

Раздел I. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Тема 1.2. Строение металлов и основные сведения из теории сплавов

Занятие №1.

Учебные вопросы:

1. Кристаллическое строение металлов. Типы кристаллических решеток
2. Кристаллизация металлов
3. Реальное строение металлов
4. Аллотропические (полиморфные) превращения чистого железа. Анизотропия
5. Методы обнаружения дислокаций

1. Кристаллическое строение металлов. Типы кристаллических решеток

Чистые металлы и их сплавы в твердом виде представляют собой кристаллические тела, состоящие из зерен (кристаллитов), тесно прилегающих друг к другу (рис. 1.1).

Кристаллическое строение металлов и сплавов ясно наблюдается на поверхности их изломов. О кристаллическом строении металлов можно также судить по наличию дендритных (древовидных) кристаллов правильных очертаний, образующихся в усадочных раковинах больших слитков при медленном их охлаждении. Признаки дендритного строения иногда можно видеть и на поверхности застывших слитков.

С особенной наглядностью зернистое строение металлов и сплавов обнаруживается при рассмотрении под микроскопом так называемых микрошлифов. Последние представляют собой образцы металлов, приготовленные для исследования под микроскопом. Микрошлиф имеет отполированную поверхность, протравленную соответствующим травителем. Под микроскопом на поверхности шлифа обнаруживаются фигуры различной формы и величины (см. рис. 1.1). Эти фигуры представляют собой зерна, а линии, ограничивающие их, являются следом пересечения граней зерен с плоскостью шлифа.

Структура металлов и сплавов, видимая невооруженным глазом или через лупу с увеличением не свыше 10 раз, называется **макроструктурой**. Структура же, которая обнаруживается только под микроскопом называется **микроструктурой**. Современные металломикроскопы позволяют получать увеличения в пределах от 100 до 7000 раз и выше.

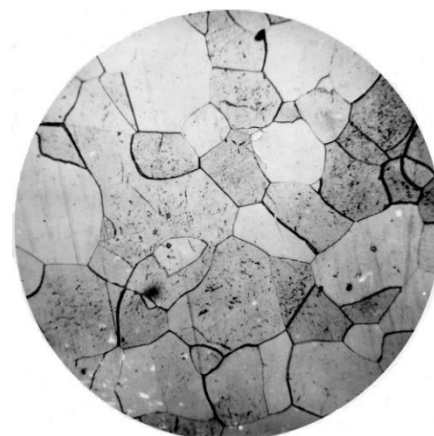


Рис. 1.1. Зернистая структура металла (техническое железо)

Пространственные решетки чистых металлов

Все металлы и металлические сплавы, независимо от способа их получения, имеют кристаллическое строение, которое характеризуется упорядоченным расположением атомов (ионов). В аморфных телах атомы располагаются хаотически, без определенного порядка.

Сила связи в металлах определяется силами отталкивания и притяжения между ионами и электронами, которые не имеют резко выраженного направленного характера. Атомы (ионы) стремятся расположиться на таком расстоянии друг от друга, чтобы энергия взаимодействия была минимальной. Поэтому в металлах атомы располагаются закономерно, образуя правильную кристаллическую решетку, что соответствует минимальной энергии взаимодействия атомов.



Если мысленно соединить между собой центры атомов, то получится система, состоящая из множества равных параллелепипедов. Наименьший параллелепипед, с помощью которого можно построить всю пространственную решетку путем непрерывных параллельных переносов его в трех направлениях, называется **элементарной ячейкой**. Пространственные решетки разных металлов различаются формой и размерами кристаллических ячеек.

Гипотеза о наличии пространственных решеток у кристаллических тел была высказана в древние времена. Однако экспериментальное подтверждение кристаллического строения стало возможным только после открытия лучей Рентгена, которые были использованы ученым Лауэ в 1912 г.

Для описания пространственной решетки того или иного кристалла пользуются пространственной системой, при этом оси координат выбирают так, чтобы они совпадали с какими-либо тремя ребрами кристалла, сходящимися в одной точке, и не лежали в одной плоскости (рис. 1.2).

