательно, сокращение потерь при перемагничивании. Дальнейшее уменьшение тепловых потерь достигается изготовлением магнитопроводов (роторов и статоров двигателей, сердечников трансформаторов и т.д.) из набора тонколистовых деталей с прослойкой изоляции (полимеров, оксидов).

Электротехнические стали маркируют четырехзначными числами. Первая цифра характеризует вид и структуру проката: 1 - горячекатаная изотропная сталь, 2 - холоднокатаная изотропная, 3 - холоднокатаная анизотропная с ребровой текстурой. Вторая цифра указывает на содержание кремния: 0 - менее $0,4$ %, 1 - более $0,4$ до $0,8$ %, 2 - более $0,8$ до $1,8$ %, ... 5 - более $3,8$ до $4,8$ %. Третья цифра определяет тепловые потери при определенных значениях индукции B и частоты f . Например, единица указывает, что потери нормированы при $B = 1,5$ Тл и $f = 50$ Гц ($P_{1,5/50}$). Четвертая цифра - код числового значения нормируемого параметра. Чем цифра больше, тем потери меньше.

В радиотехнике, в телефонии для достижения больших значений индукции в слабых магнитных полях для магнитопроводов применяют железоникелевые сплавы - пермаллои, содержащие 45 ... 83 % Ni и отличающиеся высокой магнитной проницаемостью (μ н до 88 мГн/м и μ тах до 310 мГн/м). К пермаллоям относятся, например, сплавы 45Н, 50Н (низконикелевые); 79НМ, 81НМА (высоконикелевые). Пермаллои применяют при частотах до 25 кГц. Наряду с пермаллоями применяют литейные сплавы системы Fe-Al-Si (альсиферы), обладающие свойствами, близкими к пермаллоям. Альсиферы не содержат дорогостоящих легирующих элементов, но они менее технологичны.

Для работы в высокочастотных полях в качестве магнитопроводов применяют магнитодиэлектрики и ферриты. Магнитодиэлектрики представляют собой композиционные материалы, состоящие из конгломерата тонкодисперсных низкокоэрцитивных частиц, например, размолотого альсифера, скрепленных прослойками органического или неорганического диэлектрика. Высокое удельное электрическое сопротивление магнитодиэлектрика обуславливает малые потери на вихревые токи и определяет возможность его применения в высокочастотной проводной связи, радиоэлектронике и т.д.

Ферриты представляют собой материалы, состоящие из оксидов Fe, Zn, Mn, Ni, получаемые методом порошковой металлургии. Ферриты широко применяют в устройствах, работающих в слабых полях на низких и высоких радиочастотах.

Вопросы к разделу.

8.1. В каком из ответов проводниковые материалы размещены в порядке возрастания их удельного электрического сопротивления?

a. Al-Fe-Ag-Cu.

b. Ag-Cu-Al-Fe.

- c. Fe-Al-Cu-Ag.
- d. Cu-Ag-Fe-Al.

8.2. *Какой материал называют твердой медью?*

- a. Электролитическую медь.
- b. Медный сплав, содержащий легирующие элементы, повышающие твердость.
- c. Медь, упрочненную холодной пластической деформацией.
- d. Медный штейн.

8.3. *Какой материал называют мягкой медью?*

- a. Медь после огневого рафинирования.
- b. Медный сплав, содержащий легирующие элементы, снижающие твердость.
- c. Электролитическую медь.
- d. Отожженную медь.

8.4. *Как влияют растворимые в меди примеси на ее электропроводность?*

- a. Электропроводность меди не зависит от примесей.
- b. Все примеси снижают электропроводность.
- c. Все примеси повышают электропроводность.
- d. Примеси, обладающие меньшим, чем медь удельным электросопротивлением (например, серебро) повышают электропроводность, остальные - снижают.

8.5. *Какие материалы называют криопроводниками?*

- a. Высокотемпературные керамические сверхпроводники.
- b. Диэлектрики, приобретающие определенную электропроводность при температуре жидкого водорода.
- c. Материалы, приобретающие нулевое электросопротивление при охлаждении до температуры 100.
- d. Материалы, приобретающие высокую электропроводность при глубоком охлаждении.

8.6. *Что представляют собой сплавы А5Е, А7Е?*

- а. Электротехнические алюминиевые сплавы высокой проводимости.
- б. Высококачественные стали, легированные азотом.
- с. Автоматные стали, легированные селеном.
- д. Электротехнические медные сплавы, легированные алюминием.

8.7. *Что такое нихром? Каково его назначение?*

- а. Жаростойкий сплав на основе никеля. Используется для изготовления нагревательных элементов.
- б. Диэлектрический материал. Используется для изготовления электрических изоляторов.
- с. Железоникелевый сплав с высокой магнитной проницаемостью. Используется в слаботочной технике.
- д. Высокохромистый инструментальный материал. Используется для изготовления штампового инструмента.

