

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ВОСТОЧНОУКРАИНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. ВЛАДИМИРА ДАЛЯ
КРАСНОДОНСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ ИНЖЕНЕРИИ И МЕНЕДЖМЕНТА
КАФЕДРА ИНЖЕНЕРНЫХ ДИСЦИПЛИН

Колесников В.А.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

по дисциплине

ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОВ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

ЧАСТЬ 1. СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

для студентов направления «Машиностроение»

Специальность: 7.090221 «Оборудование перерабатывающих и пищевых производств»

УТВЕРЖДЕНО

На заседании кафедры

«Инженерных дисциплин»

Протокол № 1 от 30.08.10 г.

КРАСНОДОН 2010

УДК 669.01 (075.8)

Конспект лекций по дисциплине «Технология металлов и материаловедение». Часть 1. Строение металлов и сплавов. Для студентов, которые обучаются по направлению «Машиностроение», специальность: 7.090221 «Оборудование перерабатывающих и пищевых производств». Конспект лекций на русском языке. Сост: доц., к.т.н. Колесников В.А. Краснодон: изд-во ВНУ им. В.Даля, 2010. 48 с.

Изложены разделы, о строении твердых тел, представлены общие понятия о металлах, атомно-кристаллическое строение металлов. Приведены вопросы к разделам. Табл. 1. Рис. 23. Ист. 58.

Сост.:

В.А. Колесников, доц., к.т.н.

Отв. за выпуск

В.А. Колесников, доц., к.т.н.

Рецензент:

Зав. каф.
микро и наноэлектроники,
совместитель каф. прикладного
материаловедения
д.т.н., проф.

Г. Н. Кожемякин

ВСТУПЛЕНИЕ

Уважаемые студенты, Вам предстоит прослушать курс и изучить такую дисциплину как «**Технология металлов и материаловедение**». Технология металлов (ТМ) это совокупность приёмов и способов получения и обработки металлических материалов, а также научная дисциплина, охватывающая комплекс указанных вопросов. Понятие «Т.М.» охватывает всё содержание понятия «металлургия» в его широком значении, то есть: подготовку металлических руд и извлечение из них металлов, производство металлических сплавов, термическую обработку, химико-термическую обработку, термомеханическую обработку металлов, обработку металлов давлением (ковку, штамповку, прокатку, волочение и др.); кроме металлургии, Т. М. включает литейное производство, сварку и пайку металлов, обработку металлов со снятием стружки (Обработка металлов резанием) и без снятия стружки (Электрофизические и электрохимические методы обработки), нанесение на металл защитных покрытий.

В начале 20 в. Т. М. представляла собой единую прикладную науку, во многом определяющую уровень технического развития; её теоретической основой служили металлография (ныне материаловедение), металлургическая химия и основы теории резания металлов. В результате интенсивного развития теории и практики Т. М. на протяжении 20 в., в особенности в 30-е и более поздние годы, многие разделы Т. м. выделились в самостоятельные области технических наук и технологии, каждая из которых развивалась на собственной теоретической основе.

В связи с расширением применения конструкционных материалов на неметаллической основе (пластмассы, стекло, керамика, резина и др.) намечается тенденция к замене понятия «Т.М.» понятием «технология материалов» («материаловедение»), основной раздел которого составляет технология металлов.

Лекции, которые будут прочитаны в течение данного семестра, помогут Вам разобраться в физико-химической сущности строения и свойств различных материалов. Одновременно с изучением этих вопросов, вы более глубоко познакомитесь с физическими и химическими свойствами элементов, информация о которых заложена в периодической системе Д.И. Менделеева. Следует особо отметить, что строение атомов химических элементов определяет структуру и энергию образуемых ими химических связей, которые, в свою очередь, лежат в основе всего комплекса свойств веществ и материалов. Лишь опираясь на понимание химического взаимодействия атомов, можно управлять процессами, происходящими в веществах, и получать заданные рабочие характеристики.

Материаловедение - наука, изучающая металлические и неметаллические материалы, применяемые в технике, объективные закономерности зависимости их свойств от химического состава, структуры, способов обработки и условий эксплуатации.

