

Контрольное домашнее задание

Первое задание состоит из трех вопросов, на которые студент должен дать развернутый ответ с приведением необходимых графиков, диаграмм из изученной литературы.

Второе задание состоит из двух задач, которые студент, пользуясь полученными знаниями, самостоятельно должен решить.

В качестве примера приведен ответ и оформление на один из выдаваемых вариантов, а также пример решения задачи.

Рекомендуемая литература

Основная

1. Абраимов Н.В., Елисеев Ю.С., Крымов В.В. Материаловедение. Технология конструкционных материалов – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана
2. Фетисов Г.П., Карман М.Г. и др. Материаловедение и технология материалов. – М.: Высшая школа, 2001 г.

Дополнительная

3. Гуляев В.П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1977 г. (1978 г., 1986 г.)
4. Конспект лекций по авиационному материаловедению. Под редакцией Дубинина Г.Н. – М.: МИИГА, 1975 г.
5. Материаловедение. Под редакцией Арзамасцева Б.Н. – М.: Машиностроение, 2005 г.

**«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

**КОНТРОЛЬНО-ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ №1
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»
СТУДЕНТА 2 КУРСА
МЕХАНИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА
ПЕТРОВА Петра Петровича**

Проверил преподаватель
И. Иванов

Москва 2009

Вопрос №1. Виды пространственных атомно-кристаллических решеток.

Элементы периодической системы Д.И. Менделеева делятся на металлы и неметаллы. Основную часть элементов составляют металлы. Металлы различают простые, переходные, редкоземельные. У простых металлов внешние d - и f -уровни электронной оболочки либо полностью заполнены, либо полностью не заполнены. К ним относятся Al, Si, Mg, Zn, Cd, Be, Li. У переходных металлов d - и f -уровни заполнены неполностью и заполняются не последовательно. К ним относятся Mn, Fe, Co, Ni, Cr, W, V, Ti, Nb, Ta, Zr, Mo. К редкоземельным металлам относят обычно лантаноиды (La, Ce, Nd, Sm, Yb, Er) и др. Металлы обладают пластичностью, высокой теплопроводностью и электрической проводимостью и особым металлическим блеском. Этим они отличаются от дерева, камня, фарфора. М.В. Ломоносов 200 лет тому назад дал определение: «Металлы - суть светлые тела, которые ковать можно». Это определение не потеряло своего научного значения и по сей день.

К неметаллам относятся благородные газы (He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn), галогены (F, Cl, Br, I), а также элементы B, C, N, H, P, O, Si, S, Ge, As, Se, Te.

Из-за существования смешанного типа связи между металлами и неметаллами нельзя провести четкую границу. В твердом состоянии в обычных условиях атомы металлов располагаются в пространстве упорядоченно и образуют кристаллическую структуру. Для представления о периодичности повторения частиц в пространстве используют пространственные решетки. В узлах кристаллических решеток размещаются атомы или положительно заряженные ионы металлов, которые окружены общими коллективизированными валентными электронами.

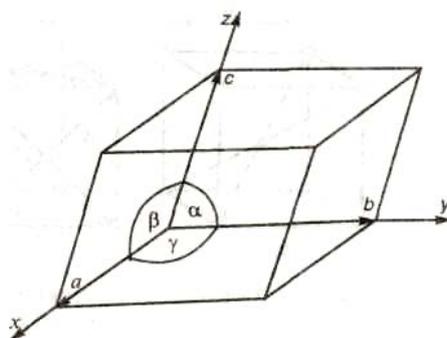


Рисунок 1.1. Параметры и углы между гранями кристаллической решетки

Отношение числа валентных электронов n к числу атомов в структуре кристалла N называют *электронной концентрацией* c

$$c = n/N$$

Размеры элементарных кристаллических решеток называют *параметрами* или *периодами* решеток и обозначают латинскими буквами a ,

b, c . Углы между гранями кристаллов обозначают греческими буквами α, β, γ (рис.1.1).