8.8. *Как называется сплав марки МНМц-З-12? Каков его химический состав?*

- а. Инструментальная сталь. Содержит около 1 % углерода и от 0,3 до 1,2 % молибдена и никеля.
- б. Литейная бронза. Содержит 3 % ниобия и 12 % марганца.
- с. Медно-никелевый сплав - манганин. Содержит около 3 % никеля и 12 % марганца, остальное - медь.
- д. Сплав высокой электропроводности на основе меди с суммарным количеством примесей 0,03 ... 0,12 %. Химический состав устанавливают по ГОСТу.

8.9. *Как называется сплав марки МНМц-40-1,5? Каков его химический состав?*

- а. Сплав высокого электрического сопротивления на основе Cu. Содержит около 40 % Ni и Mn (в сумме); 1,5 - удельное сопротивление.

- b. Сталь с 1 % углерода; 40 - суммарное содержание Mo, Ni и Mn в %. Число 1,5 характеризует вязкость.
 - c. Медно-никелевый сплав константан. Содержит около 40 % никеля, 1,5 % марганца, остальное - медь.
 - d. Литейная бронза, содержащая примерно 40 % Ni, 1 % Mo и 5 % Zn.
- 8.10. *В каком из перечисленных в ответах случаях следует использовать манганин?*
- a. Изготовление сильноточного разрывного контакта.
 - b. Изготовление коллекторных пластин электродвигателя.
 - c. Изготовление малогабаритного электромагнита с прямоугольной петлей гистерезиса.
 - d. Изготовление высокоточного резистора.
- 8.11. *Какие материалы относятся к группе материалов высокой проводимости:*
- a. тантал и рений;
 - b. медь и алюминий;
 - c. графит и пиролитический углерод;
 - d. цинк и хром.
- 8.12. *Какие материалы называют диэлектриками?*
- a. Материалы, поляризующиеся в электрическом поле.
 - b. Материалы с обратной зависимостью электрического сопротивления от температуры.
 - c. Материалы с неметаллическими межатомными связями.
 - d. Материалы с аморфной структурой.
- 8.13. *Что такое диэлектрическая проницаемость?*
- a. Мера нагревостойкости диэлектрика.
 - b. Мера диэлектрических потерь.
 - c. Мера электрической прочности диэлектрика.
 - d. Мера поляризации диэлектрика.
- 8.14. *Что такое электрическая прочность?*
- a. Величина напряжения в момент пробоя.

- в. Напряженность электрического поля в момент пробоя.
 - с. Максимальная величина тока, при которой возможна длительная эксплуатация материала.
 - д. Мера способности материала сопротивляться одновременному воздействию тока и механической нагрузки.
- 8.15. *Каким основным свойством характеризуется инвар?*
 - а. Высоким удельным электрическим сопротивлением.
 - б. Высокой магнитной проницаемостью в слабых полях.
 - с. Малым температурным коэффициентом линейного расширения.
 - д. Малым температурным коэффициентом модуля упругости.
- 8.16. *Каким основным свойством характеризуются элинвары?*
 - а. Прямоугольной петлей магнитного гистерезиса.
 - б. Высокой диэлектрической проницаемостью.
 - с. Температурными коэффициентами линейного расширения, равными коэффициентам неметаллических материалов.
 - д. Малым температурным коэффициентом модуля упругости.
- 8.17. *Что такое магнитострикция?*
 - а. Изменение размеров и формы ферромагнетика при намагничивании.
 - б. Явление отставания магнитной индукции от напряженности магнитного поля.
 - с. Процесс изменения ориентации доменной структуры при намагничивании.
 - д. Процесс разрушения доменной структуры при нагреве ферромагнетика выше точки Кюри.
- 8.18. *Какие материалы называют магнитно-твердыми?*

- a. Ферромагнетики с большой коэрцитивной силой.
 - b. Ферромагнетики с узкой петлей гистерезиса.
 - c. Аморфные магнитные материалы.
 - d. Материалы с высокой магнитной проницаемостью.
- 8.19. *Где используют магнитно-твердые материалы?*
- a. Для изготовления магнитопроводов токов высокой частоты.
 - b. Для изготовления электромагнитов.
 - c. Для изготовления постоянных магнитов.
 - d. Для изготовления магнитопроводов постоянного или слабо пульсирующего тока.
- 8.20. *Какой из приведенных в ответах сплавов можно использовать для изготовления постоянного магнита?*
- a. Аустенитную сталь 12X18H10T.
 - b. Электротехническую сталь 1211.
 - c. Инструментальную сталь У11 А.
 - d. Техническое железо.
- 8.21. *Какие материалы называют магнитно-мягкими?*
- a. Мартенситные стали.
 - b. Литые высококоэрцитивные сплавы.
 - c. Материалы с широкой петлей гистерезиса.
 - d. Материалы с малым значением коэрцитивной силы.
- 8.22. *Для каких целей применяют электротехнические стали?*
- a. Для изготовления постоянных магнитов.
 - b. Для изготовления приборов, регулирующих сопротивление электрических цепей.
 - c. Для магнитопроводов, работающих в полях промышленной частоты.
 - d. Для передачи электрической энергии на значительные расстояния.
- 8.23. *Какой из приведенных в ответах сплавов можно использовать для изготовления магнитопровода переменного тока промышленной частоты?*