Учебная дисциплина "Материаловедение" - основная в общем цикле технических дисциплин при подготовке специалистов по многоуровневой образовательно-профессиональной структуре вузов (неполное высшее образование, базовое высшее образование - бакалавр, и полное высшее образование - дипломированный инженер).

Материалом называется вещество, обладающее необходимым комплексом свойств, для выполнения заданной функции отдельно или в совокупности с другими веществами.

Существует постоянная взаимосвязь между конструкцией оборудования пищевых и перерабатывающих производств и технологией их производства. Создание новых конструкционных материалов и получения заготовок и изготовление деталей позволяют конструктивно совершенствовать современное оборудование пищевых и перерабатывающих производств.

ЛЕКЦИЯ 1. СТРОЕНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

1.1. АТОМНО-КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ

1.1.1. ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ О МЕТАЛЛАХ

Человек использовал металлы с незапамятных времен. Именно благодаря целому ряду свойств, металлы являются самым незаменимым конструкционным материалом, с помощью которого человек смог развивать и преобразовывать цивилизацию.

Метáлл (название происходит от лат. *Metallum* — шахта) — группа элементов, обладающая характерными *металлическими свойствами*, такими как высокая тепло- и электропроводность, положительный температурный коэффициент сопротивления, высокая пластичность и др.

Из 119 химических элементов, открытых на данный момент (из них Международный химический союз официально признал 112 элементов, на рис. 1.1.1. представлена периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева), к металлам относят:

6 элементов в группе щелочных металлов,

4 в группе щёлочноземельных металлов,

38 в группе переходных металлов,

11 в группе лёгких металлов,


7 в группе полуметаллов,

14 в группе лантаноиды + лантан,

14 в группе актиноиды (физические свойства изучены не у всех элементов) + актиний, вне определённых групп бериллий и магний.

Таким образом, к металлам из всех открытых относят 98 элементов.

Из них наибольшее распространение в земной коре имеют следующие (табл. 1.1.1). Количество других металлов небольшое и в общем не превышает 2,0 %. Такие важные для техники металлы, как олово, цинк, кобальт, свинец, вольфрам, никель, ванадий, уран, молибден содержатся в земной коре в тысячных частях процента.



Д.И. Менделеев
1834–1907

СИМВОЛ ЭЛЕМЕНТА →

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР →

Периоды	Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
Ряды	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
1	H водород 1,008								He гелий 4,003	
2	Li литий 6,941	Be бериллий 9,0122	B бор 10,811	C углерод 12,011	N азот 14,007	O кислород 15,999	F фтор 18,998		Ne неон 20,179	
3	Na натрий 22,989	Mg магний 24,312	Al алюминий 26,982	Si кремний 28,086	P фосфор 30,974	S сера 32,064	Cl хлор 35,453		Ar аргон 39,948	
4	K калий 39,102	Ca кальций 40,08	Sc скандий 44,956	Ti титан 47,88	V ванадий 50,942	Cr хром 51,996	Mn марганец 54,938	Fe железо 55,847	Co кобальт 58,933	Ni никель 58,71
5	Rb рубидий 85,468	Sr стронций 87,62	Y иттрий 88,906	Zr цирконий 91,224	Nb ниобий 92,906	Mo молибден 95,94	Tc технеций [99]	Ru рутений 101,07	Rh родий 102,906	Pd палладий 106,4
6	Cs цезий 132,905	Ba барий 137,34	La лантаноиды [140]	Hf гафний 178,49	Ta тантал 180,948	W вольфрам 183,85	Re рений 186,207	Os осмий 190,2	Ir иридий 192,22	Pt платина 195,08
7	Fr франций [223]	Ra радий [226]	Ac актиноиды [227]	Pb свинец 207,19	Bi висмут 208,98	Po полоний [210]	At астат [210]	Hg ртуть 200,59	Tl таллий 204,37	Pb свинец 207,19
8		R₂O	R₂O₃	RO₂	R₂O₅	RO₃	R₂O₇			
9										
10										
Высшие оксиды										
Летучие водородные соединения										

