

Министерство образования Российской Федерации
Владимирский государственный университет
Кафедра литейных процессов и конструкционных материалов

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
и контрольные задания
по дисциплине "Материаловедение"
для студентов-заочников специальности
120100 «Технология машиностроения»

Составитель
Л.В. Картонова

Владимир 2004

УДК 620.22

Рецензент
Кандидат технических наук,
доцент кафедры литейных процессов и конструкционных материалов
Владимирского государственного университета
Н.А.Елгаев

Методические указания и контрольные задания по дисциплине «Материаловедение» (для студентов-заочников специальности 120100 «Технология машиностроения») / Владим. гос. ун-т; Сост.: Л.В.Картонова. Владимир, 2004. - 50с.

Содержат изложение некоторых вопросов курса «Материаловедение», вызывающих наибольшую трудность при изучении данной дисциплины. Приведены варианты заданий для выполнения контрольной работы, включающие вопросы и задачи по основным разделам курса.

Разработаны для студентов специальности 120100 «Технология машиностроения» заочной формы обучения.

Библиогр.: 12 назв.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Методические указания по курсу «Материаловедение» предназначены для выполнения контрольных работ студентами специальности 1201 «Технология машиностроения» заочной формы обучения. В данную методическую разработку включены вопросы, вызывающие наибольшие затруднения при самостоятельном изучении студентами данной дисциплины, поэтому она может быть использована студентами других машиностроительных специальностей.

Некоторые вопросы курса «Материаловедение»

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

При выборе металлов и сплавов необходимо учитывать механические, технологические, физические, химические и служебные (эксплуатационные) свойства.

Свойства металлов и сплавов

I. Механические свойства

Под *механическими свойствами* понимают характеристики, определяющие поведение металла (или другого материала) под действием приложенных внешних сил. Механические свойства определяются при статических и динамических испытаниях.

По способу приложения нагрузок различают статические испытания на растяжение, сжатие, изгиб, кручение, сдвиг и срез. Наиболее распространены испытания на растяжение (ГОСТ 1497-84).

К механическим свойствам обычно относят прочность, твердость, пластичность и ударную вязкость.

Прочность при растяжении определяется критерием, который называется *временным сопротивлением* или *пределом прочности*:

$$\sigma = P_{max} / F_0 ,$$

где σ – предел прочности, P_{max} – наибольшая нагрузка, предшествующая разрушению образца, F_0 – площадь поперечного сечения образца до разрушения.

Пластичность характеризуется *относительным удлинением δ и относительным сужением ψ* :

$$\delta = [(l_k - l_0) / l_0] 100 \%; \psi = [(F_k - F_0) / F_0] 100 \%,$$

где l_0 и F_0 – начальная длина и площадь поперечного сечения образца; l_k – конечная длина образца; F_k – площадь поперечного сечения в месте разрыва.

Твердость – это свойство поверхностного слоя материала сопротивляться упругой и пластической деформации или разрушению при местных контактных воздействиях со стороны другого, более твердого тела (индентора) определенной формы и размера. Индентор – тело правильной геометрической формы (шар, конус, трех- и четырехгранная пирамиды) изготавливается из прочных материалов: закаленной стали, твердого сплава или алмаза.

По характеру воздействия индикатора на поверхность испытуемого материала различают:

- способ вдавливания, понимая под твердостью сопротивление вещества внедрению в него индентора (методы определения твердости по Бриггеллю, Виккерсу, Роквеллу и др.);
- способ по отскоку наконечника – шарика, характеризующий упругие свойства материала (метод Шора);
- способ царапания поверхности характеризует сопротивление разрушению путем среза (метод Мооса).

Различают статические, статико-динамические и динамические методы измерения твердости.

Прочность и пластичность при динамических испытаниях оцениваются по **ударной вязкости**.

Под **ударной вязкостью** K_C , МДж/м² понимают работу удара K (МДж), отнесенную к начальной площади поперечного сечения S_0 (м²) образца в месте концентратора: $K_C = K / S_0$. Предусматриваются образцы с концентраторами трех видов (ГОСТ 9454-78): U с радиусом концентратора $R = 1$ мм, V с $R = 0,25$ мм и углом 45° и T – усталостная трещина. Соответственно ударная вязкость обозначается K_{CU} , K_{CV} и K_{CT} .

Основной критерий ударной вязкости является K_{CV} . Она состоит из двух составляющих:

$$K_{CV} = K_{C_3} + K_{C_p},$$

где K_{C_3} – работа зарождения трещины; $K_{C_p} \approx K_{CT}$ – работа распространения трещины. Чем острее надрез, тем меньше K_{C_3} . Критерий K_{CT} является критерием трещиностойкости, оценивающим сопротивление материала распространению трещины.

II. Технологические свойства

К технологическим свойствам относятся литейные свойства, обрабатываемость давлением, свариваемость, обрабатываемость резанием.

Наиболее важные **литейные свойства** сплавов: жидкотекучесть, усадка (линейная и объемная), ликвация, склонность к образованию трещин, склонность к поглощению газов и образованию газовых раковин и пористости в отливках и др.

Жидкотекучесть – это способность металлов и сплавов заполнять литейную форму и четко воспроизводить контуры отливки. Она зависит от температурного интервала кристаллизации, вязкости и поверхностного натяжения расплава, температуры заливки и формы, свойств литейной формы и др. Жидкотекучесть определяется по технологическим пробам: прутковой и спиральной. Наибольшей жидкотекучестью обладает серый чугун, наименьшей – магниевые сплавы.

Усадка – свойство литейных сплавов уменьшать объем при затвердевании и охлаждении. Различают линейную и объемную усадку, выражаемую в относительных единицах.

Линейная усадка – уменьшение линейных размеров отливки, %:

$$\varepsilon_{\text{лин}} = [(l_{\text{ф}} - l_{\text{от}}) / l_{\text{от}}] 100,$$

где $l_{\text{ф}}$ и $l_{\text{от}}$ – размеры полости формы и отливки при температуре 20⁰С. Она зависит от химического состава сплава, температуры заливки, скорости охлаждения, конструкции отливки и литейной формы.

Объемная усадка – уменьшения объема сплава при его охлаждении в литейной форме при формировании отливки. Объемную усадку определяют соотношением, %:

$$\varepsilon_{\text{об}} = [(V_{\text{ф}} - V_{\text{от}}) / V_{\text{от}}] 100,$$

где $V_{\text{ф}}$ и $V_{\text{от}}$ – объем полости формы и объем отливки при температуре 20⁰С. Объемная усадка приблизительно равна утроенной линейной усадке: $\varepsilon_{\text{об}} \approx 3 \varepsilon_{\text{лин}}$. Усадка в отливках проявляется в виде усадочных раковин, пористости, трещин и короблений.

Ликвация – это неоднородность химического состава по сечению отливки. Различают ликвацию по удельному весу и зональную ликвацию.

Обрабатываемость давлением – это способность металлов и сплавов изменять свою форму и размеры под действием внешних нагрузок как в нагретом, так и в холодном состоянии без разрушения сплошности. Обрабатываемость резанием определяется пластичностью материала.

Свариваемость – свойство металла или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее установленным требованиям, то есть давать прочное сварное соединение. Она оценивается соответствием свойств шва свойствам основного металла и несклонностью к образованию трещин, пор и шлаковых включений.

Обрабатываемость резанием – это способность металлов и сплавов подвергаться обработке резанием по ряду технологических показателей: скорости резания, силе резания и т.п.

III. Физические свойства

К физическим свойствам относятся плотность, температура плавления, электросопротивление, теплопроводность и др.

IV. Химические свойства

Под химическими свойствами понимают способность металлов и сплавов взаимодействовать с различными агрессивными средами (щелочной, кислотной).

V. Служебные или эксплуатационные свойства

Эксплуатационными называют свойства материала, которые определяют работоспособность деталей машин, приборов или инструментов, их силовые, скоростные, стойкостные и другие технико-эксплуатационные показатели. К эксплуатационным свойствам относятся хладостойкость, жаростойкость, жаропрочность, антифрикционные свойства, коррозионная стойкость и др.

Под *хладостойкостью* понимают способность материала сохранять достаточную вязкость при низких температурах (от 0 до -269°C).

Жаростойкость характеризует способность материала противостоять химической коррозии, развивающейся в атмосфере сухих газов при повышенной и высокой температуре.

Жаропрочность – это способность материала длительное время сопротивляться деформированию и разрушению при повышенных температурах (свыше $0,3 t_{\text{пл}}$).

Антифрикционные свойства характеризуют способность металлов и сплавов прирабатываться друг к другу. Антифрикционные свойства могут оцениваться таким критерием как антифрикционность. Антифрикционность – это способность материала обеспечивать низкий коэффициент скольжения и тем самым низкие потери на трение и малую скорость изнашивания сопряженных деталей.

Коррозионная стойкость – это способность металла противостоять электрохимической коррозии, которая развивается при наличии среды на поверхности металла и ее электрохимической неоднородности.

Кристаллическое строение металлов

Все металлы и их сплавы являются телами кристаллическими. Кристаллическое состояние прежде всего характеризуется определенным, закономерным расположением атомов в пространстве.

Металлы образуют в основном три типа решеток (рис. 1): объемно центрированную кубическую (R, Na, Li, Ti_β, Fe_α и др.), гранецентрированную

кубическую (Ca_α , Ce , Ag , Au , Cu , Fe_γ , Ni и др.) и гексагональную плотноупакованную (Mg , Ti_α , Zn , Ca_β и др.).

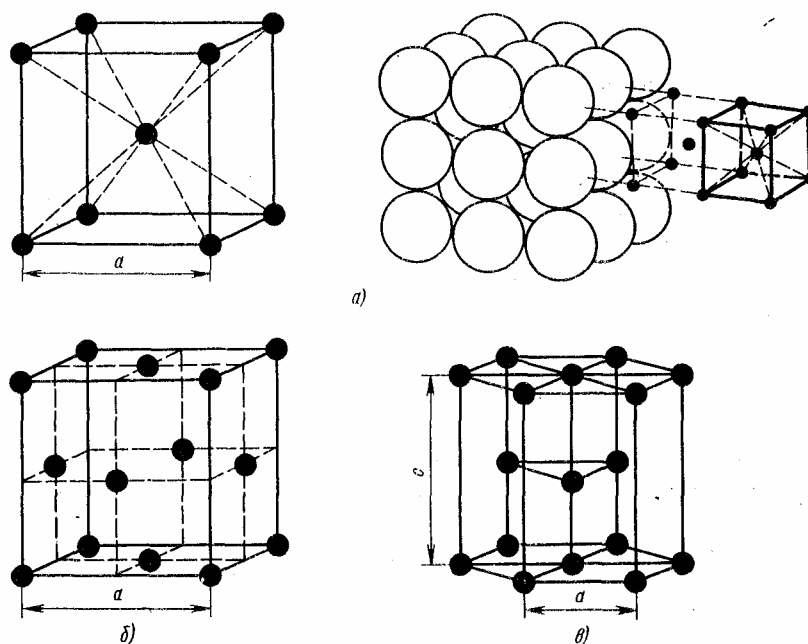


Рис.1. Кристаллические решетки металлов:

а – объемно центрированная кубическая (ОЦК); *б* – гранецентрированная кубическая (ГЦК); *в* – гексагональная плотноупакованная (ГПУ).

Объемно центрированная кубическая решетка. В элементарной ячейке такой решетки девять атомов (восемь – вершинах куба и один – в центре). Каждый угловой атом входит в восемь соседних ячеек, следовательно, на одну ячейку приходится $8 \cdot \frac{1}{8} + 1 = 2$ атома.

Гранецентрированная кубическая решетка. В элементарной ячейке такой решетки 14 атомов (8 – в вершинах и 6 – на гранях куба). Каждый угловой атом входит в восемь ячеек; каждый атом, находящийся в центре грани, входит в две соседние ячейки, в центре ячейки атома нет. Следовательно, на одну ячейку приходится $8 \cdot \frac{1}{8} + 6 \cdot \frac{1}{2} = 4$ атома.

Гексагональная плотноупакованная решетка. В элементарной ячейке такой решетки 16 атомов. Верхние центральные атомы входят в две соседние ячейки; атомы, образующие вершины призмы, входят в шесть соседних ячеек; атомы, лежащие внутри призмы, целиком принадлежат данной ячейке. Следовательно, на одну ячейку приходится $2 \cdot \frac{1}{2} + 12 \cdot \frac{1}{6} + 3 = 6$ атомов.

Элементарная кристаллическая ячейка характеризуется координационным числом, под которым понимают число атомов, находящихся на наиболее близком равном расстоянии от избранного атома.

В объемно центрированной кубической решетке (рис.2, а) атом А находится на наиболее близком равном расстоянии от восьми атомов, расположенных в вершинах куба, то есть координационное число этой решетки равно 8 (К8).

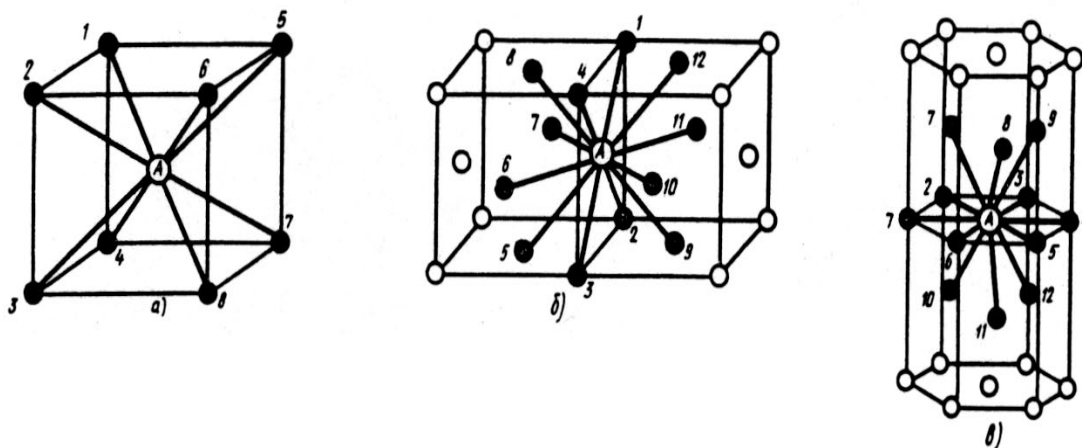


Рис.2 .Координационное число в различных кристаллических решетках для атома А:
 а - объемно центрированная кубическая (К8);
 б – гранецентрированная кубическая (К12);
 в - гексагональная плотноупакованная (Г12).

В гранецентрированной кубической решетке (рис.2, б) атом А находится на наиболее близком расстоянии от четырех атомов 1, 2, 3, 4, расположенных в вершинах куба, от четырех атомов 5, 6, 7, 8, расположенных на гранях куба, и от четырех атомов 9, 10, 11, 12, принадлежащих расположенной рядом кристаллической ячейке. Атомы 9, 10, 11, 12 симметричны 5, 6, 7, 8. Следовательно, для гранецентрированной кубической решетки координационное число равно 12 (К12).

В гексагональной плотноупакованной решетке (рис.2, в) атом А находится на наиболее близком расстоянии от шести атомов 1, 2, 3, 4, 5, 6, расположенных в вершинах шестигранника, и от трех атомов 7, 8, 9, расположенных в средней плоскости призмы. Кроме того, атом А находится на таком же расстоянии еще от трех атомов 10, 11, 12, принадлежащих кристаллической ячейке, лежащей ниже основания. Атомы 10, 11, 12 симметричны атомам 7, 8, 9. Таким образом, для гексагональной плотноупакованной решетки координационное число 12 (Г12).