- a. Аустенитную коррозионно-стойкую (нержавеющую) сталь.
 - b. Электротехническую сталь.
 - a. Техническое железо.
 - b. Инструментальную сталь.
- 8.24. Почему магнитные сердечники из кремнистой стали изготавливают из тонких пластин с прослойкой изоляции?
- a. Для уменьшения тепловых потерь.
 - b. Для увеличения магнитного потока.
 - c. Для упрощения технологии изготовления сердечника.
 - d. Для увеличения коэрцитивной силы.
- 8.25. Что такое пермаллой?
- a. Аморфный магнитный материал.
 - b. Железоникелевый сплав, обладающий высокой магнитной проницаемостью в слабых полях.
 - c. Электротехническая сталь с ребровой текстурой.
 - d. Литой высококоэрцитивный сплав.
- 8.26. Какие материалы называют магнитодиэлектриками?
- a. Неметаллические материалы, обладающие свойствами ферромагнетиков.
 - b. Материалы, получаемые методами порошковой металлургии и состоящие из оксидов Fe, Zn, Mn и других металлов.
 - c. Материалы, состоящие из конгломерата низкокоэрцитивных частиц, скрепленных диэлектрическими прослойками.
 - d. Материалы, получаемые прессованием из смеси порошков высококоэрцитивного сплава и диэлектрика.
- 8.27. Для каких целей предназначены магнитодиэлектрики?
- a. Для изготовления магнитопроводов, работающих в полях промышленной частоты.

- b. Для изготовления микроминиатюрных постоянных магнитов повышенной мощности.
- c. Для изготовления изолирующих прокладок в устройствах, работающих на повышенных частотах.
- d. Для изготовления магнитопроводов, работающих в высокочастотных цепях радиоэлектронных устройств.

8.28. *Ферромагнитные материалы обладают структурой*

- a. Синтетической
- b. Кристаллической
- c. Мартенситной
- d. Доменной

8.29. *Магнитные материалы, способные легко намагничиваться при приложении электрического поля и размагничиваться при снятии напряжения называется:*

- a. Не магнитные
- b. Диэлектрики
- c. Магнитомягкие
- d. Проводники

8.30. *Чем объясняется потеря магнитных свойств материалом при нагреве выше точки Кюри?*

- a. Дезориентацией внутренних областей (доменов) намагничивания из-за интенсивного теплового движения атомов и молекул материала.
- b. Полиморфными превращениями
- c. Увеличением скорости движения электронов, и следовательно уменьшением длины пробега

8.31. *Чем «тверже» магнитный материал (несколько верных ответов):*

- a. Тем выше его коэрцитивная сила H_c ;
- b. Тем больше его остаточная магнитная индукция B_r
- c. Тем меньше его магнитная проницаемость μ
- d. Меньше потери на гистерезис

- 8.32. *Материалами для изоляции токопроводящих частей является*
- a. Проводники
 - b. Полупроводники
 - c. Диэлектрики
 - d. Магнитные материалы
- 8.33. *Зависимость магнитных свойств материала от направления испытаний в кристалле называется...*
- a. Магнитострикцией
 - b. Анизотропией
 - c. текстурой
 - d. ферромагнетизм
- 8.34. *Для изготовления сердечников трансформаторов, электромагнитов используются материалы*
- a. Магнитотвердые
 - b. Проводниковые
 - c. Полупроводниковые
 - d. Магнитомягкие
- 8.35. *Высоким удельным электрическим сопротивлением обладают*
- a. Полупроводники
 - b. Чистые металлы
 - c. Проводники
 - d. Диэлектрики
- 8.36. *Проводниковый материал серебристого цвета, используемый для изготовления фольги, проволоки и проводов:*
- a. Алюминий;
 - b. Медь;
 - c. Никель;
 - d. Хром.
- 8.37. *К простым полупроводникам не относится:*
- a. Германий;
 - b. Кремний;
 - c. Селен;

d. Никель.

8.38. *Полупроводниковые материалы применяются для изготовления:*

a. Силовых кабелей;

b. Диодов;

c. Фольги;

d. Конденсаторов.

8.39. *К электроизоляторам не относятся:*

a. Гетинаксы;

b. Текстолиты;

c. Ферриты;

d. Компаунды.

8.40. *Сплав, предназначенный для соединения металлов при пайке, называется:*

a. Флюс;

b. Припой;

c. Текстолит;

d. Феррит.

8.41. *Материалами для изоляции токопроводящих частей является*

a. Проводники

b. Полупроводники

c. Диэлектрики

d. Магнитные

9. Неметаллические и композиционные материалы

Пластмассами называют искусственные материалы на основе природных или синтетических полимеров, способные принимать заданную форму при нагревании под давлением и устойчиво сохранять ее после охлаждения.