Пространственные решетки разделяются на семь систем (сингоний), исходя из соотношения между осевыми единицами и углами. Если через a , b и c обозначить ребра ячейки, а углы между ними через α , β и γ , то в зависимости от соотношения размеров ребер и величин углов можно выделить следующие кристаллические решетки:

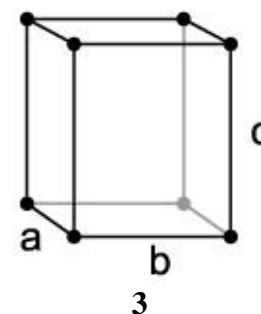
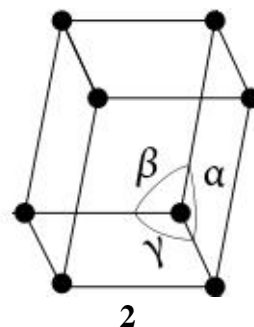
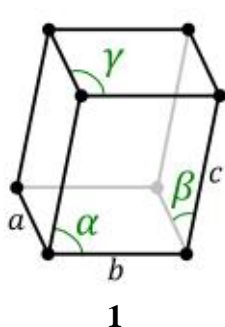
1. **триклинная** — наименьшая симметрия, нет одинаковых углов, нет осей одинаковой длины, $a \neq b \neq c$; $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$;
2. **моноклинная** — два прямых угла, нет осей одинаковой длины, $a \neq b \neq c$; $\alpha = 90^\circ$, $\beta \neq 90^\circ$, $\gamma = 90^\circ$;
3. **ромбическая** — три прямых угла (поэтому ортогональна), нет осей одинаковой длины, $a \neq b \neq c$; $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$;
4. **гексагональная** — две оси одинаковой длины в одной плоскости под углом 120° , третья ось под прямым углом, $a = b \neq c$; $\alpha = \beta = 120^\circ$; $\gamma = 90^\circ$;
5. **ромбоэдрическая (тригональная)** — три оси одинаковой длины и три равных угла, не равных 90° , $a = b = c$; $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$;
6. **тетрагональная** — две оси одинаковой длины, три прямых угла, $a = b \neq c$; $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$;
7. **кубическая** — высшая степень симметрии, три оси одинаковой длины под прямым углом, $a = b = c$; $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$.

У металлов наиболее часто встречаются: кубическая объемно-центрированная, кубическая гранецентрированная и гексагональная плотноупакованная решетки (рис. 1.3).

В элементарной ячейке кубической объемно-центрированной решетки атомы расположены в вершинах и в центре куба (рис. 1.3, а). Такую решетку имеют α -железо, молибден, ванадий, вольфрам и др.

В элементарной ячейке гранецентрированной кубической решетки атомы расположены в вершинах и в центре каждой грани куба (рис. 1.3, б). Такую решетку имеют никель, серебро, золото, свинец, медь, γ -железо, алюминий.

В элементарной ячейке гексагональной решетки атомы расположены в вершинах шестиугольных оснований призмы, в центре этих оснований и внутри призмы (рис. 1.3, в). В гексагональную решетку кристаллизуются: магний, титан, кадмий, цинк, цирконий и др.