Кристаллы металлов обычно имеют небольшие размеры, поэтому металлические изделия состоят из очень большого числа кристаллов. В процессе кристаллизации они приобретают неправильную форму. Кристаллы неправильной формы называются *зернами*, или кристаллитами.

В любом реальном кристалле всегда имеются дефекты строения. Дефекты строения подразделяются по геометрическим признакам на точечные, линейные и поверхностные.

Размеры *точечных дефектов* не превышают несколько атомных диаметров (рис.3). К точечным дефектам относятся *вакансии* (узлы кристаллической решетки, в которых отсутствуют атомы) и *межузельные атомы* (образуются в результате перехода атома из узла решетки в междоузлие). Такие дефекты вызывают местное искажение решетки.

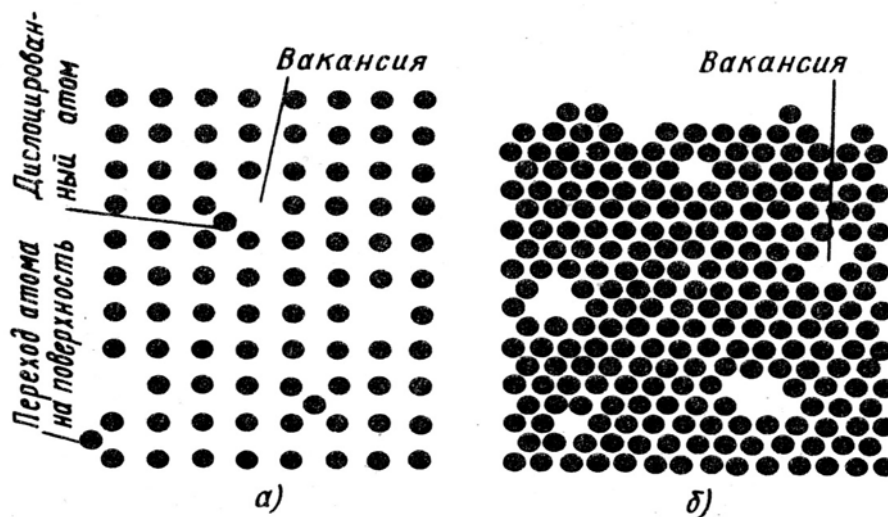


Рис.3. Точечные дефекты кристаллической решетки

Линейные дефекты имеют малые размеры в двух измерениях и большую протяженность в третьем измерении. К ним относятся *дислокации* – *краевые* и *винтовые*. Краевая дислокация представляет собой лишнюю незаконченную атомную плоскость (экстраплоскость), рис.4. Если экстраплоскость находится в верхней части кристалла, то краевую дислокацию считают положительной и обозначают \perp , а если в нижней части кристалла, то дислокация считается отрицательной и обозначается ∇ . При закручивании дислокации в спираль образуется винтовая дислокация.

Поверхностные дефекты представляют собой поверхности раздела между отдельными зернами или субзернами кристаллической решетки.

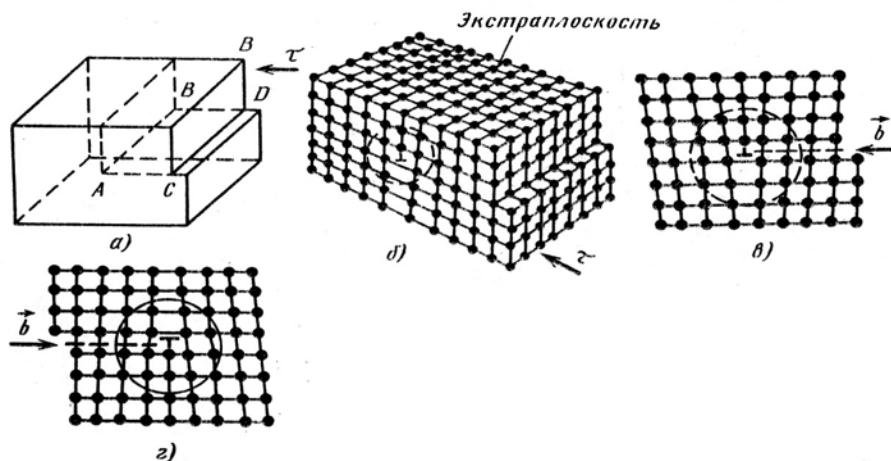


Рис.4. Краевые дислокации (τ – вектор сдвига):
 a – сдвиг, создавший краевую дислокацию;
 b – пространственная схема краевой дислокации;
 v, z – схемы расположения атомов у дислокаций

Основы теории сплавов

В промышленности широко применяются не металлы, а их сплавы. Под сплавом понимается вещество, получаемое сплавлением двух или более элементов. Различают следующие типы сплавов: механические смеси, твердые растворы и химические соединения.

Механическая смесь двух компонентов А и В образуется тогда, когда они неспособны к взаимному растворению в твердом состоянии и не вступают в химическую реакцию с образованием соединения, то есть силы притяжения между одноименными атомами преобладают над силами притяжения между разноименными атомами. Поэтому образуются зерна как компонента А, так и компонента В, и наблюдается сохранения их кристаллического строения.

Твердые растворы – это фазы, в которых один из компонентов сохраняет свою кристаллическую решетку, а атомы другого компонента располагаются в решетке первого компонента (растворителя), изменяя ее размеры, то есть твердый раствор состоит из двух или нескольких компонентов, имеющих один тип кристаллической решетки, и представляет собой одну фазу. Различают:

1) *твердые растворы внедрения* (атомы растворенного компонента располагаются в междоузлиях кристаллической решетки растворителя);

2) *твердые растворы замещения* (атомы растворенного компонента замещают часть атомов растворителя в его кристаллической решетки).

Твердые растворы замещения имеют большую растворимость, для увеличения растворимости необходимо соблюдать следующие условия:

- 1) одинаковый тип решетки компонентов;
- 2) разница атомных диаметров не должна превышать 8%, что снизит искажения кристаллического строения;
- 3) свойства компонентов должны быть близкими.

Химические соединения разнообразны, они имеют следующие характерные особенности: 1) образуется новая кристаллическая решетка, отличная от решеток компонентов, образующих соединение; 2) в соединении всегда сохраняется простое кратное соотношение компонентов (состав можно отразить формулой A_nB_m , где А и В – соответствующие элементы, n и m – простые числа); 3) свойства соединения резко отличаются от свойств образующих его компонентов.

Диаграммы состояния

Диаграмма состояния представляет собой графическое изображение состояния сплава.

Правило фаз. Общие закономерности сосуществования устойчивых фаз, отвечающих теоретическим условиям равновесия, могут быть выражены в математической форме, называемой *правилом фаз*, или *законом Гиббса*. Правило фаз дает количественную зависимость между степенью свободы системы и количества фаз и компонентов:

$$C = K + П - Ф$$

где С – число степеней свободы (вариантность), т.е. число внешних и внутренних факторов, которое может изменяться без изменения числа фаз в системе;

К – количество компонентов (веществ, образующих систему);

П – число внешних и внутренних факторов (температура, давление и концентрация), воздействующих на систему;

Ф – число фаз; фаза – это однородная часть системы, отделенная от других частей системы поверхностью раздела, при переходе через которую свойства изменяются скачкообразно.

Так как в дальнейшем мы будем рассматривать влияние температуры (охлаждение или нагрев системы), то правило фаз можно записать следующим образом:

$$C = K + 1 - Ф$$

Ниже представлены примеры построения кривых охлаждений с применением правила фаз для чистого металла А и твердого α -раствора.

Задача 1: Построить кривую охлаждения для чистого металла А (K=1).

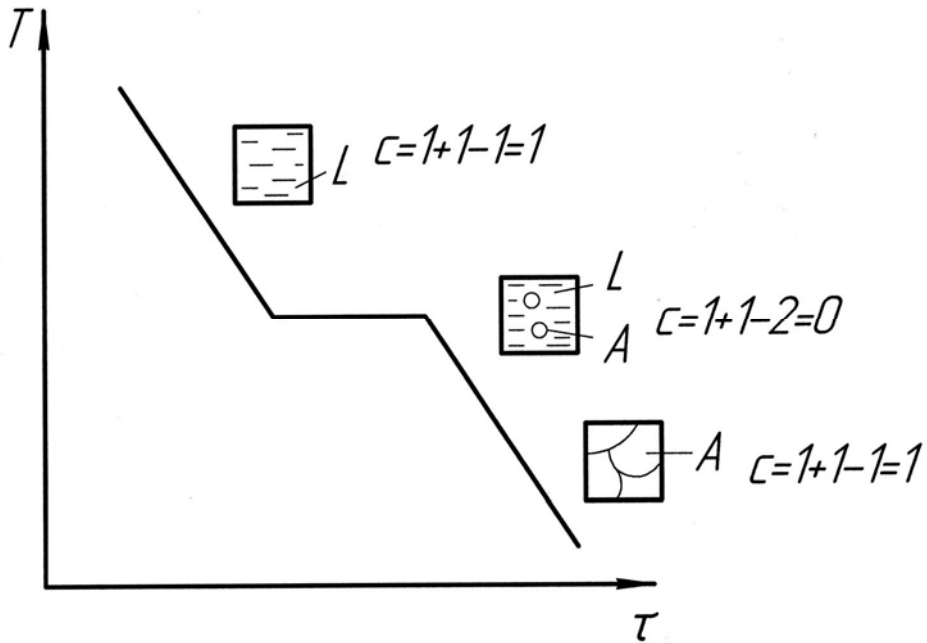


Рис.5. Кривая охлаждения чистого металла

Задача 2: Построить кривую охлаждения для твердого α -раствора, то есть сплава (K=2).

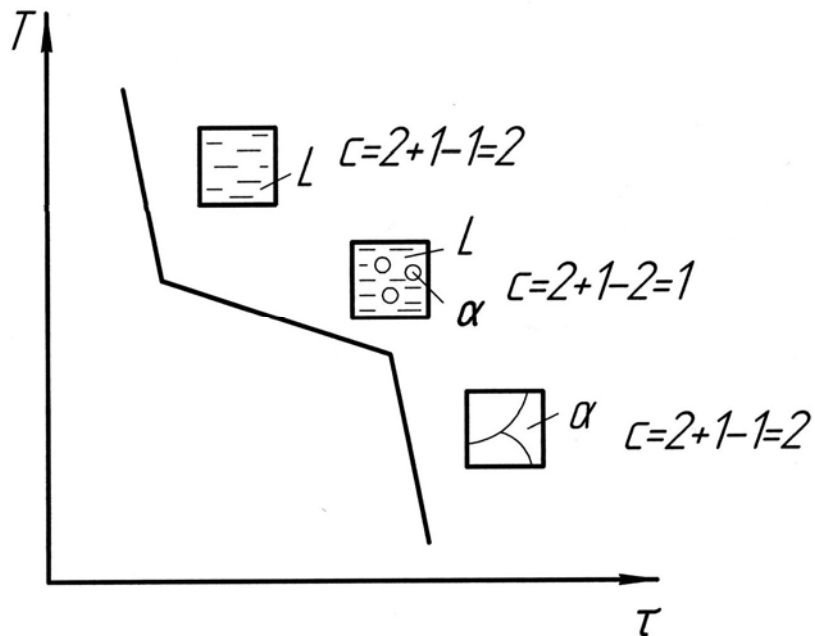


Рис.6. Кривая охлаждения сплава

Построение диаграмма состояния. Если залить в тигли сплавы, состоящие из двух компонентов А и В, причем концентрация в каждом тигле должна быть различной (от 100% А до 100% В), и провести термический анализ, то можно получить серию кривых охлаждения (рис.7).

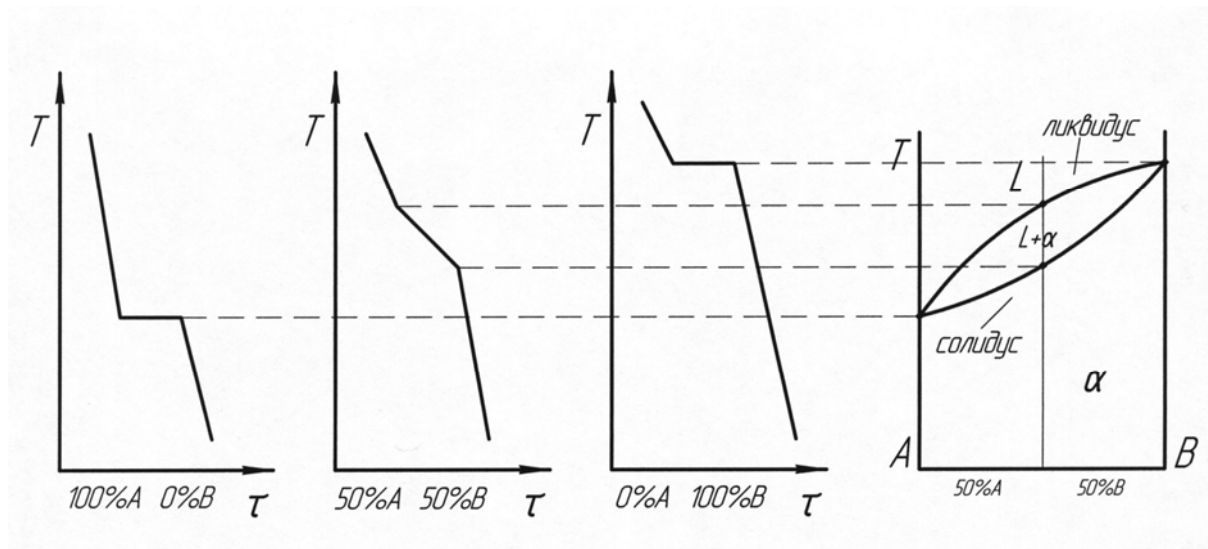


Рис.7. Построение диаграммы состояния двухкомпонентного сплава

Спроектировав точки начала и конца кристаллизации на оси температур и введя ось концентрации, можно получить *диаграмму состояния* (графическое изображение состояния сплавов).

Типы диаграмм состояния

Диаграммы состояния сплавов, образующих неограниченные твердые растворы. Оба компонента неограниченно растворимы в жидком и твердом состояниях и не образуют химические соединения, поэтому возможно существование только двух фаз – жидкого раствора L и твердого раствора α . Следовательно, трех фаз быть не может, кристаллизация при постоянной температуре не наблюдается, и горизонтальной линии на диаграмме нет. Диаграмма, изображенная на рис.8, как бы состоит из двух линий: верхняя линия отделяет жидкую фазу, являясь *линией ликвидус*, и нижняя линия отделяет твердую фазу, являясь *линией солидус*.

Диаграмма состояния сплавов, образующих неограниченные твердые растворы, состоит из трех областей: жидкость L , жидкость $L +$ твердый раствор α и твердый раствор α .

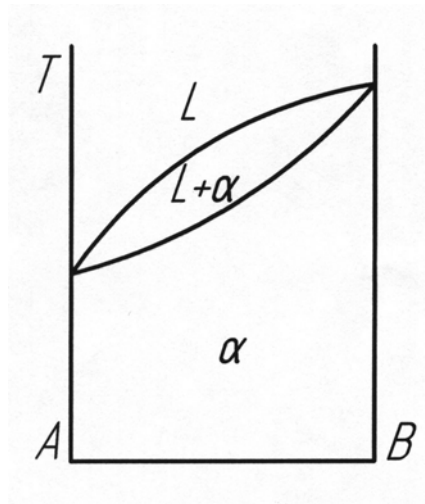


Рис.8. Диаграмма состояния сплавов, образующих неограниченные твердые растворы

Диаграммы состояния сплавов, образующих механические смеси из чистых компонентов. Оба компонента в жидком состоянии неограниченно растворимы, а в твердом состоянии нерастворимы и не образуют химических соединений. В этом случае диаграмма имеет вид, представленный на рис.9.