Основным компонентом пластмасс, обеспечивающим работу всей композиции как единого целого, являются **полимерные материалы**, или смолы, представляющие собой высокомолекулярные соединения, молекулы

которых (макромолекулы) состоят из большого числа (нескольких тысяч) мономерных звеньев.

Полимеры получают в результате синтеза из низкомолекулярных соединений методами полимеризации или поликонденсации.

Наиболее многочисленную группу соединений составляют органические полимеры, например, полиолефины, фторопласты, полиамиды, полиимиды, фенолформальдегидные смолы, полисилоксаны, эпоксидные смолы.

Основу неорганических полимерных материалов составляют соединения SiO_2 , CaO , MgO , Al_2O_3 и др. Представителями таких полимеров являются силикатные стекла, керамика, асбест, слюда.

Свойства полимерных материалов определяются как их химическим составом, так и строением макромолекул.

Присутствие в основных молекулярных цепях атомов других, кроме углерода, элементов сообщает полимеру те или иные специфические свойства. Например, фосфор и хлор повышают огнестойкость, атомы серы увеличивают газонепроницаемость, кислород способствует повышению эластичности, фтор обеспечивает высокую химическую стойкость пластмасс.

По строению различают следующие основные типы макромолекул: линейные, разветвленные, ленточные, пространственные.

Полимерные материалы с ленточной или разветвленной структурой макромолекул высокоэластичны. Они обладают **термопластичностью**, т.е. способностью обратимо размягчаться при нагреве и затвердевать при охлаждении без участия химических реакций. Такие материалы называют **термопластами**. Процесс размягчение-затвердевание может протекать многократно.

Полимеры с ленточными и особенно с пространственными макромолекулами имеют повышенную тепловую и химическую стойкость. Образование подобной структуры и связанное с ним необратимое затвердевание материала протекает при участии химических реакций. Такие полимеры, а также пластмассы на их основе называют **термореактивными (реактопласты)**. Перевести однажды затвердевшую термореактивную смолу в вязкотекучее или высокоэластическое состояние нельзя. Пространственной (редкосетчатой) структурой обладают также резины - продукт вулканизации природного или синтетического полимера - каучука.

В зависимости от химического состава, строения макромолекул, надмолекулярной структуры (степени кристалличности) полимеры по электрическим и физическим свойствам могут быть **полярными и неполярными**. У полярной молекулы пространственные положения центров тяжести положительного и отрицательного зарядов не совпадают. У неполярной молекулы скрепляющее ее электронное облако распределяется равномерно и центры тяжести разноименных зарядов находятся в одной точке. Полярные полимеры обладают повышенной жесткостью и теплостойкостью, высокой адгезионной способностью, пониженной морозостойкостью. Неполярные - являются высококачественными и высокочастотными диэлектриками. Их свойства мало изменяются при понижении температуры. Они отличаются высокой морозостойкостью.

Наряду со связующим веществом большинство пластмасс содержат наполнители и добавки, улучшающие их технологические и эксплуатационные свойства.

Наполнители придают пластмассовым изделиям высокую прочность, химическую стойкость,

теплостойкость, улучшают диэлектрические качества, снижают (повышают) плотность, повышают фрикционные (антифрикционные) свойства и т.д. Наполнители могут быть как органическими, так и неорганическими веществами. По структуре наполнители бывают порошкообразными, волокнистыми, листовыми и газообразными. Пластмассы с ориентированным волокнистым наполнителем и с листовым наполнителем (слоистые пластмассы) обладают ярко выраженной анизотропией механических свойств. По виду наполнителей различают пластмассы ненаполненные, или простые и наполненные. К последним относятся материалы с наполнителями: порошкообразными (пресс-порошки и литьевые пластмассы); волокнистыми (волокниты, асбоволокниты, стекловолокниты); листовыми (гетинаксы, текстолиты, асботекстолиты, древесно-слоистые пластики (ДСП), стеклотекстолиты); газообразными (пено- и поропласты).

По назначению пластмассы подразделяют на ряд групп: конструкционные, электроизоляционные, химически стойкие, фрикционные, тепло- и звукоизоляционные, светотехнические и др.

Конструкционные пластмассы характеризуются высокими механическими свойствами. К ним относятся, например, ударопрочный полистирол, фенопласты, стеклопластики (стекловолокниты, стеклотекстолиты), используемые в нагруженных узлах и деталях конструкций. Стеклопластики на основе эпоксидных смол обладают высокими прочностными свойствами, на основе кремнийорганических смол (полисилоксанов) – высокой теплостойкостью.

Электроизоляционные пластмассы являются хорошими диэлектриками. Их – это полиэтилены высокого (ПЭВД) и низкого (ПЭНД) давления, полистирол, фторопласты (фторопласт-3 и фторопласт-4), гетинакс, текстолит используют при изготовлении электроизолирующих и

диэлектрических деталей, пленок, шлангов, изолирующих покрытий на металлах и т.д.