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПО СЛОЯМ

- s-элементы
- p-элементы
- d-элементы
- f-элементы

Л А Н Т А Н О И Д Ы

А К Т И Н О И Д Ы

57 La лантан 138,906	58 Ce церий 140,12	59 Pr празеодим 140,908	60 Nd неодим 144,24	61 Pm прометий [145]	62 Sm самарий 150,4	63 Eu европий 151,96	64 Gd гадолиний 157,25	65 Tb тербий 158,925	66 Dy диспрозий 162,5	67 Ho гольмий 164,93	68 Er эрбий 167,26	69 Tm тулий 168,934	70 Yb ytterbium 173,04	71 Lu лютеций 174,97
89 Ac актиний [227]	90 Th торий 232,038	91 Pa протактиний [231]	92 U уран 238,029	93 Np нептуний [237]	94 Pu плутоний [244]	95 Am амерций [243]	96 Cm куриум [247]	97 Bk берклий [247]	98 Cf калifornий [251]	99 Es эйзенштейний [252]	100 Fm фермий [257]	101 Md менделеевий [258]	102 No нобелий [259]	103 Lr лоуренсий [260]

Рис. 1.1.1. Периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева

Таблица 1.1.1. Содержание металлов в земной коре [18]

Металлы	% к массе в земной коре	Металлы	% к массе в земной коре	Металлы	% к массе в земной коре
Алюминий	8,8	Натрий	2,6	Титан	0,6
Железо	5,1	Калий	2,6	Марганец	0,09
Кальций	3,6	Магний	2,1	Медь	0,01

Характерные свойства металлов:

- Металлический блеск (характерен не только для металлов: его имеют и неметаллы йод и углерод в виде графита).
- Хорошая электропроводность.
- Возможность лёгкой механической обработки (пластичность; однако, некоторые металлы, например германий и висмут, непластичны).
- Высокая плотность (обычно металлы тяжелее неметаллов).
- Высокая температура плавления (исключения: ртуть, галлий и щелочные металлы).
- Большая теплопроводность.
- В реакциях чаще всего являются восстановителями.

Свойства металлов обусловлены особенностями их строения. Согласно теории металлического состояния, металл представляет собой вещество, состоящее из положительных ядер, вокруг которых по орбитальям вращаются электроны. На последнем уровне число электронов невелико и они слабо связаны с ядром. Эти электроны имеют возможность перемещаться по всему объему металла, т.е. принадлежать целой совокупности атомов.

Это полезно знать:

Температуры плавления металлов лежат в диапазоне от $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ртуть) до $3410\text{ }^{\circ}\text{C}$ (вольфрам). Температура плавления большинства металлов (за исключением щелочных)

высока, однако некоторые “нормальные” металлы, например олово и свинец, можно расплавить на обычной электрической или газовой плите.

В зависимости от плотности, металлы делят на лёгкие (плотность $0,53 \div 5 \text{ г/см}^3$) и тяжёлые ($5 \div 22,5 \text{ г/см}^3$). Самым лёгким металлом является литий (плотность $0,53 \text{ г/см}^3$). Самый тяжёлый металл в настоящее время назвать невозможно, так как плотности осмия и иридия — двух самых тяжёлых металлов — почти равны (около $22,6 \text{ г/см}^3$ — ровно в два раза выше плотности свинца), а вычислить их точную плотность крайне сложно: для этого нужно полностью очистить металлы, ведь любые примеси снижают их плотность.

Большинство металлов пластичны, то есть металлическую проволоку можно согнуть, и она не сломается. Это происходит из-за смещения слоёв атомов металлов без разрыва связи между ними. Самыми пластичными являются золото, серебро и медь. Из золота можно изготовить фольгу толщиной $0,003 \text{ мм}$, которую используют для золочения изделий. Однако не все металлы пластичны. Проволока из цинка или олова хрустит при сгибании; марганец и висмут при деформации вообще почти не сгибаются, а сразу ломаются. Пластичность зависит и от чистоты металла; так, очень чистый хром весьма пластичен, но, загрязнённый даже незначительными примесями, становится хрупким и более твёрдым.