По форме структуры кристаллов подразделяют на семь кристаллических систем:

Триклинная	$a \neq b \neq c$	и	$\alpha \neq \beta \neq \gamma$;
Моноклинная	$a \neq b \neq c$	и	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma \neq 90^\circ$;
Ромбическая	$a \neq b \neq c$	и	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$;
Ромбоэдрическая	$a = b = c$	и	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$;
Гексагональная	$a = b \neq c$	и	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$;
Тетрагональная	$a = b \neq c$	и	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$;
Кубическая	$a = b = c$	и	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$;

Наиболее распространенными для металлов являются структуры (рис. 1.2): объемно центрированная кубическая (ОЦК); гранецентри-рованная кубическая (ГЦК); гексагональная плотноупакованная (ГПУ).

ОЦК-решетку имеют α -Fe, Cr, α -W, Mo, β -Ti, Zr, V, β -Hf, Nb, Ta и др.; *ГЦК-решетку* имеют γ -Fe, Al, Cu, Pt, Ag, Au и др.; *ГПУ-решетку* имеют α -Ti, Mg, Zn, Be, α -Zr, α -Hf, Re, α -Co и др.

В кубической гранецентрированной решетке атомы располагаются в вершинах элементарной ячейки и в центрах ее граней. Каждый атом имеет 12 ближайших соседних атомов, расположенных на одинаковых расстояниях, равных $0,707a$, где a - длина ребра куба элементарной ячейки. ГЦК-структура содержит два типа пустот (междоузлий), которые могут занимать более мелкие атомы других элементов - в центре куба и посередине его ребер. Каждая из таких пустот окружена шестью атомами ГЦК-решетки, расположенных в вершинах правильного октаэдра.. Поэтому такие пустоты называются октаэдрическими. Октаэдрические пустоты занимают атомы углерода в решетке аустенита в стали.

Более мелкие пустоты называют тетраэдрическими, поскольку их окружают четыре атома ГЦК-решетки.

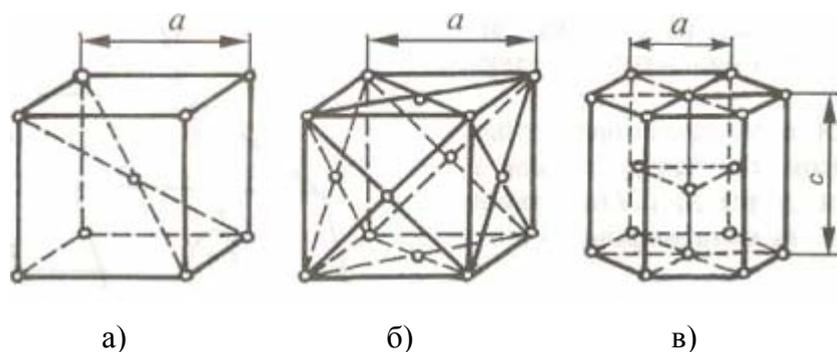


Рисунок 1.2. Объемно центрированная (а), гранецентрированная (б) и гексагональная (в) кристаллические решетки

Структура объемно центрированного куба является менее плотноупакованной, чем кубическая гранецентрированная. В решетке ОЦК атомы располагаются в вершинах и в центре элементарной ячейки. Каждый атом в этой решетке имеет восемь ближайших соседей, расположенных на одинаковом расстоянии, равном $0,866 a$.

В структуре ОЦК также имеются два типа пустот. Более крупные расположены на гранях элементарной ячейки и окружены четырьмя атомами ОЦК решетки, а более мелкие окружены шестью атомами, расположенными в вершинах неправильного октаэдра.

Внедрение в тетраэдрическую пару атома с радиусом больше $0,291r$, где r - радиус атома основного металла, должно привести к смещению всех четырех окружающих атомов, а внедрение атома с радиусом больше $0,154 r$ в октаэдрическую пору ведет к сдвигу только двух атомов в направлении ребра куба.

Полагают, что по этой причине межузельные атомы углерода в решетке α -Fe занимают октаэдрические пустоты. В структуре мартенсита атомы углерода занимают октаэдрические пустоты, расположенные только на ребрах, параллельных оси c и в центрах граней, перпендикулярных этой оси c . Это приводит к тетрагональному искажению исходной ОЦК-решетки α -Fe.