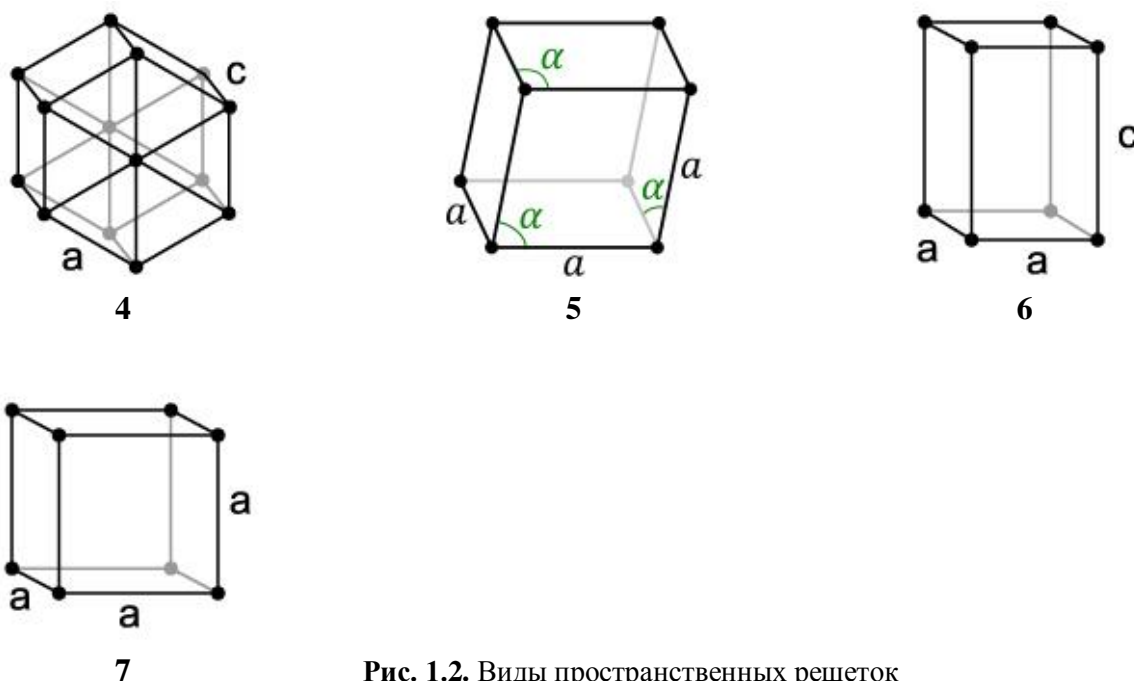


Рис. 1.2. Виды пространственных решеток

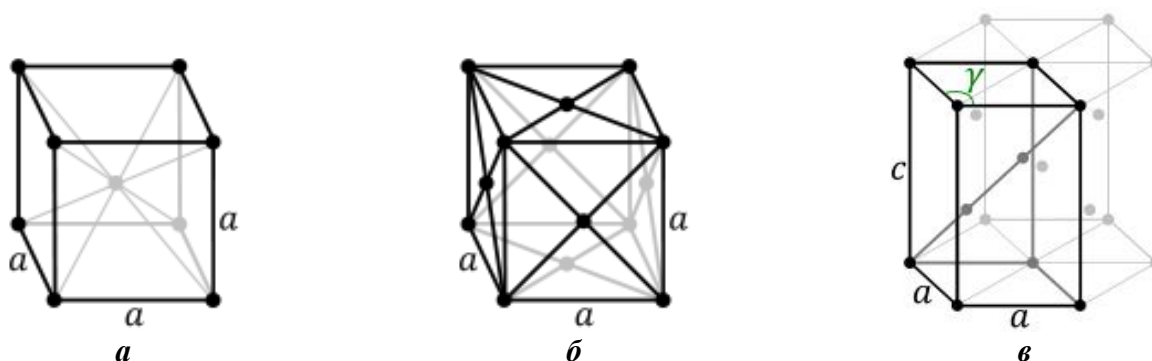


Рис. 1.3. Кубические пространственные решетки металлов

2. Кристаллизация металлов

Любой металл или сплав может находиться в твердом, жидком или газообразном состоянии. Переход чистых металлов из одного состояния в другое происходит при определенных температурах.

Плавление металлов и сплавов состоит в разрушении кристаллических решеток вследствие увеличения амплитуды колебания с повышением температуры.

Переход же металлов из жидкого состояния в твердое сопровождается образованием кристаллических решеток. Переход металла из жидкого состояния в твердое называется **первичной кристаллизацией**. Она протекает вследствие перехода вещества к термодинамически более устойчивому состоянию, с меньшей свободной энергией.

Образование зерен происходит в процессе перехода металла из жидкого состояния в твердое. Этот процесс протекает следующим образом.