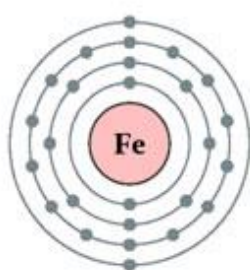
Все металлы хорошо проводят электрический ток; это обусловлено наличием в их кристаллических решётках подвижных электронов, перемещающихся под действием электрического поля. Серебро, медь и алюминий имеют наибольшую электропроводность; по этой причине последние два металла чаще всего используют в качестве материала для проводов. Очень высокую электропроводность имеет также натрий, в экспериментальной аппаратуре известны попытки применения натриевых токопроводов в форме тонкостенных труб из нержавеющей стали, заполненных натрием. Благодаря малому удельному весу натрия, при равном сопротивлении натриевые «провода» получаются значительно легче медных и даже несколько легче алюминиевых.

Высокая теплопроводность металлов также зависит от подвижности свободных электронов. Поэтому ряд теплопроводностей похож на ряд электропроводностей и лучшим проводником тепла, как и электричества, является серебро. Натрий также находит применение как хороший проводник тепла; широко известно, например, применение натрия в клапанах автомобильных двигателей для улучшения их охлаждения.

Гладкая поверхность металлов отражает большой процент света — это явление называется металлическим блеском. Однако в порошкообразном состоянии большинство

металлов теряют свой блеск; алюминий и магний, тем не менее, сохраняют свой блеск и в порошке. Наиболее хорошо отражают свет алюминий, серебро и палладий — из этих металлов изготавливают зеркала. Для изготовления зеркал иногда применяется и родий, несмотря на его исключительно высокую цену: благодаря значительно большей, чем у серебра или даже палладия, твёрдости и химической стойкости, родиевый слой может быть значительно тоньше, чем серебряный.

Цвет у большинства металлов примерно одинаковый — светло-серый с голубоватым оттенком (рис. 1.1.2). Золото, медь и цезий соответственно жёлтого, красного и светло-жёлтого цвета (рис. 1.1.3).



а)

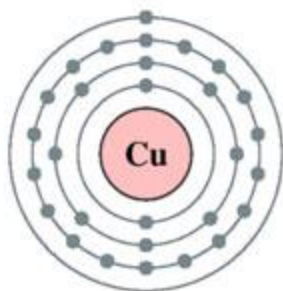


б)



в)

Рис.1.1.2. Схема строения атома железа – а; заготовка из чистого железа – б; руда из которой получают железо [19]



а)



б)



в)

Рис. 1.1.3. Схема строения атома меди – а; чистая медь – б; Сульфат меди(II) наиболее важная соль меди, часто служит исходным сырьём для получения других соединений -в [19]

Таким образом, свойства металлов определяются особенностями их строения: распределением и характером движения электронов в атомах; расположением атомов и ионов в пространстве, размерами, формой и

характером кристаллических образований. Также с особенностями атомного строения связан характер взаимодействия металлов, способность их создавать различные соединения, в которые входят несколько металлов (сплавы), металлы с неметаллами (например, карбиды, сульфиды и т.д.).

1.2. АТОМНО-КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА МЕТАЛЛОВ

Под атомно-кристаллической структурой понимают взаимное расположение атомов, существующее в кристалле. Кристалл состоит из атомов (ионов), расположенных в определенном порядке, который периодически повторяется в трех измерениях.

В кристаллах существует не только ближний, но и дальний порядок размещения атомов, т. е. упорядоченное расположение частиц в кристалле сохраняется на больших участках кристаллов. Для описания атомно-кристаллической структуры пользуются понятием пространственной или кристаллической решетки.

Кристаллическая решетка представляет собой воображаемую пространственную сетку, в узлах которой располагаются атомы (ионы), образующие металл (твердое кристаллическое тело). Наименьший объем кристалла, дающий представление об атомной структуре металла во всем объеме, получил название **элементарной кристаллической ячейки**.