Гексагональная плотноупакованная структура состоит из отдельных слоев. Каждый атом любого слоя окружен шестью расположенными на равных расстояниях соседними атомами этого же слоя и имеет по три ближайших соседних в слоях, расположенных выше и ниже данного слоя. Поэтому в ГПУ-структуре каждый атом имеет 12 ближайших соседних атомов, расположенных на одинаковом расстоянии от него. ГПУ-структура также имеет два типа пустот - октаэдрические и тетраэдрические. Диаметры жестких сфер, которые могут быть помещены в эти пустоты, так же, как и в ГЦК-структуре, составляют соответственно 0,41 r для октаэдрических и 0,225 r для тетраэдрических пустот. Поэтому ГЦК- и ГП - структуры являются родственными.

Установлено, что устойчивому состоянию кристаллических структур соответствует определенный диапазон значений электронной концентрации, а именно: для ОЦК $c = 1,0-1,75$; для ГПУ $c = 1,75-2,25$; для ГЦК $c = 2,25-3,0$. При $c = 4,0$ возникает решетка алмаза. В связи с незначительным различием в энергиях образования ОЦК-, ГЦК- и ГПУ-решеток металлов, переход из одной в другую сопровождается незначительными энергетическими затратами.

Размеры ОЦК- и ГЦК-решеток определяются одним параметром a . Параметр a решетки сравнительно невелик. Для алюминия $a = 0,4041$ нм, для меди $a = 0,3614$ нм, для хрома $a = 0,2885$ нм, для никеля $a = 0,3523$ нм, для вольфрама $a = 0,3165$ нм. Размеры ГПУ-решетки определяются двумя параметрами: a - расстояние между соседними атомами в плоскости основания и c - высота гексагональной призмы.

Для описания кристаллических структур используют модель, в которой атомы соприкасаются как жесткие шары. Тогда атомным диаметром d называют расстояние между центрами ближайших атомов. Атомные диаметры определяются экспериментально по рентгеновским изменениям межатомных расстояний. Для алюминия $d = 0,286$ нм, для меди $d = 0,256$ нм, для железа $d = 0,252$ нм, для никеля $d = 0,248$ нм, для вольфрама $d = 0,280$ нм. Атомный диаметр является важной постоянной металла в кристаллическом состоянии. Атомный диаметр возрастает с возрастанием атомного номера по мере

увеличения числа электронных оболочек атомов металлов. Размеры атомов редкоземельных металлов, напротив, уменьшаются от лантана до лютеция - лантаноидное сжатие и от актиния и далее - актиноидное сжатие. Диаметр атома, найденный в кристаллической решетке металла, незначительно отличается от диаметра этого же атома, определенного в его соединении. Отличие не превышает 12-15 %.

Плотность или компактность упаковки атомов в пространстве определяется *координационным числом z и коэффициентом компактности k* . Координационным числом называют число ближайших атомов, расположенных по соседству с данным атомом на одинаковом расстоянии от него.

Для ГЦК- и ГПУ- кристаллов $z = 12$, а для ОЦК- кристаллов $z = 8$, для теоретической простой кубической решетки $z = 6$. По мере роста координационного числа возрастает компактность упаковки.

Коэффициент компактности k равен отношению объема атомов, составляющих элементарную кристаллическую решетку, ко всему объему решетки:

$$k = 4/3 \pi r^3 n/V,$$

где r - атомный радиус; n - число атомов в элементарной решетке; V - объем элементарной решетки.

Для ГЦК- и ГПУ-кристаллов $k = 0,74$, для ОЦК $k=0,68$, для простой кубической решетки кристалла $k = 0,52$. Видно, что в кристаллах значительная часть объема пустует, поскольку остается незаполненной атомами.

Вопрос №2. Классификация легированных сталей. Маркировка легированных сталей.

Для сталей в России принята буквенно-цифровая маркировка. Цифры и буквы указывают на приблизительный состав стали. Легирующие элементы обозначают буквами: Х - хром; Г - марганец; С - кремний; Н - никель; В - вольфрам; Т - титан; М - молибден; Ф - ванадий; Ю - алюминий; Б - ниобий; Д - медь; К - кобальт; Р - бор; Ц- цирконий; А (в середине маркировки) - азот. Цифры, стоящие в начале марки, указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента, а цифры, стоящие после буквы, - примерное содержание легирующих элементов в процентах. Если цифра отсутствует, то содержание легирующего элемента меньше или около 1 %. Буква А в конце марки означает, что сталь высококачественная. Высококачественные стали содержат меньше вредных примесей ($< 0,025$ % S, $< 0,025$ % P). Например, 18Х2Н4ВА - высококачественная сталь, содержащая 0,18 % С, 2 % Сг, 4 % Ni, 1 % W.