В жидкой массе металла или сплава, охлажденного до температуры затвердевания, возникают так называемые центры кристаллизации, представляющие собой первые зародыши кристаллов. Число зародышей, образующихся в единицу времени, принято называть **числом центров кристаллизации**. Около каждого такого центра группируются атомы металла, располагаясь в строго определенном порядке, наподобие кирпичей в каменной кладке.

Таким образом, каждый зародыш постепенно обрастает твердым металлом и увеличивается в размерах.

Рост кристаллов совершается с определенной скоростью, называемой «скоростью кристаллизации». Процесс кристаллизации кончается тогда, когда отдельные кристаллы, растущие в разных направлениях навстречу друг другу, заполняют все промежутки и достигнут взаимного тесного соприкосновения.

Вследствие того что кристаллы к концу своего роста оказываются окруженными соседними плотно прилегающими кристаллами, они приобретают неправильную внешнюю форму, несмотря на правильность своего внутреннего строения (правильность расположения атомов). Такие неправильной формы кристаллы получили наименование **зерен** или **кристаллитов**.

Картина постепенного роста зерен при затвердевании жидкого металла представлена на рис. 1.4.

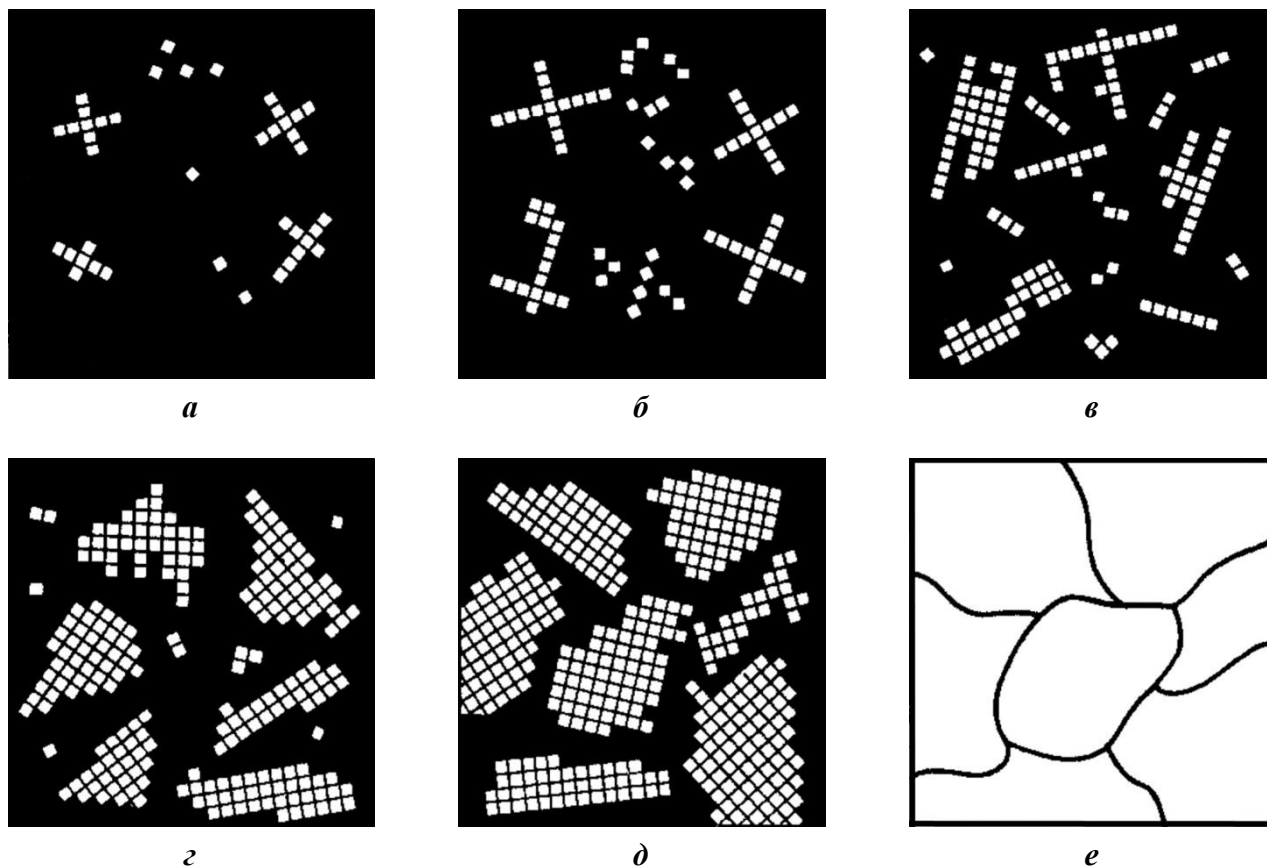


Рис. 1.4. Схема процесса образования зерен
a — образование центров кристаллизации; *б, в, г* — рост кристаллов; *д* — теснота мешает кристаллам принять правильную форму; *е* — зерна

Величина зерен, образующихся при затвердевании расплавленного металла или сплава, зависит от многих факторов и прежде всего от скорости охлаждения. При очень быстром охлаждении зерна получаются более мелкими. В случае медленного охлаждения зерна достигают более крупных размеров.

Как общее правило следует указать, что чем мельче зерна, тем выше механические качества металлов и сплавов. Крупнозернистая структура, наоборот, свидетельствует о малой крепости и вязкости металла. Такая структура часто встречается в литых изделиях.

Для получения мелкозернистой структуры в литейной практике применяют различные способы, позволяющие увеличить скорость охлаждения жидкого металла: отливка производится в металлические формы (изложницы), изготавливаются специальные приспособления для отвода тепла от изложниц и т. д.



Мелкозернистую структуру и высокие механические свойства металлические изделия получают в результате холодной или горячей механической обработки —ковки, штамповки, прокатки и пр. Кроме этого, у некоторых сплавов, как например, у сталей, мелкозернистую структуру можно получить не только механической, но и термической (тепловой) обработкой.