Пластичность, теплопроводность и электропроводность обеспечиваются наличием «электронного газа». Устойчивость металла определяется электрическим притяжением между положительно заряженными ионами и обобщенными электронами (такое взаимодействие получило название металлической связи). Сила связи в металлах определяется силами отталкивания и силами притяжения между ионами и электронами. Атомы (ионы) располагаются на таком расстоянии друг от друга, чтобы энергия взаимодействия была минимальной (рис. 1.2.1).

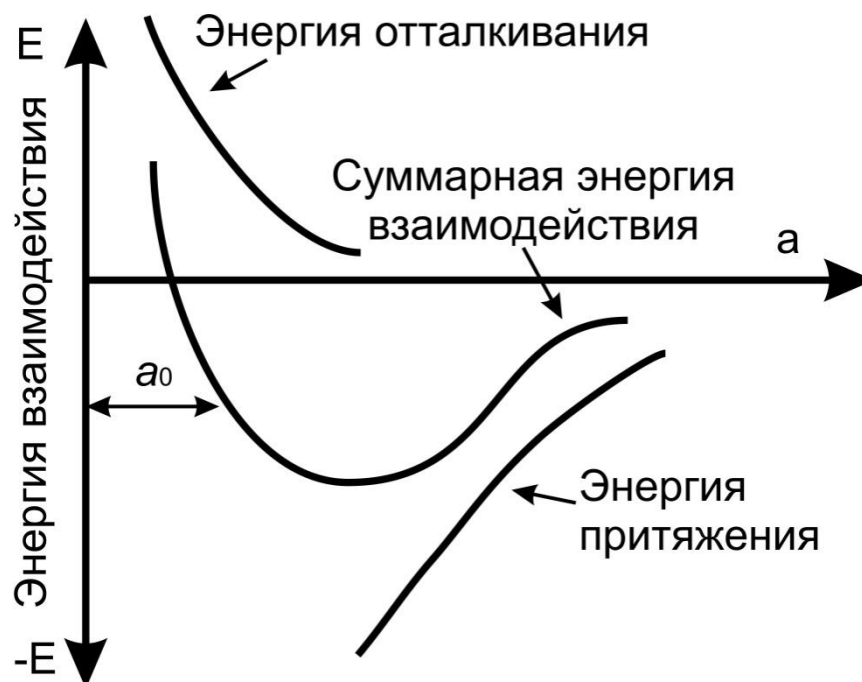


Рис. 1.2.1. Энергетические условия взаимодействия атомов в кристаллической решетке вещества

Величина a соответствует расстоянию между атомами в кристаллической решетке, а a_0 соответствует равновесному расстоянию между атомами. В связи с этим, в металле атомы располагаются закономерно, образуя правильную кристаллическую решетку, что соответствует минимальной энергии взаимодействия атомов.

Металлические состояния характеризуются высокой энергией связи между атомами. Мерой ее служит теплота сублимации (сумма энергии необходимой для перехода твердого металла к парообразному состоянию, для металла – от 20 до 200 ккал/(г·атом).

В твердых телах атомы могут размещаться в пространстве двумя способами:

- Беспорядочное расположение атомов, когда они не занимают определенного места друг относительно друга. Такие тела называются **аморфными**.

Аморфные вещества обладают формальными признаками твердых тел, т.е. они способны сохранять постоянный объем и форму. Однако они не имеют определенной температуры плавления или кристаллизации.

- Упорядоченное расположение атомов, когда атомы занимают в пространстве вполне определенные места, такие вещества называются *кристаллическими*.

1.2.1. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ РЕШЕТОК

Все металлы, затвердевающие в нормальных условиях, представляют собой кристаллические вещества, то есть укладка атомов в них характеризуется определённым порядком – периодичностью, как по различным направлениям, так и по различным плоскостям. Этот порядок определяется понятием *кристаллическая решетка*.

Кристаллограф Е.С. Федоров (1853-1919 г.) еще в 1890 г. доказал, что существует всего 230 пространственных групп симметрии, отражающих взаимное расположение атомов в любом кристалле.

Атомы совершают относительно своего среднего положения колебания с частотой около 10^{13} Гц. Амплитуда этих колебаний пропорциональна температуре.