Опытные марки, выплавленные на заводе «Электросталь», обозначают буквами ЭИ или ЭП и порядковым номером плавки, например ЭИ718, ЭП648, ЭИ961 и т. д.

Некоторые группы сталей имеют дополнительные обозначения. Так, шарикоподшипниковые стали начинаются с буквы Ш, электротехнические - с буквы Э.

Легированные стали классифицируют по следующим основным признакам:

1) по структуре после закалки на воздухе (рисунок 2.1): стали перлитного класса, имеющие структуру перлита, сорбита или троостита; стали мартенситного класса, имеющие структуру мартенсита; стали аустенитного класса, имеющие структуру аустенита.

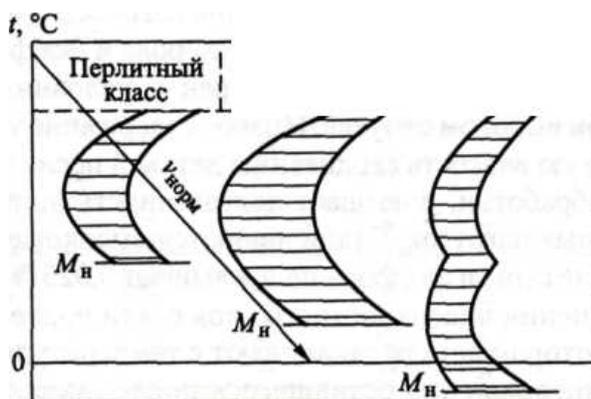


Рисунок 2.1. Классификация стали по структуре после нормализации

2) по назначению: конструкционные стали, применяемые для изготовления деталей машин; инструментальные стали, используемые для изготовления режущего, измерительного и прочего инструмента; стали с особыми свойствами - жаростойкие, жаропрочные, коррозионно-стойкие, износостойкие, а также стали с особыми магнитными, электрическими свойствами.

3) по суммарному содержанию легирующих элементов: низколегированные (не более 2,5 % легирующих элементов); среднелегированные (от 2,5 до 10 % легирующих элементов); высоколегированные (более 10 % легирующих элементов).

Кроме того, в зависимости от химического состава легирующих элементов стали разделяют на: хромистые, хромоникелевые, хромоникельмолибденовые, хромоникельалюминиевые и др.

Вопрос №3. Обработка на возврат алюминиевых сплавов.

Обработка на возврат представляет собой быстрый нагрев закаленного и естественно состаренного сплава до температуры 230-270 °С в течение 30-120 с в зависимости от сплава и быстрое охлаждение в воде. Производится с целью «возвращения» сплавов в свежезакаленное состояние, когда сплавы снова снижают свою прочность, улучшается их пластичность, деформируемость.

В сплавах Д16, Д19 при температуре 270 °С за 30-60 с происходит полное растворение ЗГП и после охлаждения фиксируется структура

пересыщенного твердого раствора (от точки а до точки в), падает прочность, возрастает пластичность (рисунок 3.1). Сплавы можно подвергать холодной деформации - правке, гибке, отбортовке, вытяжке и т. д.

При дальнейшей выдержке начинается распад неустойчивого пересыщенного твердого раствора (от точки в до точки с) и образуются стабильные выделения, свойственные искусственному старению, а при больших выдержках - структуре отжига.

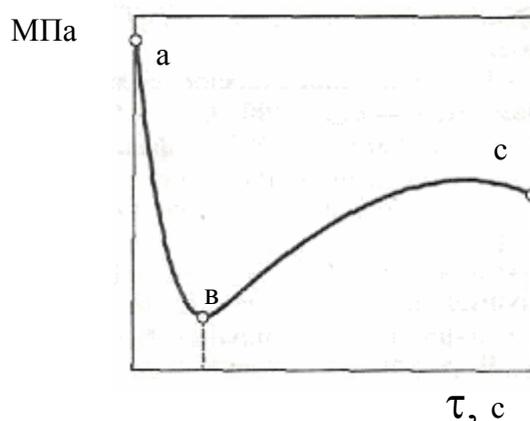


Рисунок 3.1 Изменение временного сопротивления дуралюмина Д16Т при обработке на возврат

Вопрос №4. Классификация титановых сплавов. Структура, ТО, сплавов ВТ18, ВТ5-1, ОТ4-1.