В отличие от металлов такие материалы, как стекло, различные смолы и т. д., имеют не кристаллическое, а аморфное строение. Аморфные тела представляют собой загустевшие жидкости с беспорядочным (хаотическим) расположением атомов.

3. Реальное строение металлов

Кристаллические вещества состоят из одного или из множества кристаллов (зерен), которые разделяются границами зерен. Как правило, металл состоит из большого числа кристаллов, различно ориентированных в пространстве. Такое тело называется поликристаллическим.

В совершенном кристалле правильное периодическое расположение атомов должно простирается до бесконечности. Однако таких кристаллов в природе не существует.

Применение электронного микроскопа и рентгеновского анализа для исследования строения металлов позволило установить, что реальный единичный кристалл (т. е. монокристалл или любое зерно поликристаллического металла) не имеет идеально правильного расположения атомов по всему объему. Кристаллическая решетка реального кристалла является несовершенной. Различают следующие виды несовершенной кристаллической решетки:

- точечные, т. е. малые во всех измерениях; к ним относятся атомы примесей и вакансии (или вакантные места кристаллической решетки) — пустые, не занятые атомами узлы решетки;
- линейные, т. е. малые в двух измерениях, но относительно протяженные в третьем, к ним относятся дислокации;
- поверхностные, или плоские, которые малы только в одном измерении и имеют большую протяженность в двух других.

Образование точечных дефектов связано с диффузионным передвижением атомов и присутствием в металле примесей, искажающих его кристаллическую решетку.

Под диффузией понимают перемещение атомов в кристаллическом теле на расстояния, превышающие средние межатомные расстояния данного вещества. Если перемещения атомов не связаны с изменением концентрации в отдельных объемах, то такой процесс называют **самодиффузией**.

Процесс диффузии в кристаллическом теле объясняется тем, что под влиянием тепловых колебаний отдельные атомы, кинетическая энергия которых значительно превышает средние значения, могут выходить из правильного положения в узлах кристаллической решетки в междоузлия, на поверхность кристалла или в ближайшую дислокацию.

Избыточная кинетическая энергия, позволяющая атомам переходить из одного положения равновесия в другое, получила название энергии активации — Q кал/г атом.