Химически стойкие пластмассы, например, фторопласт-4, полиэтилен, поливинилхлорид (винипласт), асболокнители способны сопротивляться действию влаги и различных химических соединений. Из них изготавливают химическую аппаратуру, емкости, трубы, химически стойкие покрытия на металлах и др.

Фрикционные пластмассы обладают в условиях сухого трения высоким коэффициентом трения и высокой износостойкостью. К ним относятся, например, асболокнители, асботекстолиты, асбокаучуковые материалы. Такие пластмассы работают в узлах, передающих кинетическую энергию (например, фрикционные диски муфт сцепления) или рассеивающих ее (например, накладки, колодки тормозных устройств).

Антифрикционные пластмассы имеют малый коэффициент трения и высокую износостойкость. В эту группу входят пластмассы, работающие в узлах трения. Высокими антифрикционными свойствами обладают, например, фторопласт-4, полиамиды (капрон), лавсан, текстолиты, древесно-слоистые пластики. Из пластмасс изготавливают вкладыши подшипников скольжения, зубчатые колеса и др. детали, образующие пары трения. Зубчатые колеса из текстолита работают бесшумно при частотах вращения до 30 000 об/мин, шестерни из ДСП могут передавать значительные нагрузки, сравнимые с деталями из цветных металлов.

Тепло- и звукоизоляционные пластмассы, например, пенополистирол, пенополиуретан, пенополиэпоксид, пенополисилоксан обладают низким коэффициентом теплопроводности, высокой звукопоглощающей способностью. Их используют для теплоизоляции холодильников, труб; тепло- и звукоизоляции кабин и др. Пластмассы применяют также в качестве легкого

заполнителя силовых элементов конструкций; для изготовления труднозатопляемых изделий.

Светотехнические и оптические пластмассы применяют для изготовления оптических деталей и арматуры осветителей. Они стойки к воздействию света и обладают высокими оптическими свойствами. Например, полиметилметакрилат (органическое стекло) применяют для остекления автомобилей, судов, самолетов, для изготовления рассеивателей и других светотехнических изделий; из полистирола изготавливают прозрачные колпаки приборов, часовые стекла и т.п.

Декоративные пластмассы, например гетинакс, применяют для отделки (облицовки) мебели, салонов автобусов, самолетов, кабин судов, пассажирских железнодорожных вагонов, вагонов метро и др.

Под действием внешней среды полимерные материалы претерпевают необратимые изменения - стареют. При старении происходит деструкция и структурирование полимерных цепей, сопровождающиеся изменением физических, химических, механических характеристик пластмассы. Различают атмосферное, тепловое, радиационное и др. виды старения.

Разрушение материала, сопровождающееся уносом его массы при воздействии горячего газового потока, называется **абляцией**. Абляционная стойкость определяется устойчивостью материала к механической, термической и термоокислительной деструкции.

Композиционные материалы — сложные материалы, состоящие из нерастворимых или малорастворимых друг в друге компонентов, сильно отличающихся по свойствам и разделенные в матрице ярко выраженной границей.

Свойства композиционных материалов зависят от свойств компонентов и характера связи между ними. В таких материалах проявляются достоинства каждого из

компонентов, а также положительные свойства, которыми каждый из компонентов в отдельности не обладает.

Основа (матрица) композиционного материала может быть металлической (композиционные материалы на металлической основе) и неметаллической (композиционные материалы на неметаллической основе). В качестве металлической основы широко применяют алюминий, магний, никель, титан, сталь. Неметаллическая основа может быть полимерной, углеродной, керамической.

Матрица объединяет все компоненты композиционного материала в единое целое. От свойств матричного материала зависят такие эксплуатационные свойства композиции как рабочая температура, сопротивление воздействию окружающей среды, сопротивление усталостному разрушению.

В матрице равномерно распределены компоненты, наполняющие и упрочняющие композиционный материал - **упрочнители и армирующие материалы**. Упрочняющие компоненты должны обладать высокой прочностью, твердостью, модулем упругости. По этим характеристикам они должны значительно превосходить материал матрицы. По геометрическим параметрам армирующие материалы могут быть нуль-мерными, одномерными и двумерными.

Материалы, армированные нуль-мерными упрочнителями, называют **дисперсно-упрочненными**. В качестве дисперсных частиц чаще используют тугоплавкие оксиды, карбиды, нитриды, бориды (Al_2O_3 , ThO_2 , SiC , BN и др.). Изготавливают дисперсно-упрочненные материалы с металлической матрицей главным образом методом порошковой металлургии. При работе дисперсно-упрочненных материалов основную нагрузку воспринимает матрица. Дисперсные частицы, эффективно тормозя движение дислокаций, препятствуют развитию пластической деформации и, таким образом, упрочняют

композиционный материал. Степень упрочнения определяется дисперсностью частиц и расстоянием между ними. Большое упрочнение достигается при размере частиц 0,01 ... 0,1 мкм и расстоянии между ними 0,05 ... 0,5 мкм.