Титановые сплавы с α - и псевдо- β -структурой широко применяются для изготовления сварных конструкций силовых узлов крыла, фюзеляжа, обшивки планера самолетов, корпусов компрессоров, дисков, лопаток, колец, опор, деталей второго контура газотурбинных двигателей. Титановые сплавы успешно заменяют стали в ряде нагруженных узлов самолетов и авиадвигателей, обеспечивая уменьшение массы конструкции летательных аппаратов до 20—25 %.

Сплавы с α -структурой лучше, чем ($\alpha + \beta$)- и β -сплавы, свариваются, штампуются, обладают наиболее высокой термической стабильностью. В авиастроении успешно применяются α -сплавы ВТ5-1, ОТ4-1, ВТ18 (таблица 4.1).

Сплав ОТ4-1 относится к первым отечественным α -сплавам. Он обладает удовлетворительной технологической пластичностью при листовой штамповке, хорошо сваривается всеми видами сварки, применяемыми для титана, обладает высокой термической стабильностью при длительных нагревах при рабочих температурах под напряжением. Сплав имеет умеренные характеристики прочности и жаропрочности.

При комнатной температуре структура сплава состоит в основном из α -фазы. Сплав применяется для изготовления листов, лент, плит, прутков, поковок, труб, профилей и деталей из них.

Сплав ВТ5-1 является однофазным α -сплавом. Применяется в виде листов, прутков, поковок, штамповок. После отжига образуется наиболее равновесная и стабильная мелкозернистая структура, обладающая повышенной пластичностью при умеренной прочности. Максимальную прочность сплав приобретает при охлаждении от 800 °С на воздухе. Наиболее высокое сопротивление усталости имеет сплав ВТ5-1 с равновесной полиэдрической зернистой структурой и достигает $0,4\sigma_B^{20}$.

Сплав ВТ18 является одним из наиболее жаропрочных титановых сплавов, длительно сохраняющих высокую работоспособность до температур 550-600 °С. Сплав успешно применяется для изготовления лопаток и дисков компрессоров авиационных двигателей.

Высокая жаропрочность сплава обеспечивается большим содержанием алюминия и циркония.

По удельной прочности сплав ВТ18 превосходит жаропрочные стали ЭИ961, ЭП517 в 2,5 раза.

Оптимальное сочетание прочности и пластичности достигается после отжига сплава при температуре 900 - 950° С в течение 1-4 ч и охлаждения на воздухе, при этом сплав имеет также высокий предел длительной прочности $\sigma_{100}^{600\text{ }^{\circ}\text{C}} = 300$ МПа. Структура сплава состоит из однородного α -твердого раствора и небольшого количества β -фазы.

Таблица 4.1. Химический состав титановых α - и псевдо- α -сплавов

Марка сплава	Содержание элементов*, % (мас.)	$t_{\text{отж.}}$, °С	σ_B , МПа	δ , %	$t_{\text{экспл.}}^{\text{max}}$, °С
ОТ4-1	(1,5 - 2,5) Al; (0,7 - 2,0) Mn	650	700	20	350
ВТ5-1	(4,0 - 6,0) Al; (2,0 - 3,0) Sn	720	800	15	450
ВТ18У	(6,2 - 7,3) Al; (3,5 - 4,5) Zr ; (0,4 - 1,0) Mo; 2,5 Sn; 1,2 Nb; 0,2 Si	950	1075	13	600

Недостатком сплава ВТ18 являются плохая свариваемость и сравнительно невысокая технологическая пластичность. Сплав склонен к образованию областей, обогащенных алюминием, содержание которого соответствует стехиометрическому составу фазы Ti_3Al . Выделение фазы Ti_3Al происходит при содержании алюминия выше 7 % при рабочих температурах 500 - 600° С и сопровождается повышением прочности и жаропрочности при одновременном падении пластичности и ударной вязкости.