Выход атома из узла кристаллической решетки сопровождается образованием в ней вакантных мест, или «дырок» (рис. 1.3).

Вакантные узлы не остаются неподвижными. В процессе теплового движения «дырки» перемещаются, поскольку рано или поздно один из окружающих вакансию атомов перейдет на ее место, освобождая при этом свое место, которое может быть занято другими атомами, и т. д. Следовательно, вакансия в кристалле непрерывно перемещается — диффундирует. Чем выше температура, тем больше вакансий и тем быстрее протекают диффузионные процессы.

Наиболее существенными дефектами кристаллического строения, влияющими на многие свойства металла, являются линейные несовершенства, частным случаем которых являются дислокации. Эти несовершенства образуются в процессе кристаллизации металлов, при росте образующихся кристаллитов, а также под влиянием объемных изменений при переходе металла из жидкого состояния в твердое, вызывающих большие внутренние напряжения.



4. Аллотропические (полиморфные) превращения чистого железа. Анизотропия

Изотропия и анизотропия

Свойства жидкости во всех направлениях одинаковы. Они проявляют по всем направлениям одинаковое сопротивление прохождению электрического тока, распространению света и т. п. Аморфные тела обладают одинаковыми свойствами во всех направлениях, т. е. они изотропны.

В отличие от аморфных тел, свойства кристаллических тел в различных направлениях различны. Это явление носит название анизотропии. Анизотропия является характерной особенностью свойств любого кристалла. Анизотропия кристаллических тел связана с неодинаковой плотностью атомов в различных плоскостях и направлениях решетки.

Металлы, применяемые в технике, являются поликристаллическими, т. е. состоят из большого числа анизотропных кристаллитов, которые неупорядоченно ориентированы один по отношению к другому. Поэтому их свойства во всех направлениях можно считать одинаковыми, т. е. поликристаллические тела изотропны. Если в поликристаллическом теле кристаллы имеют преимущественную ориентировку в каких-то направлениях, то изотропность не будет наблюдаться. Это достигается путем холодной деформации. В этом случае поликристаллический металл приобретает анизотропность.

Полиморфизм металлов

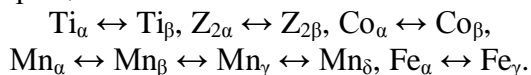
Полиморфизм — свойство некоторых веществ, при одном и том же химическом составе иметь различное кристаллическое строение. По отношению к химическим элементам слово полиморфизм заменяется словом аллотропия. Различные аллотропические формы элементов были известны давно. Например, белый и красный фосфор, углерод в виде алмаза и графита.

Аллотропические формы различаются между собой по кристаллическому строению, внешнему виду и по свойствам, проявляемым данным веществом.

Процесс перестройки атомов у одного и того же металла в новый тип кристаллической решетки происходит при изменении температуры и давления. Основное значение имеет температура. В процессе аллотропического превращения выделяется скрытая теплота кристаллизации, если превращение идет при охлаждении, и поглощается теплота в случае нагрева. Перестройки сопровождаются выделением или поглощением тепла и проходят при постоянной температуре.

Разные аллотропические формы обозначаются буквами. Форма, устойчивая при самой низкой температуре, обозначается буквой α , следующая β , затем γ и т. д. Например Sn_α , Sn_β , Sn_γ и т. д.

Аллотропические превращения имеют многие металлы:



Полиморфизм (аллотропия) чистого железа

При нагреве чистого железа (рис. 1.5) до температуры 768°C оно обладает магнитными свойствами. При нагреве выше этой температуры железо теряет магнитные свойства. При температуре 910°C происходит превращение кубической объемно центрированной решетки (α -железо) в кубическую гранецентрированную (γ -железо). При температуре 1400°C происходит превращение гранецентрированной кубической решетки в объемно центрированную решетку и обозначается β -железо. При охлаждении эти процессы происходят в обратном порядке, хотя значения температуры в некоторых точках превращений не совпадают.

Температурные точки, при которых происходят аллотропические превращения, называются критическими и обозначаются буквой «А». При охлаждении к этой букве добавляют букву «r», а при нагреве — «с».