Среди дисперсно-упрочненных материалов широкое распространение получили, например, спеченные алюминиевые пудры (САП) - материалы с алюминиевой матрицей, упрочненные чешуйками Al_2O_3 . Содержание оксида в САП находится, в зависимости от марки, в пределах 6 ... 18%. САП обладают прочностью до 400 МПа (САП-3), низкой плотностью, высокой коррозионной стойкостью. Длительная прочность σ_m при температуре 500°C материалов САП-1 и САП-2 составляет 45 ... 55 МПа. Наиболее высокую жаропрочность имеют материалы на основе никеля с 2 ... 3 % двуокиси тория (ВДУ-1) или двуокиси гафния (ВДУ-2). При температуре 1200°C ВДУ-1 имеет $\sigma_{100} = 75$ МПа, а $\sigma_{1000} = 65$ МПа.

Материалы с одномерными или одномерными и нульмерными наполнителями называют **волокнистыми композиционными материалами**. Упрочнителями в них могут быть проволока из металлов и сплавов (Мо, W, В, Та, высокопрочная сталь), волокна или нитевидные кристаллы чистых элементов и тугоплавких соединений (С, В, SiC, Al_2O_3 , борсик - волокна бора с выращенными на них в целях улучшения сцепления с матрицей кристаллами карбида кремния и др.). В качестве матричных материалов могут выступать полимеры (эпоксидные, фенолформальдегидные, полиамидные и др. смолы), керамические и углеродистые материалы, металлы (Al, Mg, Ti, Ni и др.). Например, материалы с алюминиевой матрицей армируют стальной проволокой (материалы КАС), борным волокном (материалы ВКА), углеродным волокном (материалы ВКУ).

При растяжении композиционного материала вдоль направления армирования нагрузку в основном

воспринимают волокна, матрица же служит средой для передачи усилия. Чем больше соотношение E_b/E_m (E_b - модуль упругости волокна, E_m - модуль упругости материала матрицы), и чем выше объемное содержание волокон, тем большая доля нагрузки приходится на волокна.

Временное сопротивление композиционного материала, в общем, тем выше, чем больше в нем упрочняющего компонента. Однако, при очень малых ($< 5\%$) и очень больших ($> 80\%$) содержаниях волокна наблюдается обратная зависимость.

Вопросы к разделу

9.1. *Какие вещества называют полимерами?*

- a. Вещества, полученные полимеризацией низкомолекулярных соединений.
- b. Высокомолекулярные соединения, основная молекулярная цепь которых состоит из атомов углерода.
- c. Высокомолекулярные соединения, молекулы которых состоят из большого числа мономерных звеньев.
- d. Органические соединения, состоящие из большого числа одинаковых по химическому составу мономеров.

9.2. *Какой из наполнителей пластмасс: слюдяная мука, асбестовые волокна, стеклянные нити - полимерный материал?*

- a. Ни один из названных наполнителей не полимер.
- b. Стеклянные нити.
- c. Асбестовые волокна и слюдяная мука.
- d. Все названные наполнители - полимеры.

9.3. *В основной цепи полимера, кроме углерода, присутствуют атомы фтора и хлора. Какое из свойств, перечисленных в ответах, можно ожидать у полимерного материала?*

- a. Повышенную газонепроницаемость.
 - b. Высокую химическую стойкость.
 - c. Повышенную эластичность.
 - d. Высокие диэлектрические свойства.
- 9.4. *Какие из перечисленных в ответах свойств характеризуют полярные полимерные материалы?*
- a. Высокие диэлектрические свойства.
 - b. Хорошая адгезионная способность.
 - c. Высокая морозостойкость.
 - d. Слабовыраженная температурная зависимость свойств.
- 9.5. *Какие полимерные материалы называют термопластичными?*
- a. Материалы, обратимо затвердевающие в результате охлаждения без участия химических реакций.
 - b. Материалы с редкосетчатой структурой макромолекул.
 - c. Материалы, формуемые при повышенных температурах.
 - d. Материалы, необратимо затвердевающие в результате химических реакций
- 9.6. *Какова структура макромолекул термореактивных полимерных материалов?*
- a. Ленточная, или пространственная.
 - b. Разветвленная, или паркетная.
 - c. Сетчатая, или цеповидная.
 - d. Линейная, или редкосетчатая.
- 9.7. *Простыми пластмассами называют*
- a. полимеры без добавок
 - b. полимеры и наполнители
 - c. полимеры и стабилизаторы
- 9.8. *Какие материалы называют пластмассами?*
- a. Материалы органической или неорганической природы, обладающие высокой пластичностью.