Для повышения однородности структуры и уменьшения вероятности получения областей обогащенных алюминием, разработан сплав ВТ18У, содержащий меньшее количество алюминия и циркония и дополнительно легированный оловом. Сплав ВТ18У применяется для тех же условий, что и сплав ВТ18 (в осевых компрессорах для изготовления дисков).

Структура штамповок зависит от режимов термической обработки. Микроструктура дисков, отштампованных при температуре выше A_{c3}

(1030 °С), пластинчатая, сплав приобретает достаточно высокое сочетание механических свойств $\sigma_b \geq 930$ МПа, $\delta \geq 7$ %, $KCU \geq 0,25$ МДж/м².

После отжига при 970 °С сплав приобретает глобулярно-пластинчатую структуру, повышается прочность и пластичность: $\sigma_b = 1000$ - 1010 МПа, $\delta = 10$ - 14 %. Длительная прочность сплава ВТ18У мало зависит от режимов термической обработки и при 600 °С составляет $\sigma_{100}^{600\text{ }^\circ\text{C}} = 280$ - 300 МПа. Дисперсные выделения фазы Ti_3Al в сплаве ВТ18У образуются при 450-650° С.

Структура сплавов ВТ18 и ВТ18У в оптическом микроскопе напоминает структуру ($\alpha + \beta$)- сплавов. Изменение механических свойств зависит в основном от морфологии α -твердого раствора, по границам зерен которого выделяется Ti_3Al .

**«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

**КОНТРОЛЬНО-ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ №2
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»
СТУДЕНТА 2 КУРСА
МЕХАНИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА
ПЕТРОВА Петра Петровича**

Проверил преподаватель
И. Иванов

Москва 2009

Задача №1. Вычертите диаграмму состояния железо-карбид железа, опишите превращения и постройте кривую нагрева в интервале температур от 0 до 1600 °С (с применением правила фаз) для сплава, содержащего 1,6 % С. Для заданного сплава определите при температуре 1350 °С процентное содержание углерода в фазах и количественное соотношение фаз.

Диаграмму Fe-C построим в координатах «температура – концентрация углерода» без перитектического превращения, а кривую нагрев в координатах «температура – время» (рисунок 1)