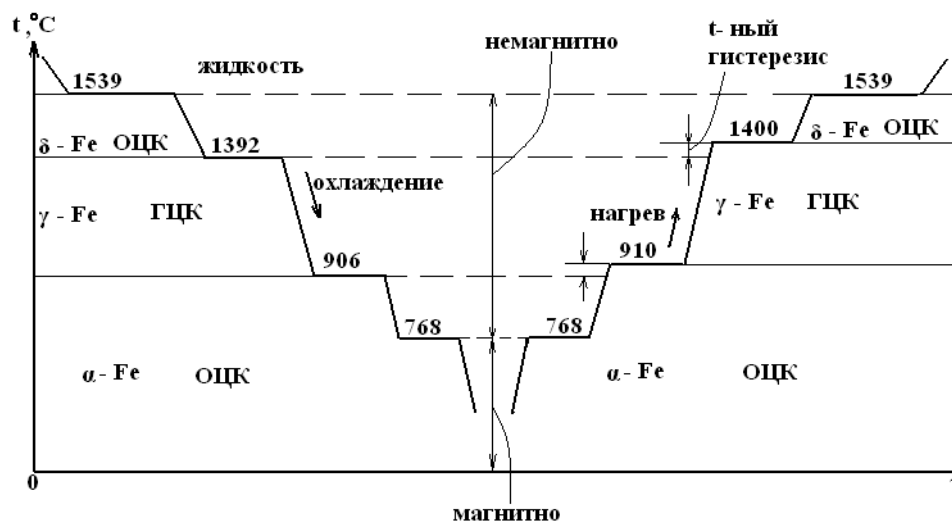


Рис. 1.5. График аллотропического превращения чистого железа

5. Методы обнаружения дислокаций

Основы теории дислокаций

Представление о дислокации возникло при изучении кристаллической природы пластического течения. До последнего времени считали, что при приложении к кристаллическому телу внешних усилий деформация (сдвиг) происходит одновременно по всему сечению кристалла. Такой сдвиг называется жестким, или синхронным. При нем приходится преодолевать одновременно сопротивление всех атомов по плоскости сдвига. Если, исходя из этих предположений, подсчитать теоретическую прочность кристалла, то она оказывается в несколько сот раз больше реальной прочности, т. е. реальный металл разрушается при нагрузках значительно меньше теоретических. Столь большое расхождение между величинами реального и теоретического сопротивления сдвигу заставило отвергнуть «классическую» схему жесткого сдвига. Было предложено искать причину в особых несовершенствах кристаллической решетки.

Теория несовершенств объяснила не только реальную прочность кристаллов, но и ряд других механических и физических свойств, особенностей зависимости деформации от напряжения, старения, изменения электропроводности, механизма аллотропных превращений и т. п.

Наиболее изучены и имеют большое значение в вопросах прочности и пластичности краевая (линейная) и винтовая дислокации.

Существует несколько методов обнаружения дислокаций.

1. Метод непосредственного наблюдения дислокаций при электронно-микроскопическом исследовании тонких металлических фольг. Контраст в данном случае получается вследствие деформаций решетки вокруг дислокаций, которые уменьшают прозрачность фольги для электронов.

2. Декорирование дислокаций путем введения подходящим образом выбранных «примесей», осаждающихся на дислокациях. Непрозрачные осадки, расположенные вдоль линии дислокации, делают ее видимой под микроскопом в оптически прозрачных или прозрачных в инфракрасном свете кристаллах. Таким образом можно наблюдать дислокации в кристаллах кремния, щелочногалоидных кристаллах.

3. Метод выявления ямок травления, соответствующих выходам дислокаций на поверхность кристалла. Образование ямок травления в местах выхода дислокаций на поверхность кристаллов объясняется тем, что вблизи дислокации понижается энергия, необходимая для удаления с поверхности твердого тела атома или электрона. Поэтому эти места наиболее подвержены травлению.

Травление может быть химическим, термическим или электролитическим.

4. Рентгеновский метод (по измельчению блоков).