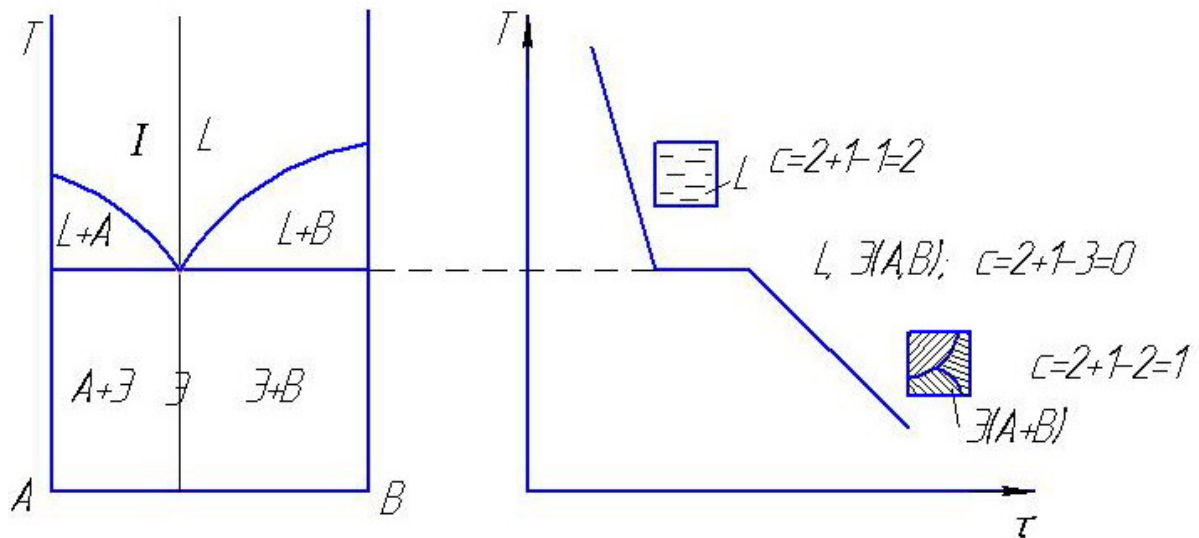


Рис.9. Диаграмма состояния и кривая охлаждения сплавов, образующих механические смеси из чистых компонентов

Сплав *I* при охлаждении до температуры кристаллизации затвердевает при одновременном выделении из жидкости кристаллов обоих компонентов А и В. В момент кристаллизации $c = 2 + 1 - 3 = 0$. Такой сплав, имеющий мелкокристаллическое строение и представляющий собой хорошо ор-

ганизованную механическую смесь с минимальной температурой плавления, называют *эвтектикой*.

Диаграммы состояния сплавов, образующих ограниченные твердые растворы. Оба компонента неограниченно растворимы в жидком состоянии, ограниченно в твердом и не образуют химических соединений.

В сплавах такого рода возможно существование: жидкой фазы L , жидкого раствора компонента B в A , который будет называться α -раствором, и (или) твердого раствора компонента A в B , который обозначается через β . В этих сплавах возможно неинвариантное равновесие при одновременном сосуществовании трех фаз: L , α и β ; в данном случае (рис.10): L , α и B . В зависимости от того, какая реакция протекает в условиях существования трех фаз, могут быть два вида диаграмм: диаграмма с эвтектическим превращением (рис.10) и диаграмма с перитектическим превращением (рис.11).

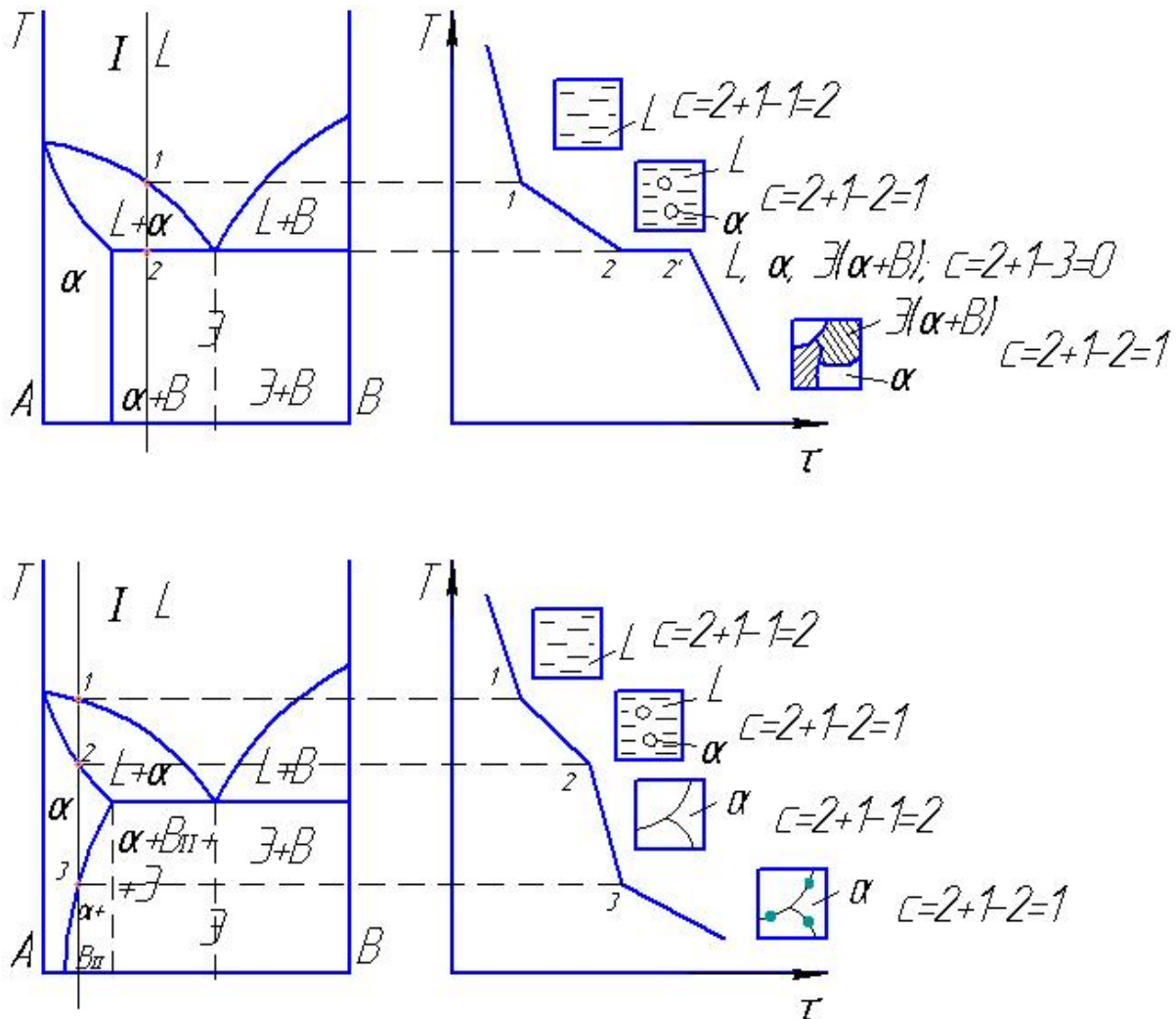


Рис.10. Диаграммы состояния и кривые охлаждения сплавов, образующих ограниченные твердые растворы с постоянной и переменной растворимостью

В отличие от верхней диаграммы, изображенной на рис.10, на диаграмме, представленной внизу рис.10, видно, что растворимость В в А с понижением температуры уменьшается. Это приводит к пересыщению раствор I , и из него должен выделиться избыточный компонент В. Кристаллы В, выделяющиеся из твердого раствора, называют *вторичными кристаллами* и часто обозначают символом, имеющим индекс II: в данном случае V_{II} . Процесс выделения вторичных кристаллов из твердой фазы носит название *вторичной кристаллизации*.

При эвтектическом превращении жидкость кристаллизуется с образованием двух твердых фаз. Возможен и другой тип неинвариантного превращения, когда жидкость реагирует с ранее выпавшими кристаллами и образуется новый вид кристаллов. Реакция подобного типа называется *перитектической* (рис.11).

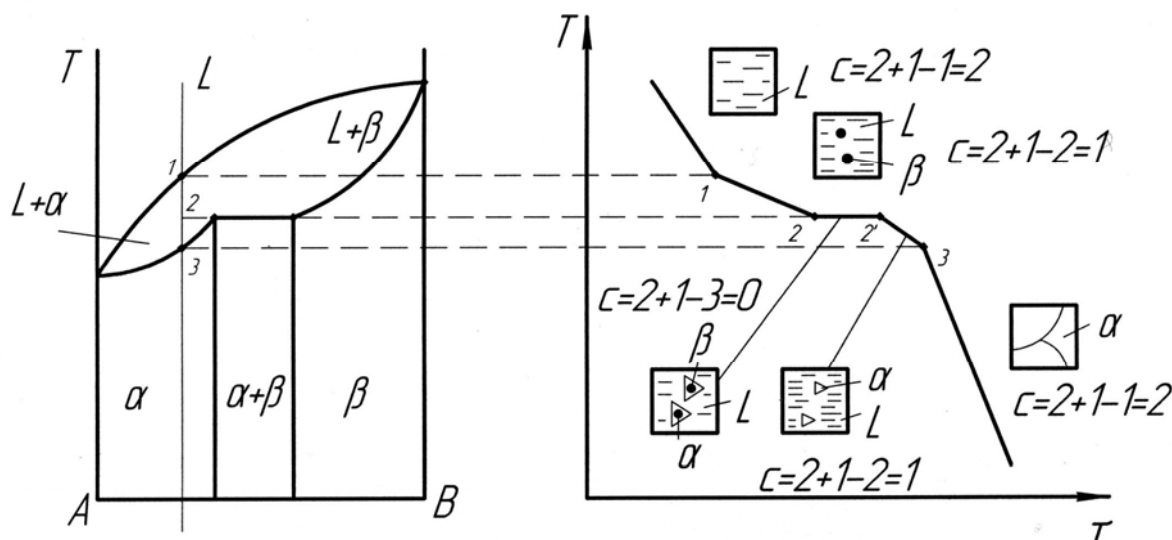


Рис.11. Диаграмма состояния и кривая охлаждения сплавов с перитектическим превращением

Диаграммы состояния сплавов, испытывающих полиморфные превращения. Вид диаграммы состояния зависит от соединений, образующихся между аллотропическими формами обоих компонентов. Если полиморфизм присущ обоим компонентам, и высокотемпературные модификации неограниченно растворимы друг в друге, а низкотемпературные - нерастворимы, то диаграмма состояния имеет вид, показанный на рис. 10.

Видно, что ниже некоторой температуры образовавшийся твердый раствор γ распадается в механическую смесь, которая подобна эвтектике, но образуется не из жидкой фазы, а из твердого раствора и называется *эвтектоидом*. В данном случае $\mathcal{E}_\delta = \alpha + \beta$.

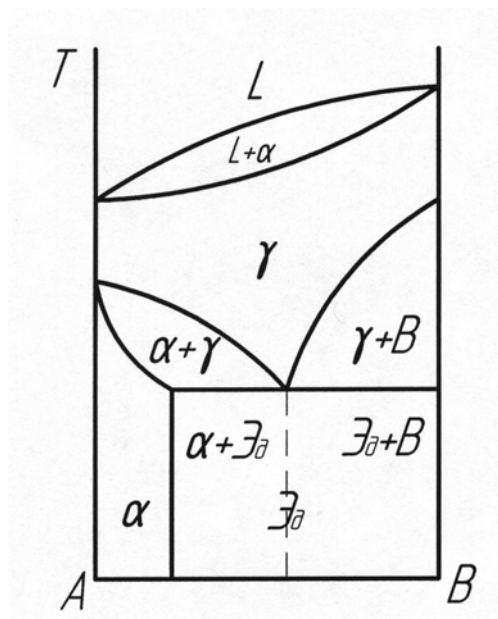


Рис. 12. Диаграмма состояния сплавов, испытывающих полиморфные превращения

Диаграммы состояния сплавов, образующих химические соединения. Такая диаграмма представлена на рис. 13. Данное химическое соединение A_nB_m устойчиво, поэтому может быть нагрето без разложения до своей температуры плавления. Химическое соединение A_nB_m плавится при постоянной температуре и можно рассматривать как однокомпонентную смесь.

Кристаллизация сплавов по этой диаграмме происходит совершенно аналогично кристаллизации сплавов, образующих диаграммы с ограниченной растворимостью. Отличие состоит в том, что кроме выделения кристаллов чистых компонентов А и В и кристаллов твердых растворов, происходит еще образование кристаллов химического соединения. Таким образом, диаграмма с химическим соединением представляет собой как бы приставленные одна к другой две простые диаграммы. Можно визуально разделить такую диаграмму на две части по вертикали, соответствующей химическому соединению, и изучать каждую часть диаграммы отдельно.

В данном случае (рис.13):

$$\alpha = A (A_nB_m), \gamma = A_nB_m (A), \beta = B (A_nB_m), \beta_1 = \alpha + \gamma; \beta_2 = A_nB_m + \beta.$$

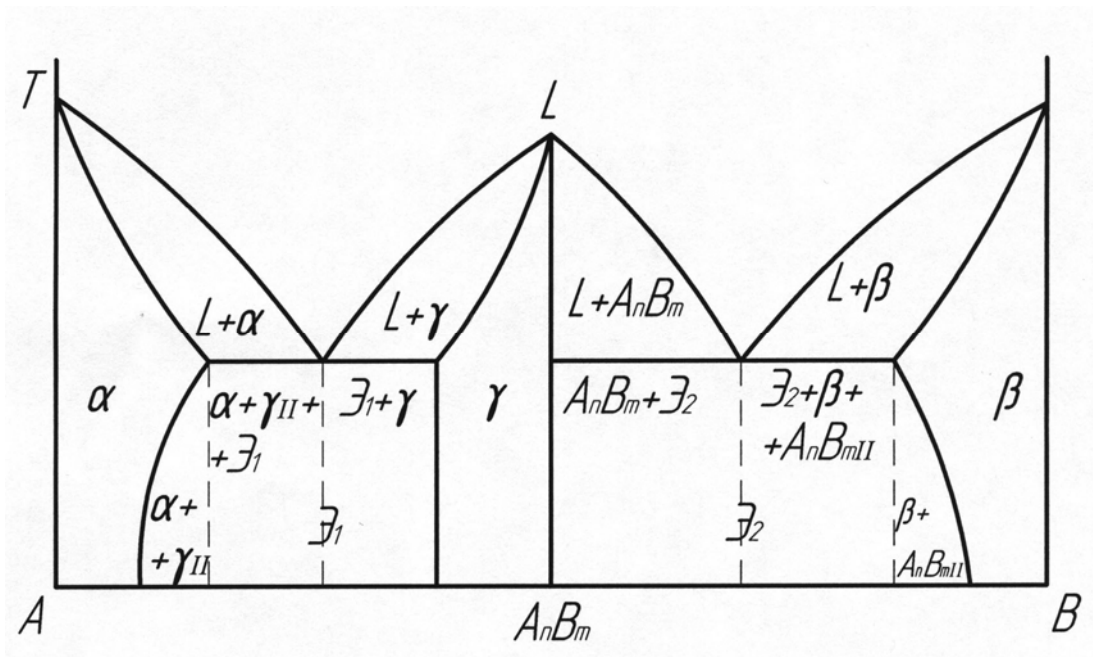


Рис.13. Диаграмма состояния сплавов, образующих химические соединения

Связь между видами диаграмм стояния и свойствами сплавов. Между составом и структурой сплава, определяемой диаграммой состояния и свойствами сплава, существует определенная зависимость.