Кристаллическая решетка это воображаемая пространственная решетка, в узлах которой располагаются частицы, образующие твердое тело.

Расстояния между атомами называют параметрами решеток и измеряют в нанометрах или в ангстремах. ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м} = 10 \text{ \AA}$). Например, у золота параметр решетки - 4,080 ангстрема, у платины - 3,92 ангстрема. Ангстрем обозначают значком \AA . Параметры кубических решеток характеризуются длиной ребра куба и обозначаются буквой a . Параметры a кубических решеток металлов находятся в пределах от 0,286 до 0,607 нм. Для металлов с гексагональной решеткой a лежит в пределах 0,228-0,398 нм, а c в пределах 0,357 - 0,652 нм.

Элементарная ячейка – элемент объема из минимального числа атомов, многократным переносом которого в пространстве можно построить весь кристалл.

Элементарная ячейка характеризует особенности строения кристалла.

Основными параметрами кристалла являются (рис. 1.3.1.):

- размеры рёбер элементарной ячейки. a , b , c – периоды решетки – расстояния между центрами ближайших атомов. В одном направлении выдерживаются строго определёнными.

- углы между осями (α , β , γ).

- координационное число (K) указывает на число атомов, расположенных на ближайшем одинаковом расстоянии от любого атома в решетке.

- базис решетки количество атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку решетки.

- плотность упаковки атомов в кристаллической решетке – объем, занятый атомами, которые условно рассматриваются как жесткие шары. Ее определяют как отношение объема, занятого атомами к объему ячейки (для объемно-центрированной кубической решетки – 0,68, для гранецентрированной кубической решетки – 0,74).

Параметры кристаллических решеток металлов могут быть измерены с помощью рентгеноструктурного анализа.

Один и тот же металл, может находиться в нескольких кристаллических формах, это явление носит название полиморфизма, или аллотропии. Перестройка кристаллических решеток при критических температурах называется полиморфными превращениями. Полиморфные модификации обозначаются греческими буквами α , β , γ и другими, которые в виде индекса добавляют к символу элемента. Полиморфную модификацию при самой низкой температуре обозначают буквой α , а при более высокой β и т.д.

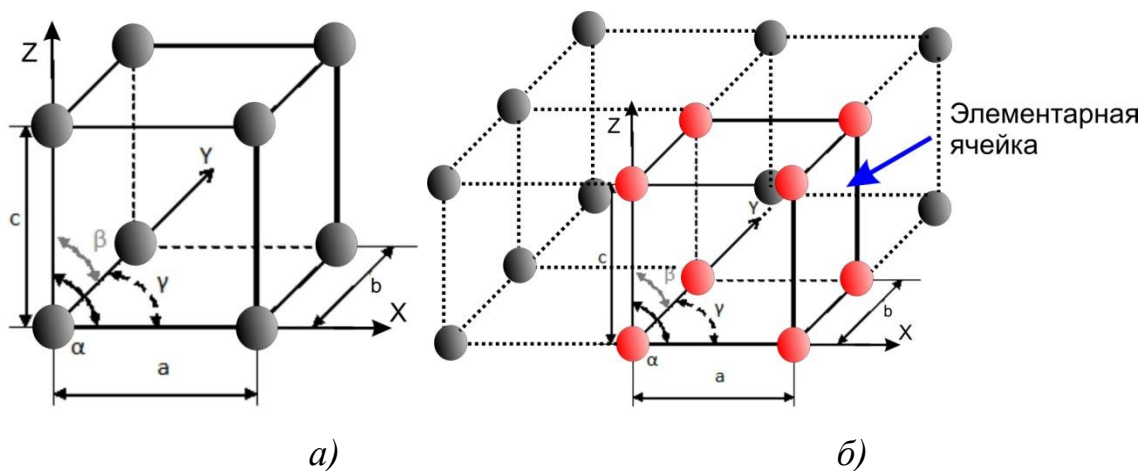


Рис. 1.2.1.1. Пример элементарной решетки металла: а - отдельная элементарная ячейка; б - пример элементарной ячейки в кристаллической решетке

Существует 7 кристаллических систем в зависимости от углов и параметров:

1	триклинная	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	$a \neq b \neq c$
2	моноклиная	$\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$	$a \neq b \neq c$
3	ромбическая	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a \neq b \neq c$
4	ромбовидная	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	$a = b \neq c$
5	кубическая	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = b = c$
6	тетрагональная	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = b < c$
7	гексагональная	$\alpha = \beta = 90^\circ \gamma = 120^\circ$	$a = b < c$

Они могут создавать 14 типов пространственных решеток.