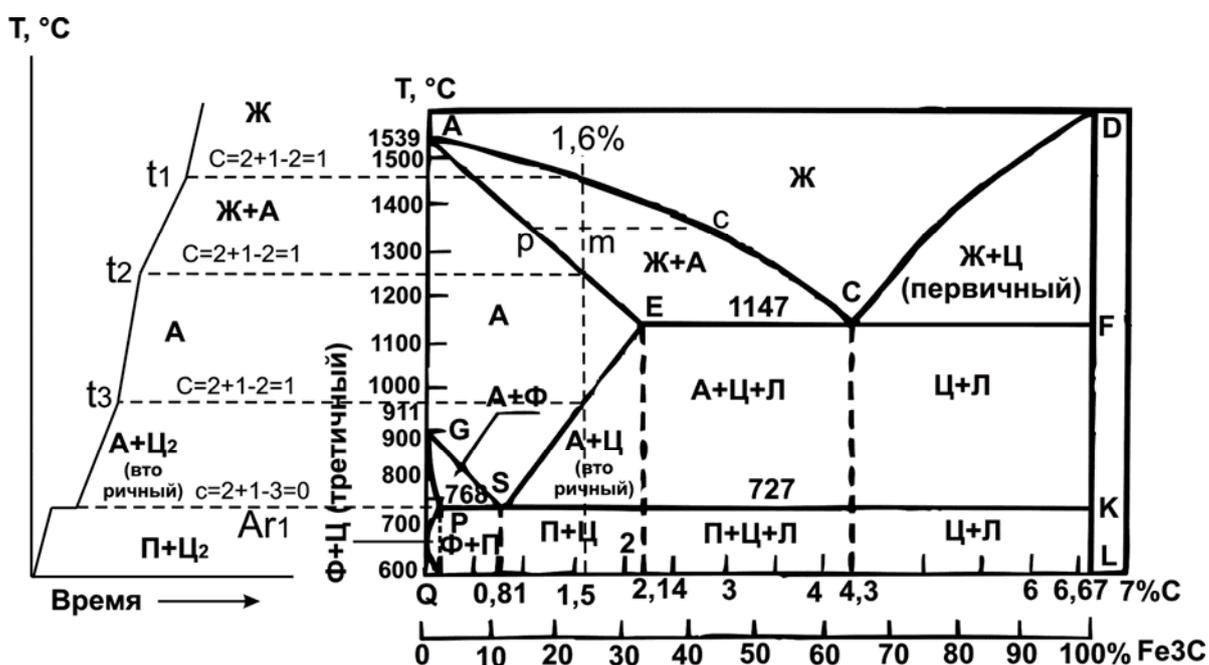


Рисунок 1 – Диаграмма Fe-C и кривая нагрева

Рассмотрим превращения, протекающие в заэвтектоидной стали, содержащей 1,6% С. Сталь начинает затвердевать при температуре t_1 . На кривой охлаждения при этой температуре наблюдается перелом, вызываемый выделением из жидкости кристаллов аустенита ($C = 2 + 1 - 2 = 1$). При t_2 сплав затвердевает и до температуры t_3 (критическая точка A_{cm}) состоит только из кристаллов аустенита.

По достижении точки t_3 (линии A_{cm}) аустенит оказывается насыщенным углеродом и при дальнейшем понижении температуры распадается с выделением вторичного цементита. Поэтому ниже A_{cm} (т. е. ниже линии ES) сплав становится двухфазным (аустенит + вторичный цементит). По мере выделения цементита концентрация углерода в аустените уменьшается (линия ES). При снижении температуры до A_{r1} (727 °C) аустенит, содержащий 0,8% С (точка S), распадается с образованием перлита.

Эти же превращения претерпевают все заэвтектоидные стали; после охлаждения они состоят из перлита и вторичного цементита, который

выделяется в виде сетки по границам бывшего зерна аустенита или в виде игл. При комнатной температуре сплав состоит из перлита и вторичного цементита и называется заэвтектоидной сталью.

Рассмотрим соотношение фаз при температуре 1350 °С:

Для определения количество жидкой и твердой фаз, а также концентрации углерода в них воспользуемся правилом отрезков.

$$C = \frac{p_m}{p_c} = \frac{1,6 - 1,1}{2,75 - 1,1} \cdot 100\% = 30,3\%$$

Содержание углерода в жидкой фазе – 2,75%

Определим количество твердой фазы

$$T = 100 - Ж = 100 - 30,3 = 69,7 \%$$

Содержание углерода в твердой фазе – 1,1%

Задача №2. Три образца низкоуглеродистой стали подверглись холодной деформации: первый на 5 %, второй на 15 %, и третий на 25 %, а затем нагрели до 700 °С.

Дать пояснение, в каком образце после нагрева зерно будет более крупным и как повлияет рост зерна на свойства стали?

На конечный размер зерна при рекристаллизации влияют температура, время отжига, степень деформации, размер зерна до деформации, скорость нагрева и химический состав сплава. В данной задаче изменялись два параметра – температура и размер зерна при деформации.

При увеличении температуры рекристаллизационного отжига возрастают скорости зарождения и роста кристаллов недеформированной структуры. Однако все образцы нагревались до одинаковой температуры. Поэтому рассмотрим влияние степени деформации. Максимальный размер зерна достигается при степени деформации 10 - 15 %, которую называют критической. При критической степени деформации наблюдается большая неоднородность наклепа соседних зерен, поэтому отдельные границы перемещаются на расстояния, соизмеримые с размером зерен, т.е. растут за счет соседних зерен. При степени деформации больше критической происходят два процесса - укрупнение зерен за счет перемещения исходных границ и рост новых зерен из центров первичной рекристаллизации. Второй процесс снижает средний размер зерна. Рост размера зерна при рекристаллизации сильно тормозят трудно растворимые металлические соединения, которые препятствуют миграции границ.

Таким образом, наибольший размер зерна будет у второго образца, которое приводит к резкому падению всех механических свойств. Металл с крупным зерном после рекристаллизации становится хрупким и склонным к образованию трещин и выкрашиванию кусков.

Во избежания ухудшения механических свойств должны быть строго установлены температура и степень деформации. Рекристаллизация – процесс необратимый и сильно выросшее зерно никаким последующим нагревом нельзя исправить.