Сплавы эвтектического состава отличаются средней прочностью и пластичностью, но исключительно хорошими линейными свойствами, так как имеют высокую жидкотекучесть и очень малую усадку (поскольку кристаллизуются при постоянной температуре).

Твердые растворы однородны, а потому имеют повышенную прочность и пластичность, ковки, но имеют очень высокое электросопротивление и плохие литейные свойства.

Химические соединения устойчивы, тверды, но чрезвычайно хрупки. Переход сплава в однофазное состояние повышает пластичность, распад твердого раствора – понижает ее.

Коррозионная стойкость высока у чистых металлов, ниже – твердых растворов и наименьшая – у механических смесей.

Диаграмма состояния железо-углерод

Диаграмма состояния железо-углерод в интервале концентрации от железа до цементита представлена на рис. 14.

Ось концентраций двойная: содержание углерода и содержание цементита. Линия $ABCD$ является ликвидусом системы, линия $AHJESCF$ – солидусом. Железо, кроме того, что образует с углеродом химическое соединение Fe_3C , имеет две аллотропические формы α и γ (до $911^\circ C$ ато-

мы железа образуют объемно центрированную кубическую решетку Fe_{α} , выше $911^{\circ}C$ гранецентрированную Fe_{γ}), поэтому в системе существуют следующие фазы:

жидкость (жидкий раствор углерода в железе) существует выше линии ликвидус и обозначается буквой L ;

цементит Fe_3C (линия $DFKL$) обозначается буквой $Ц$;

феррит - твердый раствор углерода в $Fe-\alpha$, обозначается буквой Φ ;

аустенит - твердый раствор углерода в $Fe-\gamma$, обозначается буквой A .

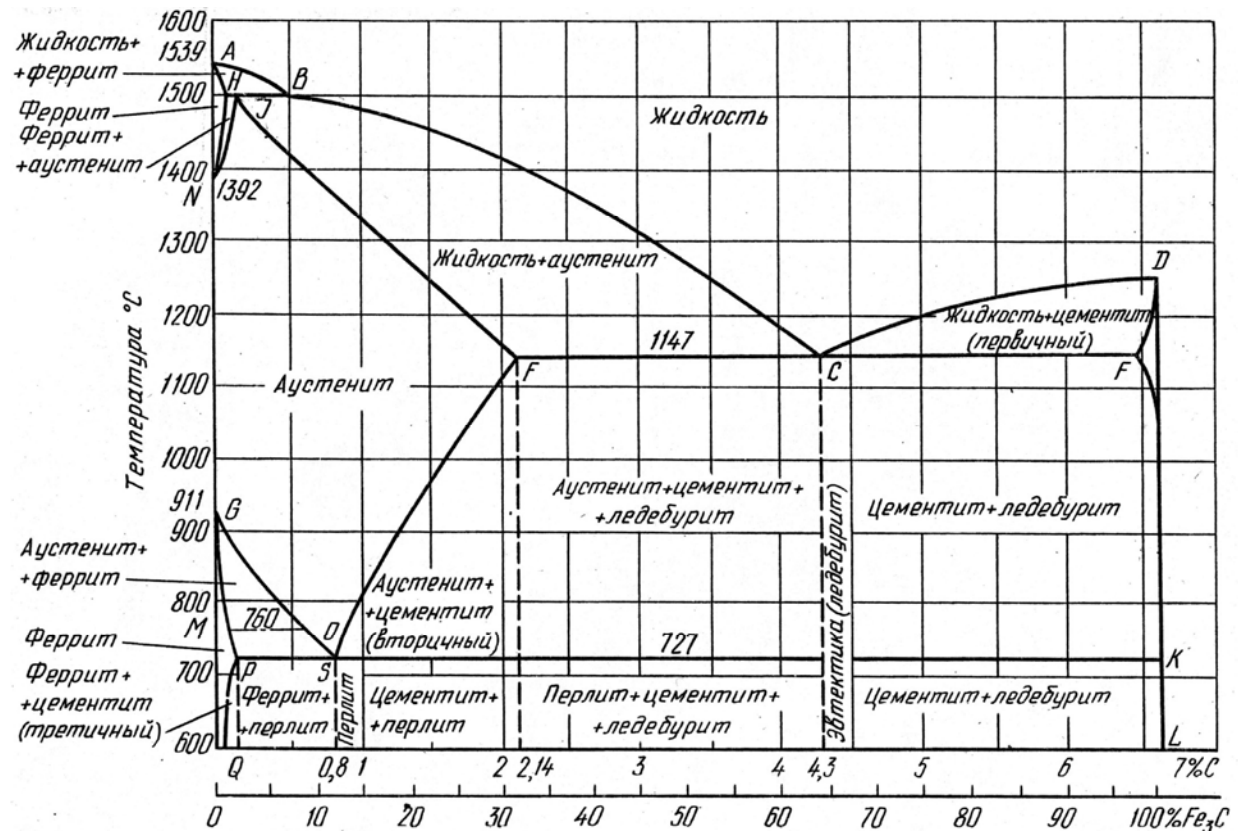


Рис. 14. Диаграмма состояния железо-углерод.

Область существования феррита расположена левее линии GPQ и AHN , а область существования аустенита – левее линии $NJESG$.

Три горизонтальные линии на диаграмме (HJB , ECF и PSK) указывают на протекание трех нонвариантных реакций.

1) При $1499^{\circ}C$ (линия HJB) протекает перитектическая реакция:
 $L_B + \Phi_H \rightarrow A_J$. В результате перитектической реакции образуется аустенит. Реакция эта наблюдается только у сплавов, содержащих углерода от 0,1 до 0,5 %.

2) При $1147^{\circ}C$ (горизонталь ECF) протекает эвтектическая реакция:
 $L_C \rightarrow A_E + Ц$. В результате данной реакции образуется эвтектическая смесь

аустенита и цементита, называемая *ледебуритом*. Эта реакция протекает у всех сплавов, содержащих более 2,14% углерода.

3) При 727°C (горизонталь *PSK*) протекает эвтектоидная реакция: $A_S \rightarrow \Phi_P + \text{Ц}$. В результате этой реакции образуется эвтектоидная смесь феррита и цементита, называемая перлитом.

Железоуглеродистые сплавы

Стали. Сплавы железа с углеродом, которые содержат до 2,14% углерода, называются сталями. В сталях, кроме феррита и цементита, имеется также эвтектоидная структурная составляющая пластинчатого строения - перлит; в сталях, содержащих до 0,025% углерода, перлитной составляющей нет.

По структуре в равновесном состоянии углеродистые стали разделяют на *доэвтектоидные* (содержащие менее 0,8 углерода), *эвтектоидные* (содержащие 0,8 углерода) и *заэвтектоидные* (содержащие более 0,8 углерода).

Доэвтектоидные стали после отжига имеют *структуру феррита и перлита*. Чем больше в доэвтектоидной стали углерода, тем больше в ее структуре перлита и тем выше прочность стали (одновременно с повышением прочности уменьшается пластичность). *Эвтектоидная сталь* после отжига состоит из *перлита*. Она прочная, твердая, но пластичность меньше, чем у доэвтектоидной. *Заэвтектоидные стали* после отжига имеют *структуру перлита и вторичного цементита*, который обычно располагается в виде сетки. При увеличении содержания углерода твердость заэвтектоидных сталей увеличивается, а прочность снижается из-за увеличения хрупкости. Именно поэтому на практике применяются стали содержащие менее 1,3% углерода.

Для повышения пластичности и улучшения обрабатываемости резанием заэвтектоидные стали подвергают специальному отжигу, при котором весь цементит выделяется в виде зерен. Эти зерна находятся в феррите. Такая зернистая смесь называется *зернистым перлитом*. Микроструктуры сталей приведены на рис.15.

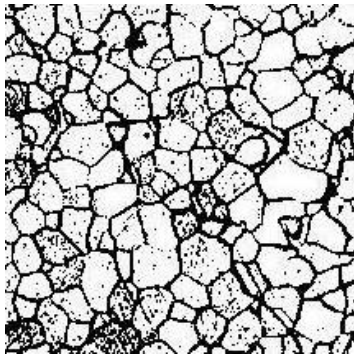
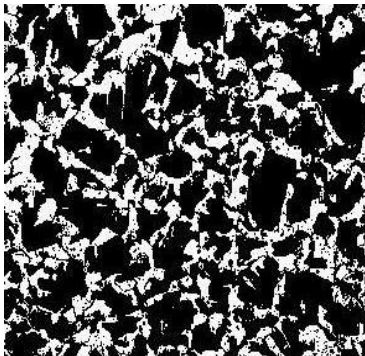
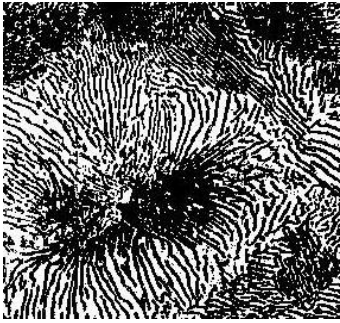
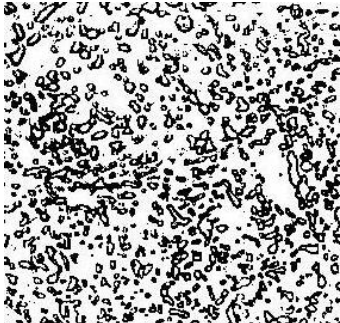

Армко-железо (феррит)		Доэвтектоидная сталь (феррит и перлит)	
			
Эвтектоидная сталь (пластинчатый перлит)	Эвтектоидная сталь (зернистый перлит)	Заэвтектоидная сталь (перлит и цементит)	
			

Рис.15. Микроструктуры углеродистых сталей

Чугуны. Сплавы железа с углеродом, которые содержат более 2,14% углерода, называются чугунами. Кроме углерода, чугуны содержат повышенное количество кремния, марганца, серы и фосфора. Углерод в чугуне может находиться в связанном виде - в виде цементита или в свободном - в виде графита.

Различают следующие виды чугунов (рис.16):

- 1) *белый чугун*, в котором весь углерод находится в связанном состоянии, в виде цементита;
- 2) *серый чугун*, в котором большая часть или весь углерод находится в свободном состоянии в виде пластинчатого графита;
- 3) *ковкий чугун*, в котором большая часть или весь углерод находится в свободном состоянии в виде хлопьевидного графита;
- 4) *высокопрочный чугун*, в котором большая часть или весь углерод находится в виде шаровидного графита.

Белые чугуны получают при ускоренном охлаждении и повышенном содержании марганца (свыше 1%). В белом чугуне весь углерод нахо-

дится в виде цементита (Fe_3C), поэтому этот чугун очень твердый и хрупкий. Структурные превращения происходят в соответствии с диаграммой Fe- Fe_3C . При кристаллизации белых чугунов образуется эвтектика - ледебурит. Как указывалось выше, ледебурит - это механическая смесь аустенита и цементита. Он образуется при температурах $1147^{\circ}C$; при $727^{\circ}C$ аустенит, входящий в состав ледебурита, превращается в перлит; ниже $727^{\circ}C$ ледебурит представляет собой смесь перлита и цементита.

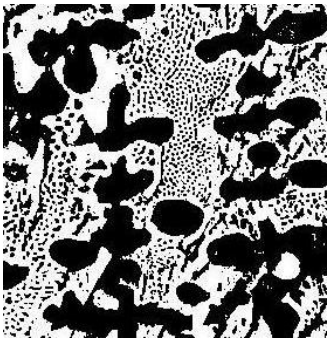
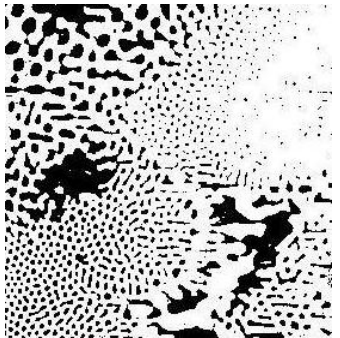
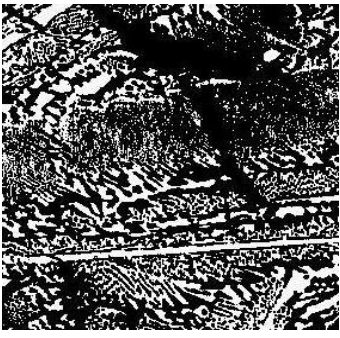

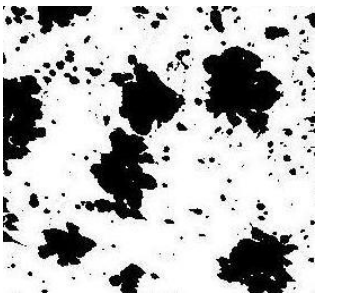
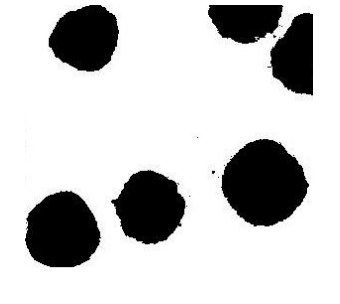
Доэвтектический белый чугун	Эвтектический белый чугун	Заэвтектический белый чугун
		
Серый чугун (металлическая основа и пластинчатый графит)	Ковкий чугун (металлическая основа и хлопьевидный графит)	Высокопрочный чугун (металлическая основа и шаровидный графит)
		

Рис.16. Микроструктуры чугунов

По содержанию углерода белые чугуны делятся на доэвтектические (2 - 4,3%), эвтектические (4,3%) и заэвтектические (больше 4,3%). Доэвтектические белые чугуны имеют структуру, состоящую из перлита, вторичного цементита и ледебурита. Чем больше углерода в доэвтектическом чугуне, тем больше содержание ледебурита. Эвтектический белый чугун состоит только из ледебурита. Заэвтектический чугун состоит из крупных

пластин первичного цементита и ледебурита. Чем больше углерода в заэвтектическом чугуна, тем больше он содержит первичного цементита.

Свойства чугуна определяются структурой металлической основы и формой графита.

Металлическая основа серого, ковкого и высокопрочного чугунов бывает ферритной (наименее прочные чугуны), феррито-перлитной, перлитной (наиболее прочные чугуны).

Серый чугун получается при медленном охлаждении и повышенном содержании кремния (до 3%). Свойства серого чугуна зависят от количества и формы графита и структуры металлической основы. Графит выделяется в виде пластин, такие включения являются внутренними надрезами, которые значительно снижают прочность чугуна. Прочность серых чугунов на растяжение находится в пределах 100 - 350 МПа (ГОСТ 1412-85).