Металлы имеют следующие типы кубических решеток - объемно центрированная (ОЦК) и гранецентрированная (ГЦК) кубические решетки.

Основу ОЦК-решетки составляет элементарная кубическая ячейка (рис. 1.3.3 а, 1.3.4 а), в которой положительно заряженные ионы металла находятся в вершинах куба, и еще один атом в центре его объема, т. е. на пересечении его диагоналей. Такой тип решетки в определенных диапазонах температур имеют α – железо, β железо, хром, молибден, ванадий, вольфрам, ниобий, и др. металлы.

У ГЦК-решетки (рис. 1.2.1.3 б, 1.2.1.4 б) элементарной ячейкой служит куб с центрированными гранями. Элементарная ячейка кубической гранецентрированной решетки ограничивается 14 атомами: 8 из них

расположено по вершинам куба и 6 - по граням. Подобную решетку имеют γ железо, алюминий, медь, никель, свинец, платина, серебро и др. металлы.

Третьей распространенной разновидностью плотноупакованных решеток является гексагональная плотноупакованная (ГПУ, рис. 1.2.1.2. в, 1.2.1.2. в). ГПУ-ячейка состоит из отстоящих друг от друга на параметр c параллельных центрированных гексагональных оснований. Три иона (атома) находятся на средней плоскости между основаниями. Элементарная ячейка гексагональной решетки ограничена 17 атомами, из них 12 атомов расположены по вершинам шестигранной призмы, 2 атома - в центре основ и 3 - в середине призмы.

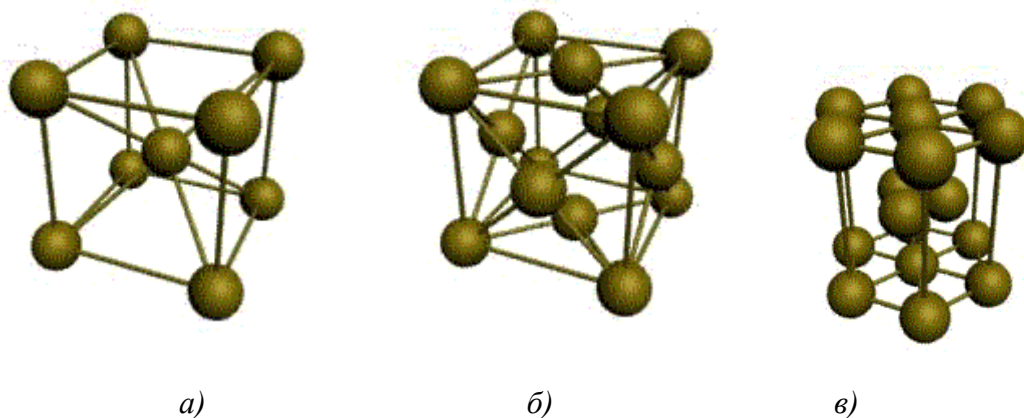


Рис. 1.2.1.2. Основные типы кристаллических решеток металлов [12]: а - объемно центрированная (ОЦК); б - гранецентрированная (ГЦК) кубические решетки; в - гексагональная плотноупакованная (ГПУ)