- b. Высокомолекулярные соединения, молекулы которых состоят из большого числа мономерных звеньев.
 - c. Искусственные материалы на основе природных или синтетических полимерных связующих.
 - d. Материалы, получаемые посредством реакций полимеризации или поликонденсации.
- 9.9. *Какое из перечисленных в ответах связующих веществ обеспечивает наиболее высокую теплостойкость пластмасс?*
- a. Фенолформальдегидная смола.
 - b. Карбамидная смола.
 - c. Кремнийорганическая смола.
 - d. Эпоксидная смола.
- 9.10. *По способу получения связующего вещества пластмассы классифицируют:*
- a. Термопластичные и термореактивные
 - b. Полимеризационные и поликонденсационные
 - c. Электроизоляционные и теплоизоляционные
- 9.11. *В пластмассы для повышения механических свойств добавляют*
- a. Стабилизаторы
 - b. Наполнители
 - c. Пластификаторы
- 9.12. *В пластмассы для замедления старения добавляют*
- a. Стабилизаторы
 - b. Наполнители
 - c. Пластификаторы
- 9.13. *В пластмассы для уменьшения хрупкости добавляют*
- a. Стабилизаторы
 - b. Наполнители
 - c. Пластификаторы
- 9.14. *Какие пластмассы называют термореактивными?*
- a. Пластмассы, в состав которых включены наполнители, например, меняющие характер надмолекулярной структуры.

- b. Пластмассы, обратимо затвердевающие в результате охлаждения без участия химических реакций.
 - c. Пластмассы на основе полимеров с линейной или разветвленной структурой макромолекул.
 - d. Пластмассы, необратимо затвердевающие в результате химических реакций.
- 9.15. *Пластмассы на основе фенолформальдегидной смолы необратимо затвердевают при формовании изделий. Какую структуру макромолекул смолы можно ожидать?*
 - a. Пространственную, или ленточную.
 - b. Разветвленную, или паркетную.
 - c. Линейную, или разветвленную.
 - d. Сетчатую, или линейную.
- 9.16. *Какое из изделий: стеклянное волокно, асбестовая ткань, гетинаксовый лист изготовлено на основе полимера?*
 - a. Асбестовая ткань.
 - b. Стеклянное волокно.
 - c. Гетинаксовый лист.
 - d. Все изделия изготовлены на основе полимеров.
- 9.17. *Что такое текстолит?*
 - a. Ненаполненная пластмасса на основе термопластичных полимеров.
 - b. Пластмасса с наполнителем из направленных органических волокон.
 - c. Пластмасса на основе термореактивного полимера с наполнителем из хлопчатобумажной ткани.
 - d. Термореактивная пластмасса с наполнителем из стеклоткани.
- 9.18. *Пластмассы какого типа обладают ярко выраженной анизотропией механических свойств?*
 - a. Пластмассы с волокнистым наполнителем.
 - b. Газонаполненные пластмассы.
 - c. Слоистые пластмассы.

- d. Пластмассы с порошковым наполнителем.
- 9.19. *Для изделий какого типа возможно применение гетинакса?*
- a. Внутренняя облицовка салона самолета.
 - b. Антенный обтекатель самолета.
 - c. Наружная теплозащита космического аппарата.
 - d. Остекление кабины самолета.
- 9.20. *Для каких из перечисленных в ответах целей может быть использован гетинакс?*
- a. Для изготовления устройств гашения электрической дуги.
 - b. Для изготовления панелей распределительных устройств низкого напряжения.
 - c. Для изготовления прозрачных колпаков электрических приборов.
 - d. Для изготовления подшипников скольжения микроэлектродвигателей.
- 9.21. *Какой из перечисленных в ответах материалов предпочтителен для изготовления подшипников скольжения?*
- a. Фторопласт-4.
 - b. Ударопрочный полистирол.
 - c. Фенопласт.
 - d. Асбоболокнит.
- 9.22. *Какой из перечисленных в ответах материалов предпочтителен для изготовления тормозных накладок?*
- a. Текстолит.
 - b. Винипласт.
 - c. Асботекстолит.
 - d. Стекловолокнит.
- 9.23. *Какой из перечисленных в ответах материалов предпочтителен для изготовления шестерен, передающих значительные усилия?*
- a. ПЭВД.

- b. Фторопласт-3.
 - c. Волокнит.
 - d. ДСП.
- 9.24. Для каких из перечисленных в ответах видов изделий возможно применение полиметилметакрилата?
- a. Лонжероны лопастей вертолета.
 - b. Скоростные подшипники скольжения.
 - c. Стекла кабины самолета.
 - d. Тормозные колодки шасси.
- 9.25. Какой структурой обладают макромолекулы резиновых материалов?
- a. Линейной.
 - b. Редкосетчатой.
 - c. Разветвленной.
 - d. Лестничной.
- 9.26. Резины, применяемые в качестве электроизоляционных резин
- a. Неполярные каучуки
 - b. Полярных каучуков
 - c. Наирит
- 9.27. Назовите маслбензостойкую резину
- a. Неполярные каучуки
 - b. Полярных каучуков
 - c. Наирит
- 9.28. Какой материал называют композиционным?
- a. Материал, составленный различными компонентами, разделенными в нем ярко выраженными границами.
 - b. Материал, структура которого представлена матрицей и упрочняющими фазами.
 - c. Материал, состоящий из различных полимеров.
 - d. Материал, в основных молекулярных цепях которого содержатся неорганические элементы, сочетающиеся с органическими радикалами.
- 9.29. Какие композиционные материалы называют дисперсноупрочненными?