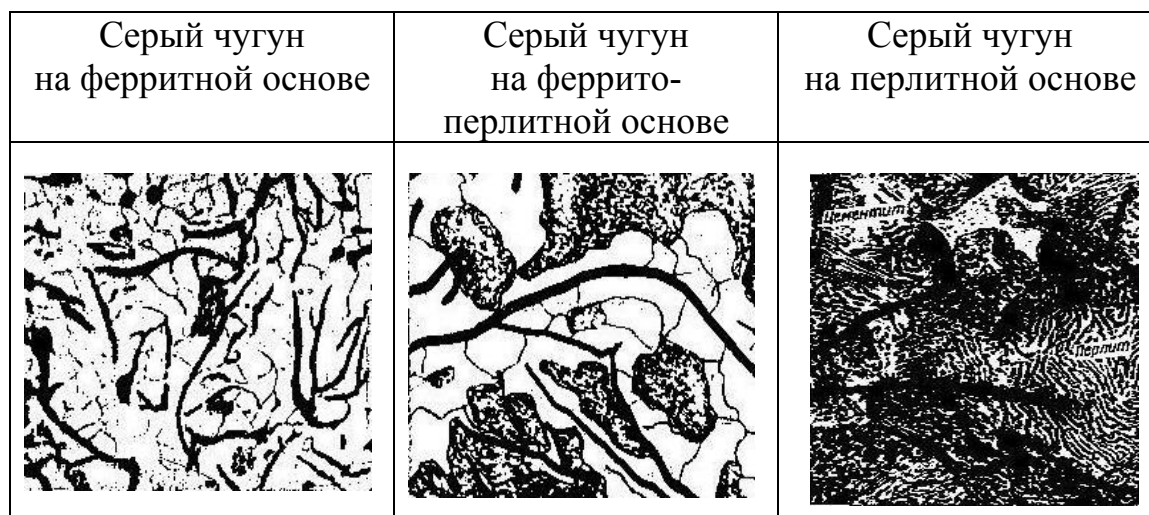


Рис.17. Микроструктуры серых чугунов

Ковкий чугун получают при длительном нагреве при высоких температурах (отжиг 900 - 1000°C) отливок из белого чугуна. При этом цементит распадается и образуется графит хлопьевидной формы. Такой графит по сравнению с пластинчатым значительно меньше снижает прочность и пластичность металлической основы.

Прочность ковкого чугуна может меняться от 300 до 800 МПа (ГОСТ 26358-87). Кроме того, ковкий чугун более пластичен, чем серый. Относительное удлинение равно 2-15%.

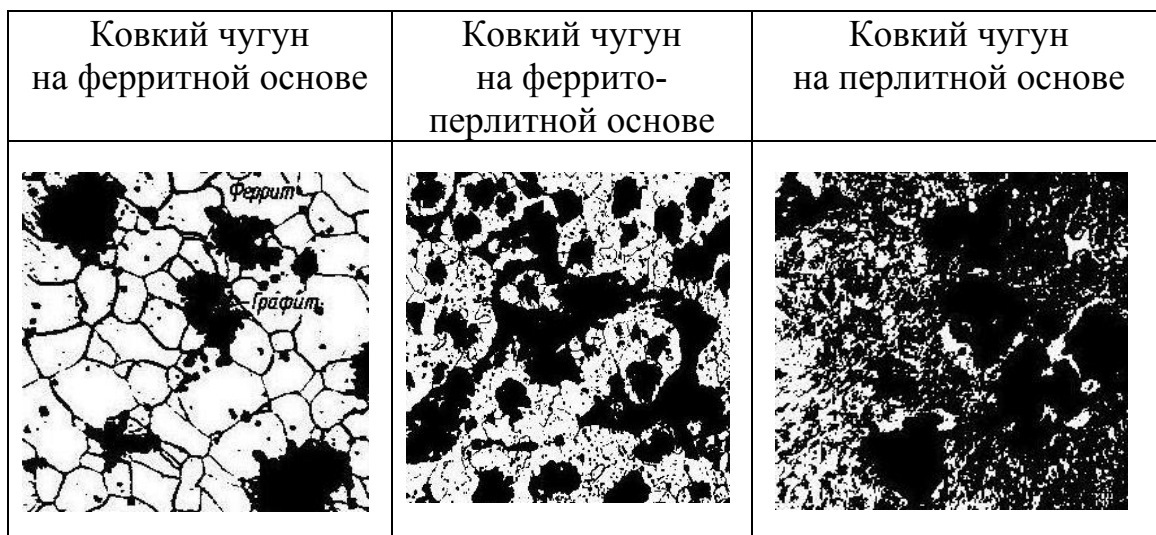


Рис.18. Микроструктуры ковких чугунов

Высокопрочный (модифицированный) чугун получают при модифицировании серых чугунов. Перед разливкой в чугун добавляют небольшое количество магния или церия (в количестве 0,03 - 0,08 % от массы обрабатываемого чугуна). Под воздействием этих элементов графит при кристаллизации принимает шаровидную форму. Шаровидный графит меньше ослабляет металлическую основу и обеспечивает высокие механические свойства. Прочность этого чугуна $\sigma_B = 350 - 1000$ МПа (ГОСТ 7293-85).

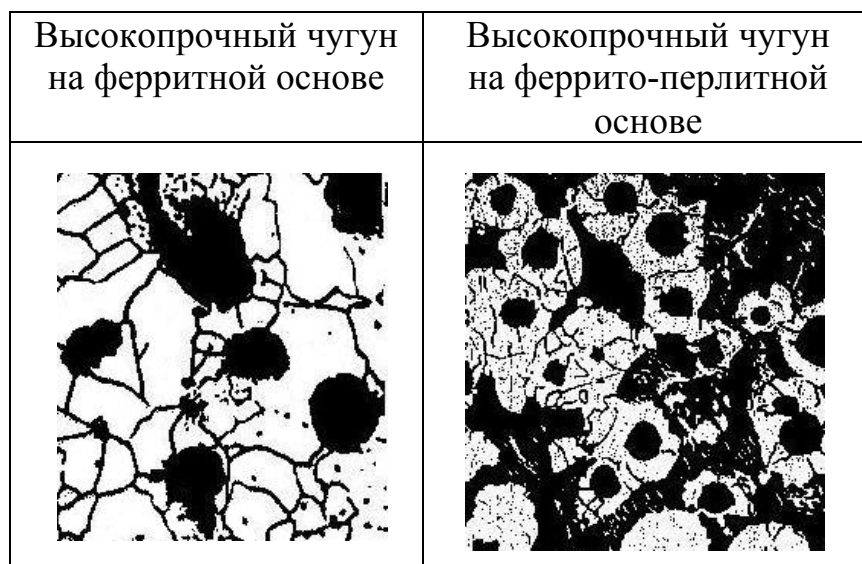


Рис.19. Микроструктуры высокопрочных чугунов

Основы термической обработки стали

Цель любого процесса термической обработки состоит в том, чтобы нагревом до определенной температуры и последующим охлаждением вызвать желаемое изменение строения металла, в результате которого изменятся и свойства. Проведение термической обработки (ТО) можно свести к трем этапам: нагрев, выдержки и охлаждения; определяющими являются температура нагрева и скорость охлаждения.

Основные виды ТО – отжиг, закалка, отпуск и старение. Каждый из указанных видов имеет несколько разновидностей.

Отжиг – термическая обработка, в результате которой металлы и сплавы приобретают структуру, близкую к равновесной; при этом происходит разупрочнение, сопровождающееся повышением пластичности и снятием остаточных напряжений.

Закалка - термическая обработка, в результате которой в сплавах образуется неравновесная структура: осуществляют нагрев выше критических температур, выдержку при этих температурах с последующим быстрым охлаждением.

Отпуск и старение – термические обработки, результате которых в предварительно закаленных металлах происходят превращения, приближающие их структуру к равновесной.

Фазовые превращения в сплавах железа. Основные фазовые превращения, влияющие на структуру и свойства сталей:

- 1) превращения при нагреве до аустенитного состояния – фазовая перекристаллизация;
- 2) превращения аустенита при различных условиях охлаждения;
- 3) мартенситное превращение;
- 4) превращения при отпуске.

Аустенитное превращение (превращение перлита в аустенит) состоит из двух параллельно идущих процессов: полиморфного $\alpha \rightarrow \gamma$ превращения и растворения в Fe_γ углерода цементита. Первые зерна аустенита образуются на границе зерен между ферритом и цементитом – структурными составляющими перлита. Переход через критическую точку A_1 сопровождается резким уменьшением зерна, но дальнейший нагрев (или выдержка) вызывает рост аустенитных зерен.

В технологических процессах ТО *распад аустенита* (перлитное превращение) происходит в условиях непрерывного охлаждения и иногда изотермически (при постоянной температуре). Процессы распада переохлажденного аустенита подразделяются на два типа: перлитное и промежуточное, или бейнитное (диффузионные); мартенситное (бездиффузионное). На C – образной диаграмме нанесены две кривые, указывающие время начала и конца превращения переохлажденного аустенита. В области диаграммы,

расположенной левее линии начала превращения, существует переохлажденный аустенит; между линиями начала и конца превращения находится область, в которой непосредственно и происходит превращение; правее линии конца превращения – область, в которой существуют продукты превращения аустенита. Устойчивость аустенита зависит от степени переохлаждения.

Превращение аустенита при температурах в интервале $A_{r1} - 550^{\circ}\text{C}$ называется перлитным, а превращение при температурах в интервале $550^{\circ}\text{C} - M_n$ - промежуточным. В интервале температур перлитного превращения в результате распада аустенита образуются пластинчатые структуры перлитного типа. В зависимости от дисперсности продукты распада имеют следующие названия:

- 1) грубопластинчатые структуры с размером пластинок $\Delta_0 \approx (0,5 \dots 0,7) \cdot 10^{-3}$ мм называются *перлитом* (превращение при $670^{\circ}\text{C} - 650^{\circ}\text{C}$),
- 2) при $\Delta_0 \approx 0,25 \cdot 10^{-3}$ мм – *сорбит* (превращение при $640^{\circ}\text{C} - 590^{\circ}\text{C}$),
- 3) при $\Delta_0 \approx 0,1 \cdot 10^{-3}$ мм – *троостит* (превращение при $580^{\circ}\text{C} - 550^{\circ}\text{C}$).

Указанное деление условно: перлит, сорбит и троостит имеет одну и ту же природу – ферритно-цементитная смесь.

В интервале температур промежуточного превращения ($550^{\circ}\text{C} - M_n$) аустенит распадается с образованием структур, называемых *бейнитом*. Сущность превращения заключается в следующем. При температурах ниже 550°C скорость превращения аустенита замедляется: при этом самодиффузия атомов железа практически не происходит, но атомы углерода еще достаточно подвижны. Происходит диффузионное распределение атомов углерода и участки аустенита, обогащенные углеродом, превращаются в цементит, но превращение обедненного углеродом аустенита происходит по сдвиговому механизму путем возникновения и роста зародышей феррита. Образующиеся при этом структуры имеют игольчатую форму. Дисперсность кристаллов феррита и цементита зависит от температуры превращения: толщина пластинок $\Delta_0 \approx 0,12 \cdot 10^{-3}$ мм образуется при $550^{\circ}\text{C} - 350^{\circ}\text{C}$ (*верхний бейнит*, он имеет перистое строение – вид резаной соломы); $\Delta_0 \approx 0,08 \cdot 10^{-3}$ мм – при более низких температурах (*нижний бейнит*, он имеет игольчатое – пластинчатое строение).

Мартенситное превращение начинается при переохлаждении аустенита ниже линии M_n ; малейшая изотермическая задержка в интервале температур от M_n до M_k приведет к стабилизации аустенита, а это значит, что превращение до конца не доходит, и в структуре кроме мартенсита образуется большое количество остаточного аустенита.

Мартенсит – неравновесная фаза - многократно пересыщенный твердый раствор углерода в α - железе, образующийся при резком переохлаждении аустенита (охлаждение со скоростями выше критических). Возникают сильнейшие искажения кристаллической решеткой, дислокации блокиру-

ются почти полностью, атомы углерода «заклинены» внутри пересыщенного раствора, что превращает кристаллическую решетку из кубической в вытянутую тетрагональную, образуется игольчатая структура - мартенсит. На температуры M_H и M_K помимо содержания углерода существенно влияют растворенные в углероде легирующие элементы (большинство из них понижают температуры M_H и M_K). Свойства мартенсита зависят от количества растворенного в нем углерода: с повышением содержания углерода до 0,6% твердость мартенсита растет, а затем остается постоянной, т.е. мартенсит имеет высокую твердость, равную или превышающую 60HRC.

Превращения при отпуске состоят в том, что мартенсит закаленной стали, будучи неустойчивым, уже при невысоких нагревах, усиливающих колебания кристаллической решетки, начинает распадаться, в результате чего образуется механическая смесь феррита и цементита. Степень дисперсности данных структурных составляющих будет зависеть от температуры и длительности нагрева. По степени нагрева превращения принято делить на три стадии:

1) Превращения при $150 - 200^{\circ}\text{C}$ сопровождается лишь перераспределением углерода в мартенсите, мартенсит обедняется углеродом и понижается степень тетрагональности, но также образуются зародыши ϵ – карбидной фазы ($\text{Fe}_{2,4}\text{C}$); такая смесь неоднородного мартенсита с пластинками ϵ – карбида называется *мартенситом отпуска*.

2) Нагрев до $200 - 300^{\circ}\text{C}$ приводит к растворению ϵ – карбида и появлению быстро растущих частичек Fe_3C , что сопровождается снятием внутренних напряжений, возникающих в результате предыдущих превращений, сопровождающихся объемными изменениями. Образовавшаяся при этом структура называется *трооститом отпуска*.

3) Дальнейшее повышение температуры (выше 400°C) сопровождается коагуляцией частиц феррита и цементита и их быстрым ростом; данная структура называется *сорбитом отпуска*.

Основным отличием структур типа троостита и сорбита является сфероидальная форма частиц цементита в структурах отпущенной стали, в то время как у структур после распада аустенита форма частиц пластинчатая.

Закалка и отпуск стали

При закалке сталь нагревают до аустенитного или аустенитно-карбидного состояния, выдерживают в течение времени, необходимого для завершения фазовых превращений, и охлаждают со скоростью выше критической для получения мартенситной структуры.

В зависимости от температуры нагрева различают полную и неполную закалку: 1) полная закалка – это нагрев выше A_3 и A_{CT} на $30 - 50^{\circ}\text{C}$, выдержка и быстрое охлаждение; 2) неполная закалка – это нагрев выше A_1 на

30 – 50⁰С, выдержка и быстрое охлаждение.

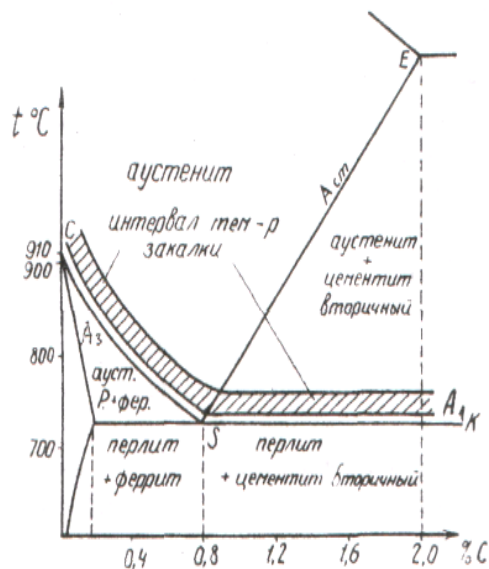


Рис. 20. Участки диаграммы Fe-Fe₃C
(нанесены температуры закали)

Полная закалка применяется только для доэвтектоидных сталей. Микроструктура после полной закалики этих сталей будет состоять из мелкоигольчатого мартенсита и небольшого количества остаточного аустенита. Тогда как неполная закалка доэвтектоидных сталей приведет не только к образованию мелкоигольчатого мартенсита, но и сохранению ферритной составляющей, что недопустимо (в виду снижения твердости) и является браком, так как сталь, имеющая такую структуру, будет мягкой и недостаточно прочной.

Микроструктура заэвтектоидных сталей после полной закалики состоит из крупноигольчатого мартенсита и повышенного количества остаточного аустенита. Это объясняется тем, что нагрев этих сталей до температур, на 30 - 50 °С превышающих линию A_{СТ}, приводит к сильному росту зерна аустенита и увеличению содержания углерода в аустените (за счет растворенного цементита). Большое зерно аустенита приводит к получению крупноигольчатого мартенсита, а повышенное содержание углерода в аустените - к получению большого процента остаточного аустенита вследствие снижения температуры точек M_Н и M_К. Наличие большого количества остаточного аустенита ведет к снижению твердости, крупное зерно - к снижению ударной вязкости, а отсутствие включений цементита - к снижению износостойкости.

При неполной закалке заэвтектоидную сталь нагревают до температур между линиями A_{CT} и A_1 , т.е. до двухфазного состояния аустенит плюс цементит. При последующем охлаждении аустенит превратится в мартенсит. Цементит должен быть в виде мелких равномерно распределенных по объему зернышек. Это можно обеспечить предварительной термической обработкой - отжигом на зернистый перлит. Если же перед закалкой микроструктура стали состояла из пластинчатого перлита и замкнутой сетки цементита, то после неполной закалки сетка цементита сохраняется. Сталь, имеющая в своей структуре мартенсит, остаточный аустенит и замкнутую сетку цементита, будет хрупкой. Таким образом, для заэвтектоидных сталей следует рекомендовать неполную закалку как обеспечивающую более высокие эксплуатационные свойства и экономически более выгодную.

Закалка стали сопровождается увеличением объема, что вызывает появление значительных внутренних напряжений, которые могут вызывать коробление изделий и появление трещин. Поэтому закаленные изделия всегда подвергают отпуску. При отпуске сталь нагревают ниже линии A_1 выдерживают при этой температуре и охлаждают (обычно на воздухе или в масле). В зависимости от температуры различают низкий, средний и высокий отпуск.

Низкий отпуск (120 - 250 °C) применяют для инструментов, цементованных, цианированных изделий, которым необходимы высокая твердость (60 - 65 HRC) и износостойкость.

Средний отпуск (350 - 450 °C) на отпущенный троостит применяют для стальных пружин, рессор и упругих элементов приборов, которые в работе должны сочетать свойства высокой упругости, прочности и достаточной вязкости. Твердость троостита отпуска составляет 40 – 45 HRC.

Высокий отпуск (500 - 600 °C) на сорбит отпуска широко, применяется к изделиям из машиностроительных сталей, содержащих от 0,35 до 0,5% углерода. Твердость данной структуры – 30 – 40 HRC.

Двойная операция (закалка с высоким отпуском) называется улучшением, так как после такой термической обработки сталь приобретает наиболее благоприятное сочетание механических свойств: высокую вязкость и пластичность.

Особенности термической обработки дюралюмина

Дюралюминий (дюралюмин) – сплав шести компонентов: алюминия, меди, магния, марганца, кремния и железа. Указанный сплав можно причислить к сплавам системы Al – Cu – Mg, кремний и железо являются постоянными примесями. Перечисленные компоненты образуют ряд растворимых соединений ($CuAl_2$, фаза S, Mg_2Si) и нерастворимых соединений

(железистые и марганцовистые соединения). Структура дюралюмина в отожженном состоянии состоит из твердого раствора и вторичных включений различных интерметаллидных соединений.

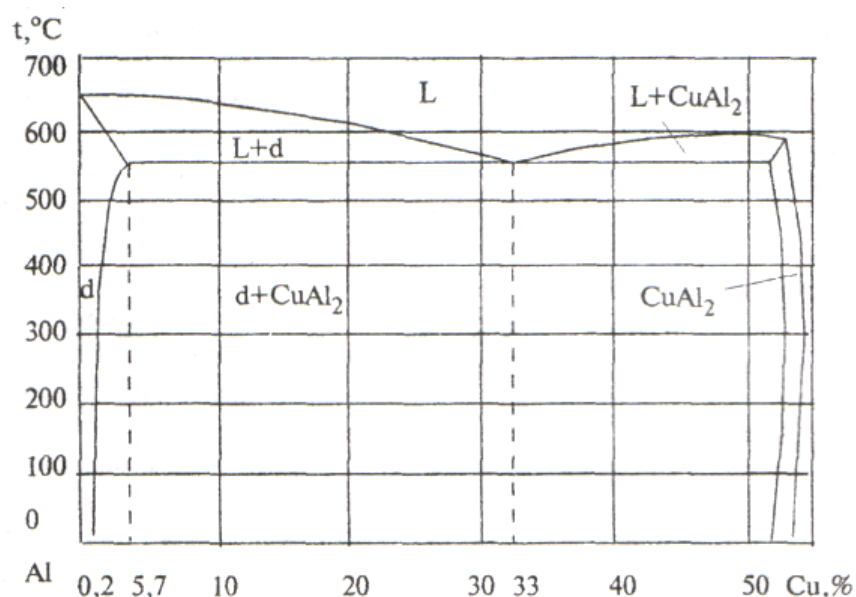


Рис. 21. Диаграмма состояния сплавов Al – Cu

Дюралюмин относится к сплавам, которых не происходят полиморфные превращения при нагреве. Поэтому они могут подвергаться упрочняющей термической обработки, состоящей из закалки с последующим естественным и искусственным старением:

После закалки с оптимальных температур (500⁰С) основное количество соединений CuAl₂ и Mg₂Si растворяется в алюминии, соединения железа не растворяются. Поэтому в закаленном состоянии структура состоит из алюминиевого твердого раствора (пересыщенного α – раствора) и нерастворимых включений соединений железа. Такая структура будет отличаться большей пластичность, но меньшей твердостью и прочностью, т.е. в результате закалки дюралюмин становится мягким и пластичным. Старению предшествует 2...3 – часовой инкубационный период, в течение которого сплав сохраняет высокую пластичность. Но полученный в результате закалки α – раствор является неустойчивым. Выдержка при комнатной температуре (естественное старение) или при искусственном повышении температуры (искусственное старение) приводит к изменениям в твердом растворе, ведущем в конечном итоге к выделению соединений (в сплавах дополнительно легированных магнием также выделяется S – фаза – CuMgAl₂).

Дюралюмины после закалки подвергают естественному старению, так как оно обеспечивает получение более высокой коррозионной стойкости, но естественное старение продолжается в течение 5 – 7 суток. Длительность старения значительно сокращается при увеличении температуры до 40⁰С о

особенно 100⁰С, температура искусственного старения различных алюминиевых сплавов колеблется от 20⁰С до 200⁰С.

Легированные стали

Влияние легирующих элементов:

1. Легирующие элементы, растворяясь в феррите, изменяют параметры решетки и повышают твердость, снижая пластичность. Однако никель, интенсивно упрочняя феррит, не снижает его вязкость и понижает порог хладноломкости.

2. Все легирующие элементы при нагреве сдерживают рост зерна аустенита, т.е. способствуют образованию мелкозернистой структуры; кроме марганца и бора.

3. Все легирующие элементы расширяют область существования α - железа, т.е. являются α – стабилизаторами. Исключение: марганец и никель – γ - стабилизаторы.

4. Все легирующие элементы, растворяясь в аустените, замедляют диффузию углерода, что замедлит распад аустенита и повышают прокаливаемость стали. Исключение: кобальт.

5. Легирующие элементы не влияют на кинематику мартенситного превращения, их влияние сказывается на температурном интервале мартенситного превращения. Некоторые элементы повышают мартенситную точку и уменьшают количество остаточного аустенита (алюминий, кобальт), другие не влияют на нее (кремний), но большинство снижает мартенситную точку и увеличивает количество остаточного аустенита.

6. Легирующие элементы замедляют процесс распада мартенсита. Никель и марганец влияют незначительно, тогда как большинство (хром, молибден, кремний и др.) – весьма заметно, что позволит поднять температуру отпуска и увеличит его продолжительность.

Классификация легированных сталей:

I. Конструкционные стали:

1. стали общего назначения:

- 1) *цементуемые* – 15ХН, 12Х2Н4А, 18ХГТ;
- 2) *улучшаемые* – 35ХГСА, 38ХМЮА, 40ХН, 45Х;
- 3) *высокопрочные* – Н18К9М5Т, Н9Х12Д2ТБ, 30Х9Н8М4Г2С2;

2. специализированного назначения:

- 1) *шарикоподшипниковые* – ШХ9, ШХ15, ШХ15СГ;
- 2) *рессорно-пружинные* – 50С2, 50ХГСФА, 60С2Н2А;
- 3) *износоупорные* – 110Г13, Х12Ф1;

II. Строительные стали – 15ХСНД, 17ГС, 18Г2АФ;

III. Инструментальные стали:

1. режущие стали – X, ХВГ;
2. быстрорежущие – Р18, Р6М5;
3. штамповые стали:
 - 1) для штампов холодного деформирования – Х12Ф1, Х6ВФ;
 - 2) для штампов горячего деформирования – 5ХНМ, 3Х2В8Ф;

IV. Стали и сплавы с особыми свойствами:

1. нержавеющие стали – 12Х13, 12Х18Н10Т, 15Х25Т;
2. жаропрочные стали – 12Х2МФБ, Х10С2М, Х25Н20С2;
3. с особыми магнитными свойствами:
 - 1) ферромагнитные – ЮНДК15, 80ХНС;
 - 2) парамагнитные – 110Г13, 55Г9Н9;
4. с особыми электротехническими свойствами – 79ХН, 1211, 3411;
5. с особыми тепловыми и упругими свойствами – Н36, Н48, Н35ХМВ.

ЗАДАНИЯ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

ЗАДАНИЕ № 1

1. Расшифровать (указать структурные составляющие во всех областях диаграммы) диаграмму по указанному преподавателем варианту (приложение, пункт 1). Построить кривые охлаждения двух сплавов с применением правила фаз. Описать предполагаемые механические и технологические свойства указанных сплавов по правилу Курнакова.

2. Вычертите диаграмму железо-цементит, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы, опишите структурные составляющие и превращения, постройте кривую охлаждения (или нагрева) указанного преподавателем сплава (приложение, пункт 2) с применением правила фаз.

ЗАДАНИЕ № 2

Вариант № 1

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

2. Сущность наклепа, его практическое использование.

3. При проведении термической обработки вала, изготовленного из стали 40Х, была выполнена закалка с 760 °С. Правильно ли была выбрана

температура закалки? Обоснуйте свое решение. Какова структура вала после данной термообработки.

4. Для изготовления постоянных магнитов используется сплав ЮНДК40Т8А: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав по назначению; б) объясните влияние легирования на свойства сплава; в) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплаву.

Вариант № 2

1. Постройте кривую нагрева для меди (с применением правила фаз).

2. Что такое критическая степень деформации?

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

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

Вариант № 3

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

2. Опишите механизмы упругой и пластической деформации.

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

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

Вариант № 4

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

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

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

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

Вариант № 5

1. Нарисуйте строение литого кристаллического слитка. Опишите влияние реальной среды на форму кристаллов.

2. Объясните сущность процесса полигонизации. Рассчитайте температуру рекристаллизации для меди технической чистоты.

3. Детали машин из стали 40 закалены: одни - с температуры 760 °С, другие - с температуры 840 °С. Укажите правильный режим закалки, используя диаграмму железо-цементит. Какие из данных деталей имеют более высокую твердость и лучшие эксплуатационные характеристики. Предложите вид отпуска применимый для данной стали.

4. Для изготовления ряда деталей самолета выбран сплав Д16. Опишите состав сплава, режим упрочняющей термической обработки и получаемую микроструктуру. Опишите процессы, протекающие при термообработке и преимущества сплава Д16 по сравнению с Д12.

Вариант № 6

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

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

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

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

Вариант № 7

1. Опишите условия получения мелкозернистой структуры при самопроизвольно развивающейся кристаллизации.

2. Опишите точечные несовершенства кристаллического строения. Что такое дислокации и к какому виду несовершенств они относятся? Объясните их влияние на свойства металла.

3. Метчики из стали У10А закалены: одни - с температуры 760 °С, другие - с температуры 840 °С. Используя диаграмму железо-цементит, укажите правильный режим закалки. Какой из этих инструментов будет иметь более высокую твердость и износостойкость, а соответственно лучшие эксплуатационные характеристики предложите вид отпуска для данной стали.

4. Для обшивки самолетов используется сплав ВТ6. Приведите химический состав сплава, режим упрочняющей термической обработки и получаемую при этом структуру. Опишите процессы протекающие при термической обработке.

Вариант № 8

1. Как влияет скорость охлаждения на строение кристаллизирующегося металла?

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

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

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

Вариант № 9

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

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

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

4. Для изготовления деталей, получаемых глубокой штамповкой, выбран сплав Л70: а) расшифруйте состав и укажите механические свойства; б) определите, к какой группе относиться. Можно ли заменить в данной ситуации сплав Л70 на Л68. Обоснуйте свое решение.

Вариант № 10

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

2. Механические свойства, определяемые при статических испытаниях.

3. Опишите, в чем заключается низкотемпературная термомеханическая обработка конструкционной стали. Объясните с позиции теории дислокаций, почему этот процесс приводит к получению высокой прочности

стали. Какими преимуществами и недостатками обладает вариант низкотемпературной термомеханической обработки по сравнению с высокотемпературной термомеханической обработкой?

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

Вариант № 11

1. Что такое химическое соединение, электронное соединение, электронная концентрация?

2. Процесс изнашивания металлов. Виды изнашивания. Методы испытаний на износ.

3. Сущность и особенности мартенситного превращения. Природа твердости и хрупкости мартенсита в стали. Как влияет содержание углерода на свойства закаленного сплава?

4. В конструкциях авиационных реактивных двигателей для изготовления лопаток компрессора выбран сплав ВТ14: а) приведите химический состав сплава и укажите механические свойства; б) определите, к какой группе относится данный сплав; в) опишите режим возможной термообработки и получаемую при этом структуру. Опишите процессы, протекающие при термической обработке.

Вариант № 12

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

2. Объясните механизм разрушения металлов.

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

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

Вариант № 13

1. Строение кристаллического слитка.

2. Виды изломов. Усталостный излом, особенности его строения, возможные причины возникновения.

3. Микроанализом обнаружено крупное зерно у отпущенной стали. Как оно повлияет на свойства стали? В чем возможная причина? Как избежать этого? Как исправить структуру? В каких сталях это встречается? Какие из перечисленных сталей не склонны к этому браку: 40Х, 40ХН, 45, 30ХМ, 40, 40ХГС, 40ХНМА (обоснуйте свое решение)?

4. Для изготовления деталей самолета выбран сплав АМц2: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав; б) опишите способ упрочнения этого сплава и объясните природу упрочнения.

Вариант № 14

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

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

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

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

Вариант № 15

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

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

3. Нарисуйте схематические структуры закалки (М, Т, С) и одноименные структуры отпуска ($M_{отп}$, $T_{отп}$, $C_{отп}$). Объясните различие их механических свойств.

4. Для изготовления плоской пружины выбран сплав Бр0Ц4-3: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав; б) опишите структуру сплава; в) объясните назначение легирующих элементов; г) приведите характеристики механических свойств сплава.

Вариант № 16

1. Как и с какой целью управляют размером зерна при кристаллизации металла? Приведите конкретные примеры.

2. Собирательная рекристаллизация. Механизмы роста зерна (зародышевый, миграционный, слияние зерен).

3. Вал, изготовленный из стали 35, после проведения термообработки по правильным режимам обладает недостаточной прочностью. Как подобрать подходящую марку и режимы ее термообработки? Обоснуйте свое решение.

4. Для изготовления деталей простой конфигурации, работающих при ударных нагрузках, выбран сплав ЛЦ40Мц1,5: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав; б) опишите структуру сплава; в) объясните назначение легирующих элементов; г) приведите характеристики механических свойств.

Вариант № 17

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

2. Какими способами можно обнаружить поверхностные трещины?

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

4. Для обшивки некоторых элементов конструкций самолетов используется сплав МА1: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав; б) опишите структуру и его механические характеристики.