- a. Материалы, упрочненные частицами второй фазы, выделившимися при старении.
- b. Материалы, упрочненные полностью растворимыми в матрице частицами второй фазы.
- c. Материалы, упрочненные нуль-мерными наполнителями.
- d. Материалы, упрочненные одномерными наполнителями.

9.30. *Как зависит прочность дисперсно-упрочненных композиционных материалов от содержания наполнителя?*

- a. Если наполнитель по прочности превосходит матрицу, то увеличение его содержания приведет к повышению прочности, в противном случае - к понижению.
- b. С увеличением содержания наполнителя прочность растет.
- c. Прочность мало зависит от содержания наполнителя, но определяется его дисперсностью.
- d. Прочность зависит, в основном, от расстояния между частицами наполнителя и их дисперсности.

9.31. *Каким методом получают дисперсно-упрочненные композиционные материалы?*

- a. Методами обработки давлением.
- b. Самораспространяющимся синтезом.
- c. Методами порошковой металлургии.
- d. Литьем под давлением.

9.32. *Как влияет увеличение объемного содержания волокнистого наполнителя на прочность композиционного материала?*

- a. Прочность не зависит от содержания наполнителя.
- b. Влияние на прочность неоднозначно.
- c. Прочность растет.
- d. Прочность снижается.

- 9.33. Как влияет в волокнистом композиционном материале соотношение модулей упругости наполнителя и матрицы (E_b/E_m) на распределение нагрузки между волокнами и матрицей?
- a. Соотношение (E_b/E_m) не влияет на распределение нагрузки.
 - b. Чем больше (E_b/E_m), тем больше нагружена матрица.
 - c. Влияние (E_b/E_m) на распределение нагрузки неоднозначно.
 - d. Чем больше (E_b/E_m), тем более нагружено волокно.
- 9.34. Что такое борсик?
- a. Ткань специального плетения из волокон бора.
 - b. Волокна бора с выращенными на них поперечными кристаллами карбида кремния.
 - c. Волокнистый композиционный материал, упрочненный волокнами бора.
 - d. Волокна бора, пропитанные силикатным стеклом.
- 9.35. К каким материалам относится САП-1?
- a. К дисперсно-упрочненным композиционным материалам на алюминиевой основе.
 - b. К терморезистивным пластмассам с порошковым наполнителем.
 - c. К антифрикционным чугунам с пластинчатым графитом.
 - d. К фрикционным спеченным материалам на основе меди.
- 9.36. Какой из перечисленных в ответах материалов можно использовать для изготовления деталей ракетного двигателя, работающих при температуре 1200°C ?
- a. ВДУ-1.
 - b. САП-1.
 - c. ВКА-1.
 - d. КАС-1.

- 9.37. Для облегчения процесса переработки резиновой смеси, повышения эластичности и морозостойкости в состав резин вводят...
- a. Наполнители
 - b. Стабилизаторы
 - c. Регенерат
 - d. Пластификаторы
- 9.38. Ухудшение свойств резин при эксплуатации и хранении называется...
- a. Старением
 - b. деградацией
 - c. коррозией
 - d. деструкцией
- 9.39. В качестве теплоизоляционного материала можно использовать...
- a. Полиметилметакрилат
 - b. Текстолит
 - c. Поливинилхлорид
 - d. Пенопласт
- 9.40. После формования сырые резиновые изделия подвергают
- a. спеканию
 - b. напылению
 - c. вулканизации

Список литературы

1. Арзамасов Б.Н. Материаловедение: учебник для вузов–М.:Изд. МГТУ, 2005.–648с.
2. Богодухов С.И., Гребенюк В.Ф., Синюхин А.В. курс материаловедения в вопросах и ответах: учебное пособие. 2-изд., испр и доп. М.; Изд.«Машиностроение»,2005-288с.
3. Колесов С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для вузов–М.: Высшая школа 2007-535с.
4. Степанова Т.Ю. Тесты и задачи по материаловедению и технологии конструкционных материалов. Методические указания для самостоятельной работы студентов технологических специальностей/- Иваново Иванов.хим-технол. ун-т, 2008-42с
5. Тарасов В.В. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебное пособие для вузов/ В.В. Тарасов, В.А. Килин.–Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2009,– 140 с.

Учебно-методическое издание

сборник тестов для самоподготовки
к итоговому и текущему контролю
по дисциплине

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Составители:

Юрченко Евгений Владимирович, Юрченко Ольга
Егоровна

Тирасполь: электронное издание ПГУ, 2019-10экз