Вариант № 18

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

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

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

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

Вариант № 19

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

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

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

4. Для изготовления ряда деталей, используемых в судостроении, выбран сплав БрКМц3-1: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав; б) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплавам этой группы. Опишите влияние марганца на свойства сплава. Каким образом можно упрочнить данный сплав?

Вариант № 20

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

2. Отдых и полигонизация. Изменение структуры и свойств металлов и сплавов.

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

4. Подберите медно-никелевый сплав для изготовления проводов, тензодатчиков, обладающих высоким сопротивлением: а) расшифруйте состав; б) опишите микроструктуру сплава; в) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплаву.

Вариант № 21

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

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

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

4. Для изготовления обмотки роторов турбогенераторов выбран сплав $\text{BrCr}_{0,1}$: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав; б) опишите влияние серебра на свойства сплава; в) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплаву.

Вариант № 22

1. Опишите физическую сущность процесса плавления.

2. Винтовые дислокации. Понятие вектора Бюргера.

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

4. Для изготовления крыльчаток вентиляторов для компрессоров реактивных двигателей использован сплав АК6: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав; б) опишите возможную упрочняющую обработку; в) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплаву.

Вариант № 23

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

2. Явление сверхпластичности металлов и сплавов.

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

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

Вариант № 24

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

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

3. Объясните влияние формы графитовых включений на механические свойства серого, ковкого и высокопрочного чугунов. Опишите получение ковкого чугуна.

4. Для получения биметаллической ленты со сталью и дюралюмином методом прокатки с последующей штамповкой вкладышей с толщиной антифрикционного слоя 1 мм выбран сплав АО20-1: а) расшифруйте состав и определите к какой группе относится данный сплав; б) опишите влияние олова на свойства сплава; в) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплаву.

Вариант № 25

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

2. Испытание образцов на ударную вязкость.

3. Как и в какой стали могли возникнуть такие структуры: $\Phi + M$; $S_{отп} + C_{ц}$; $M_{отп} + \Phi$; $T_{отп}$; $M_{отп}$? Охарактеризуйте качество получаемых структур

4. Для деталей, работающих в морской воде выбран сплав ЛК80-3: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав; б) опишите микроструктуру сплава; в) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплаву.

Вариант № 26

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

2. Механические свойства, определяемые при динамических испытаниях.

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

4. Для изготовления камертонных рыле используется сплав Н35ХМВ (элинвар): а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав по назначению; б) объясните влияние легирования на свой-

ства сплава; в) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплаву.

Вариант № 27

1. Механическая смесь, ее свойства. Приведите примеры сплавов, образующих механические смеси.

2. Рассчитать температуру рекристаллизации для свинца технической чистоты.

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

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

Вариант № 28

1. Постройте кривую охлаждения двухкомпонентного сплава (с применением правила фаз).

2. Какими способами можно обнаружить глубоко залегающие раковины?

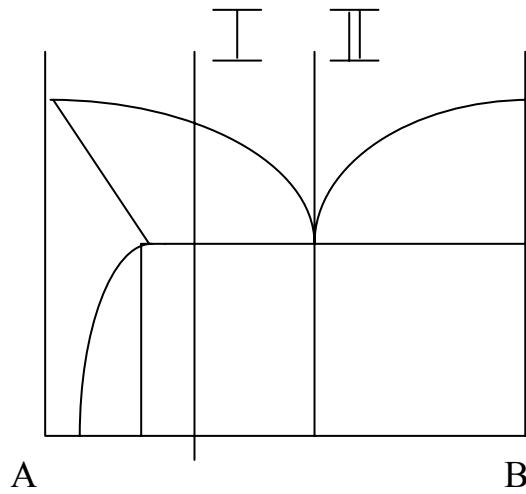
3. Подберите сталь для изготовления хирургического инструмента. Опишите исходную микроструктуру и свойства стали, назначьте и обоснуйте режим термической обработки, опишите микроструктуру и свойства после термообработки.

4. Для изготовления мерной ленты, не меняющей своей длины при изменении температуры, выбран сплав Н36 (инвар): а) расшифруйте состав и определите к какой группе относится данный сплав; б) опишите влияние никеля на свойства сплава; в) опишите свойства данного сплава. Каким образом в случае необходимости можно стабилизировать размеры деталей, изготовленных из инвара. Сравните сплавы Н36 и Н31К6 по свойствам и стоимости.

Диаграммы состояния к заданию 1 для задачи 1 и условия для задачи 2

Вариант 1

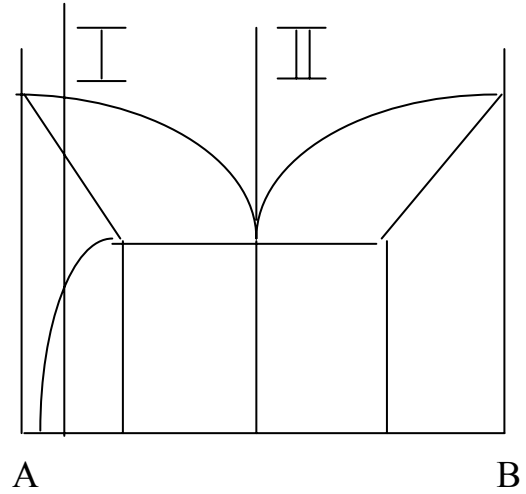
1)



2) 0,8 % C, нагрев

Вариант 2

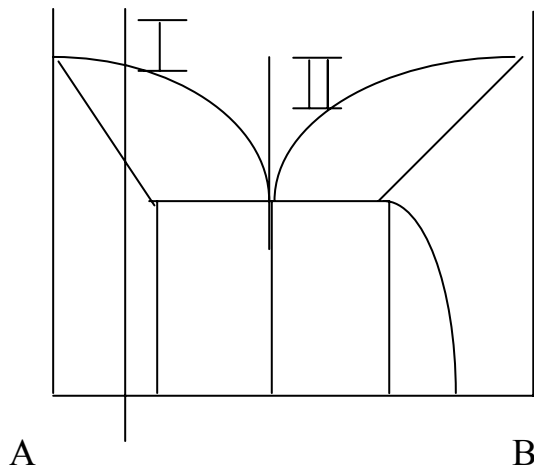
1)



2) 0,03 % C, охлаждение

Вариант 3

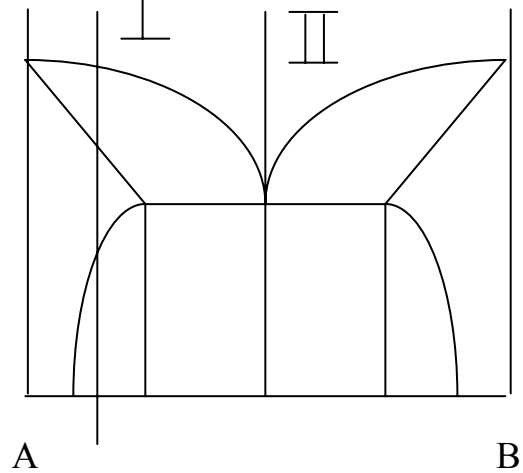
1)



2) 1,2 % C, нагрев

Вариант 4

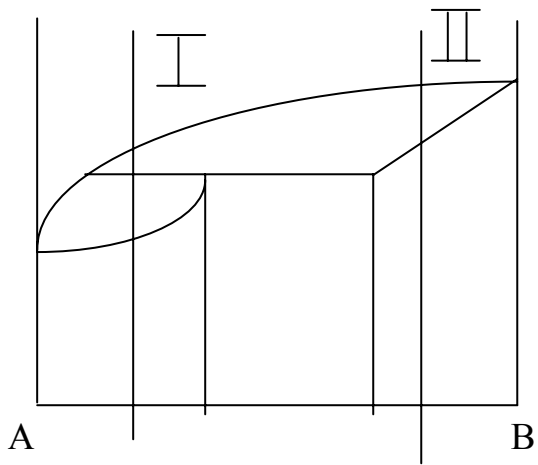
1)



2) 4,3 % C, охлаждение

Вариант 5

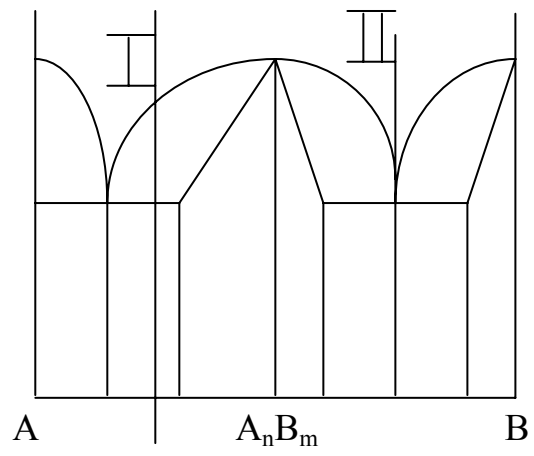
1)



2) 0,7 % C, охлаждение

Вариант 6

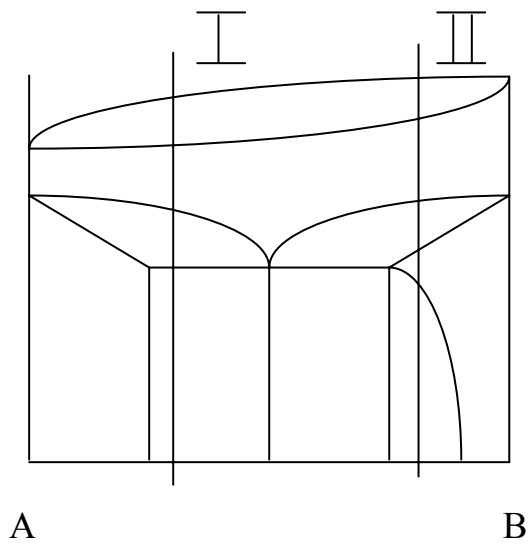
1)



2) 2,4 % C, нагрев

Вариант 7

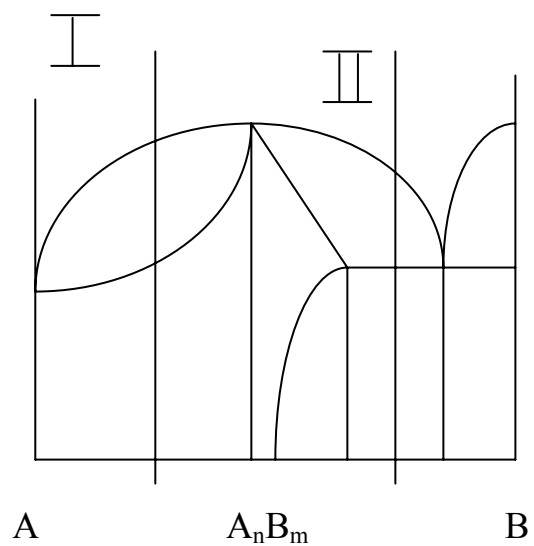
1)



2) 0,49 % C, охлаждение

Вариант 8

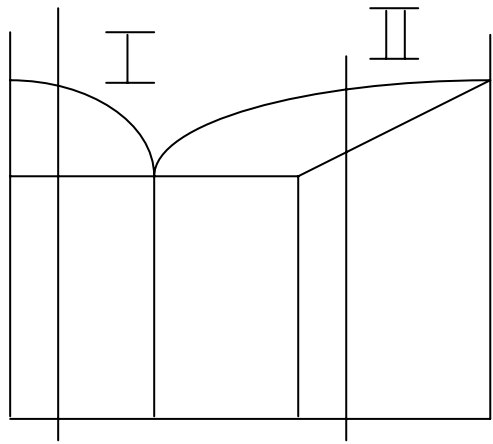
1)



2) 5,0 % C, нагрев

Вариант 9

1)



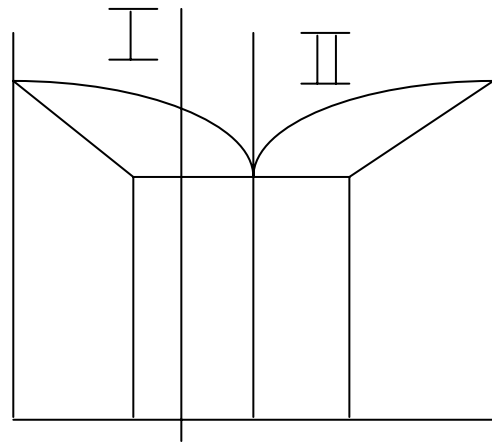
A

B

2) 0,15 % C, нагрев

Вариант 10

1)



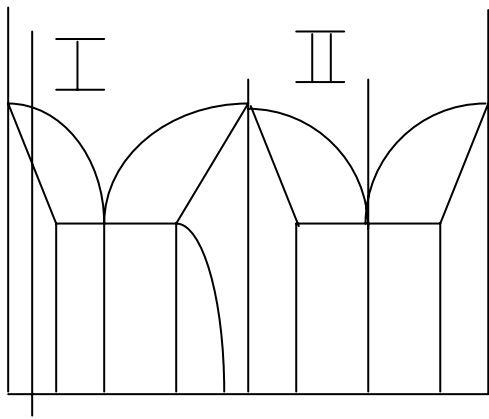
A

B

2) 2,8 % C, охлаждение

Вариант 11

1)



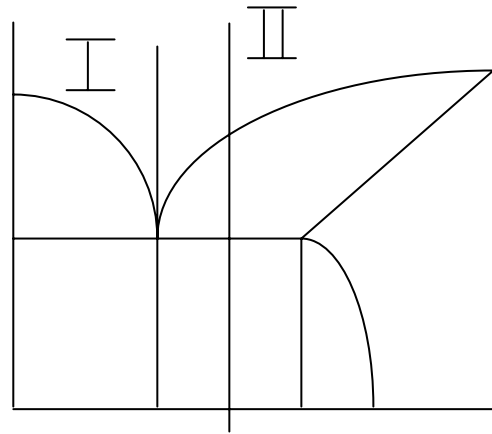
A

B

2) 0,09 % C, нагрев

Вариант 12

1)



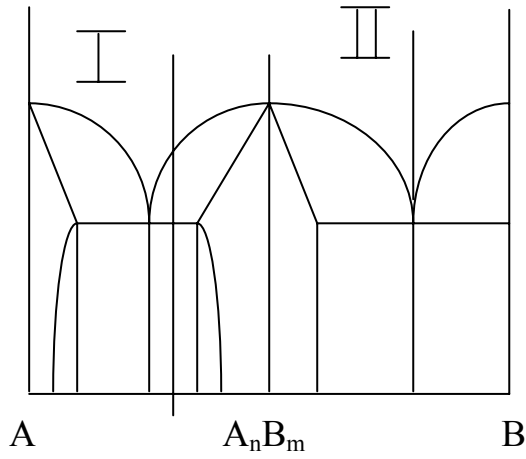
A

B

2) 1,7 % C, охлаждение

Вариант 13

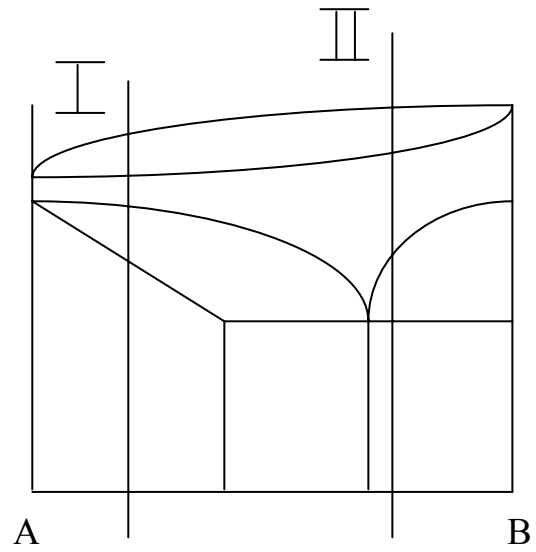
1)



2) 0,17 % C, нагрев

Вариант 14

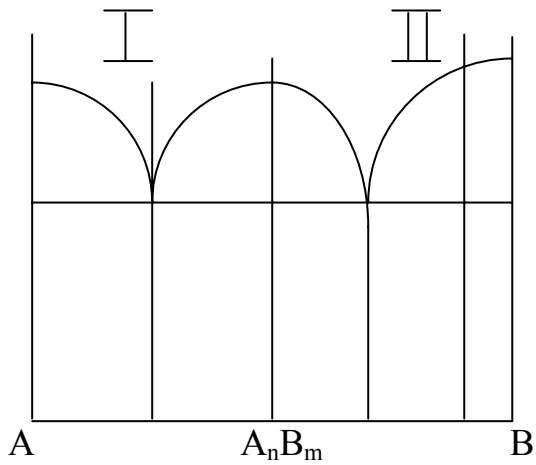
1)



2) 2,0 % C, охлаждение

Вариант 15

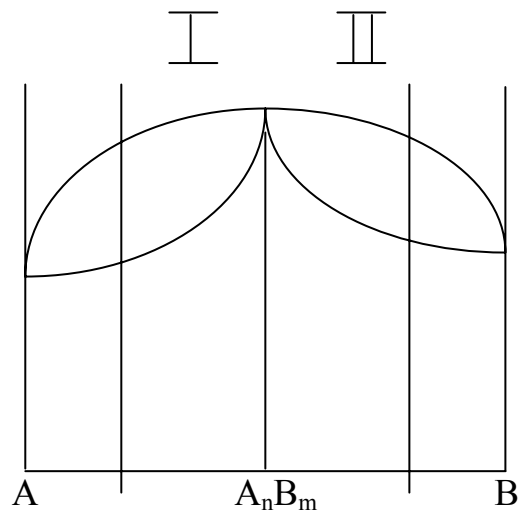
1)



2) 4,5 % C, нагрев

Вариант 16

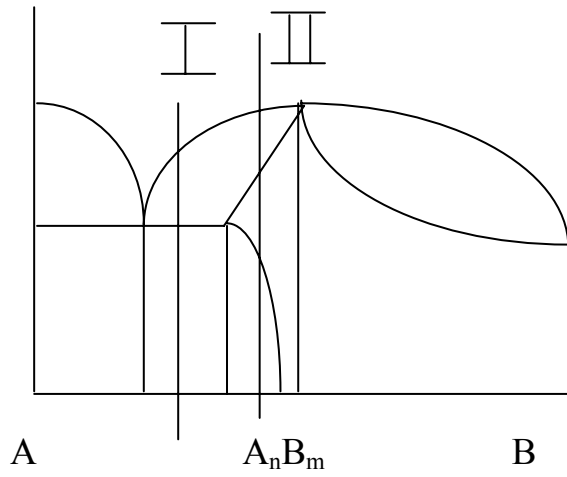
1)



2) 0,2 % C, охлаждение

Вариант 17

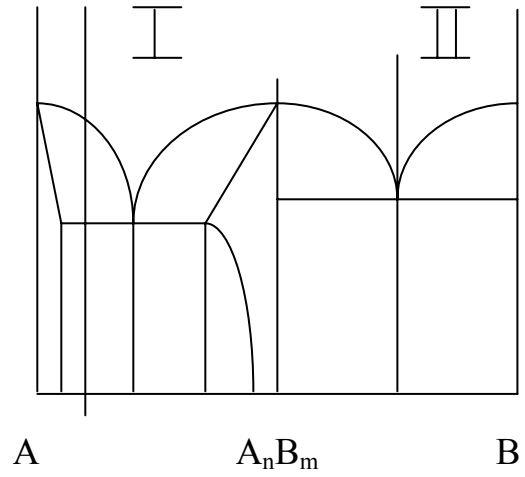
1)



2) 0,01 % C, охлаждение

Вариант 18

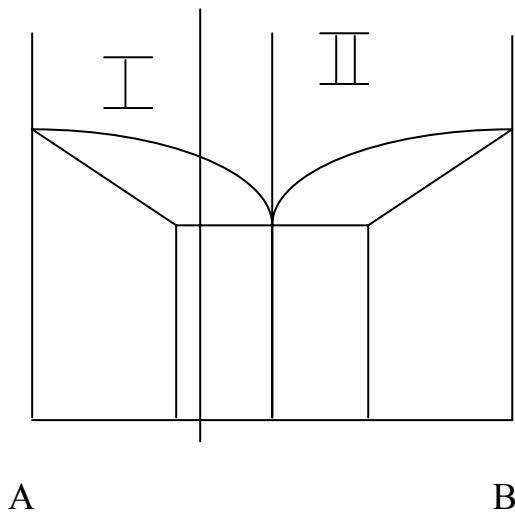
1)



2) 6,2 % C, нагрев

Вариант 19

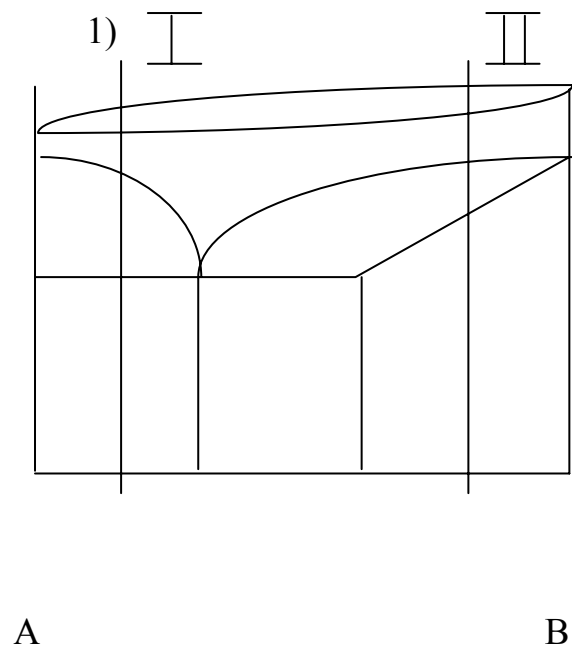
1)



2) 0,9 % C, охлаждение

Вариант 20

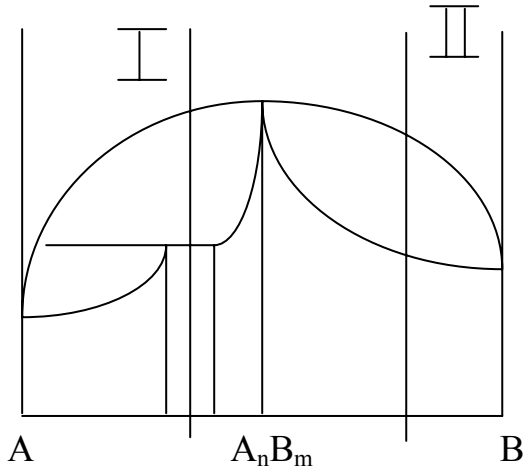
1)



2) 0,001 % C, нагрев

Вариант 21

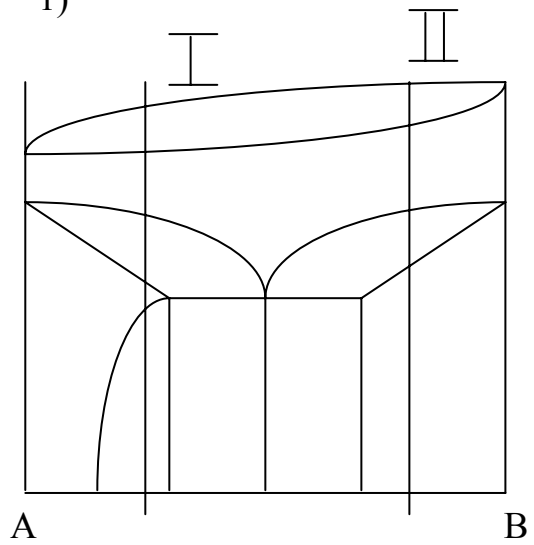
1)



2) 3,7 % C, охлаждение

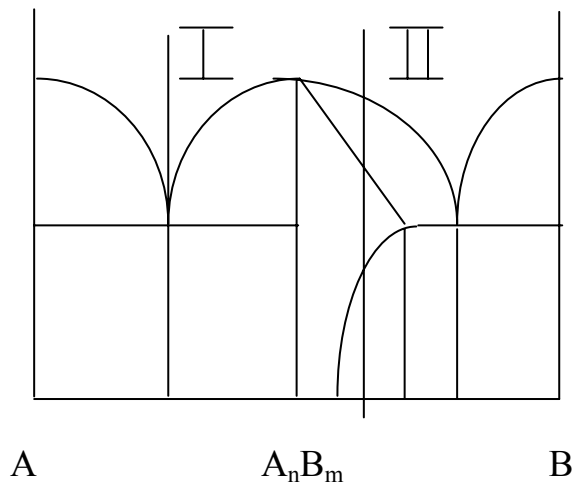
Вариант 22

1)



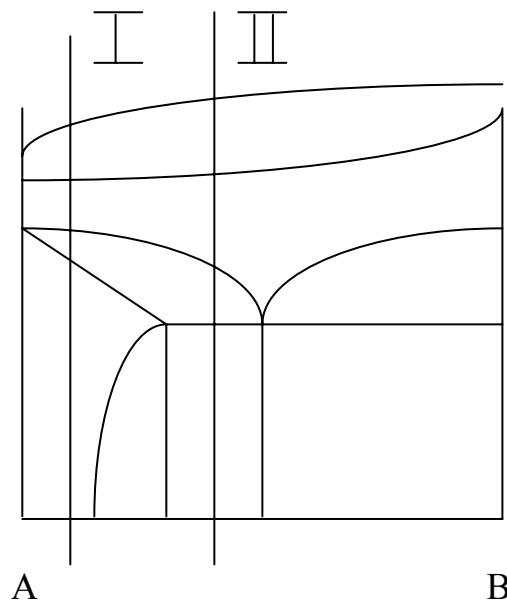
2) 0,6 % C, нагрев

Вариант 23



2) 4,9 % C, охлаждение

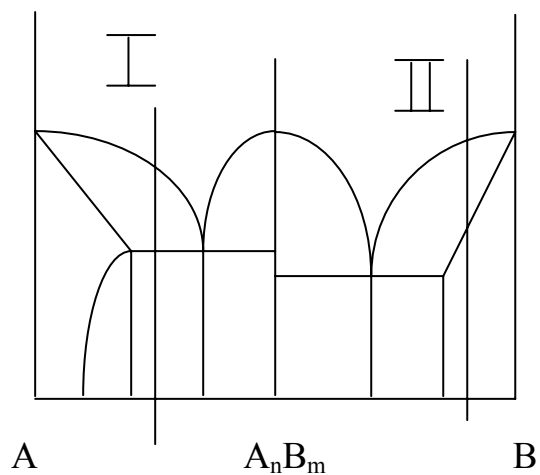
Вариант 24



2) 1,8 % C, нагрев

Вариант 25

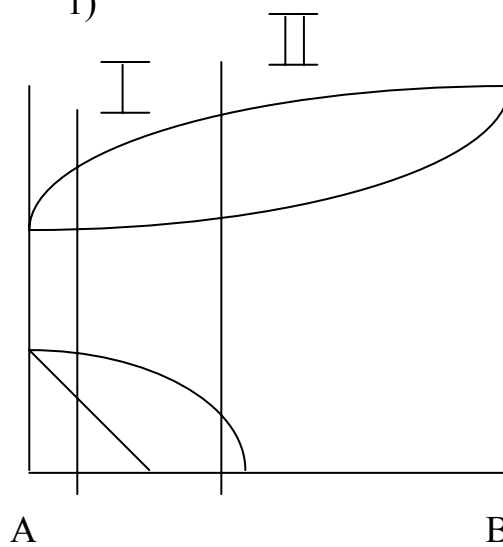
1)



2) 0,4 % C, нагрев

Вариант 26

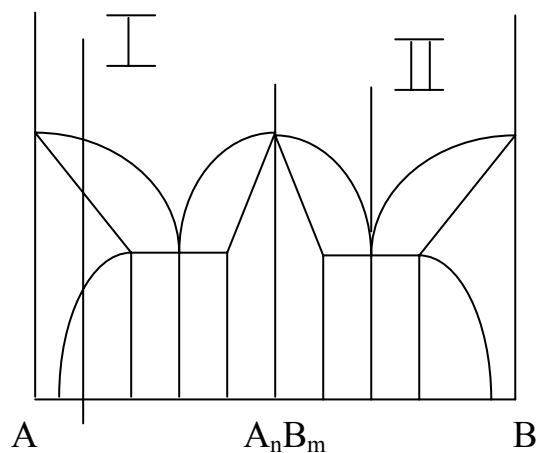
1)



2) 2,1 % C, охлаждение

Вариант 27

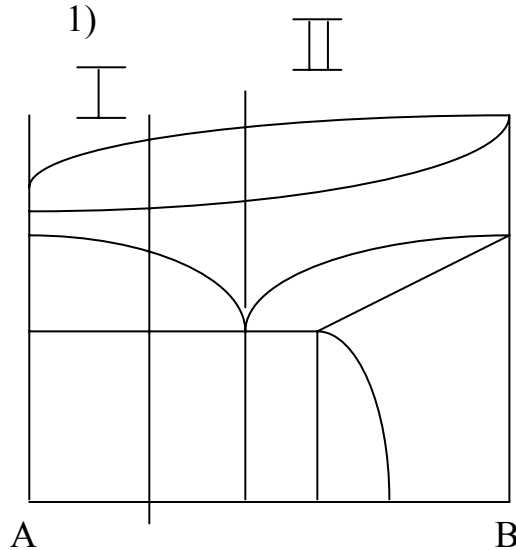
1)



2) 3,7 % C, нагрев

Вариант 28

1)



2) 5,7 % C, охлаждение

Список основной литературы

1. Гуляев А.П. Металловедение. - 6-е изд., перераб. и доп. - М.: Металлургия, 1986. - 544 с.
2. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1983. – 359 с.
3. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1983. - 528 с.
4. Материаловедение/ Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др. Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – 3-е изд., переработ. и доп. – М.: Изд-ве МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 648 с.
5. Мозберг Р.К. Материаловедение. - 2-е изд., перераб. - М.: Высшая школа, 1991. - 448 с.

Список дополнительной литературы

1. Гелин Ф.Д. Металлические материалы: Справочник. Минск: Высшая школа, 1987. - 368 с.
2. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение. - 6-е изд., перераб. и доп. - М.: Металлургия, 1989. - 456 с.
3. Журавлев В.П., Николаева О.И. Машиностроительные стали: Справочник. - 4-е изд., перераб и доп. - Машиностроение, 1992. - 480 с.
4. Золоторевский В.С. Механические свойства металлов. - 2-е изд. - М.: Металлургия, 1983. - 352 с.
5. Композиционные материалы: Справочник/ В.В. Васильев, В.Д. Протасов, В.В. Болотин и др.; Под общ. ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского. - М.: Машиностроение, 1990. - 512 с.
6. Конструкционные материалы: Справочник/ Б.Н. Арзамасов, В.А. Брострем, Н.А. Буше и др.; Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. - М.: Машиностроение, 1990. - 688 с.
7. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: Справочник/ Под ред. Л.С. Ляховича. - М.: Металлургия, 1981. - 424 с.

Содержание

Некоторые вопросы курса «Материаловедение».....	3
Задания на контрольную работу.....	32
Приложение.....	43
Список основной литературы.....	50
Список дополнительной литературы.....	50