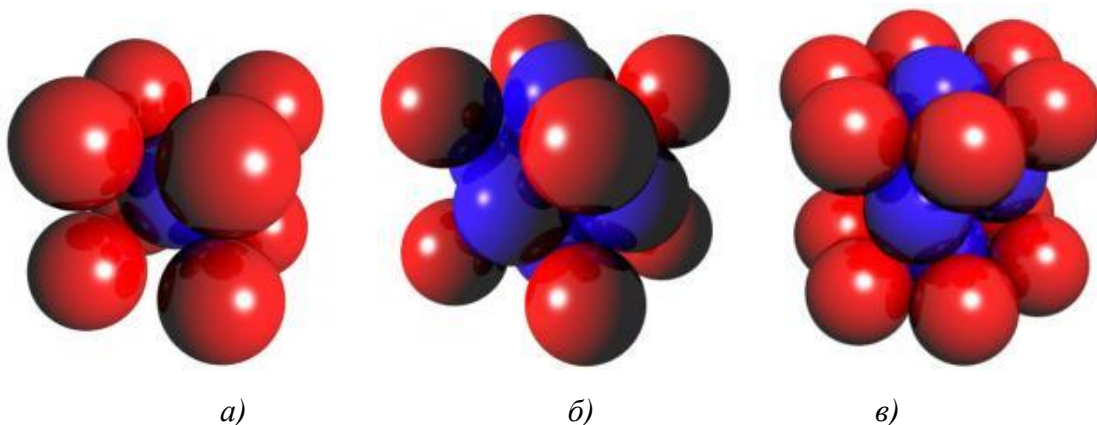


Рис. 1.2.1.3. 3D модели кристаллических решеток с учетом вращения электронов вокруг ядра атома [24].]: а - объемно центрированная (ОЦК); б - гранецентрированная (ГЦК) кубические решетки; в - гексагональная плотноупакованная (ГПУ)

У гексагональных решеток отношение параметра c/a всегда больше единицы. Такую решетку имеют магний, цинк, кадмий, бериллий, титан и др.

Примеры других типов решеток: тетрагональная объемно центрированная (Mg, Zn, Ti_{α} , Co_{α} , Cd) (рис. 1.2.1.4а), гексагональная с центрированным основанием (Sn_{β} , мартенсит) (рис. 1.2.1.4б).

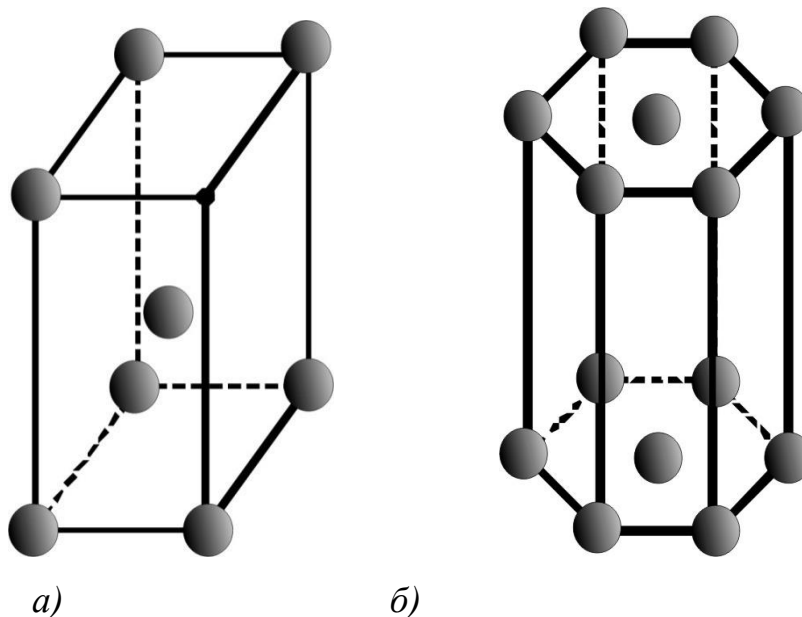


Рис. 1.2.1.4. А - тетрагональная объемно центрированная ; б - гексагональная с центрированным основанием

Сканирующая зондовая микроскопия показала себя, как наиболее эффективный метод для исследования нанообъектов и свойств поверхностей со сверхвысоким разрешением. С помощью атомно-силовых микроскопов можно увидеть строение вещества и рассмотреть их атомную структуру (рис. 1.2.1.5, 1.2.1.6).

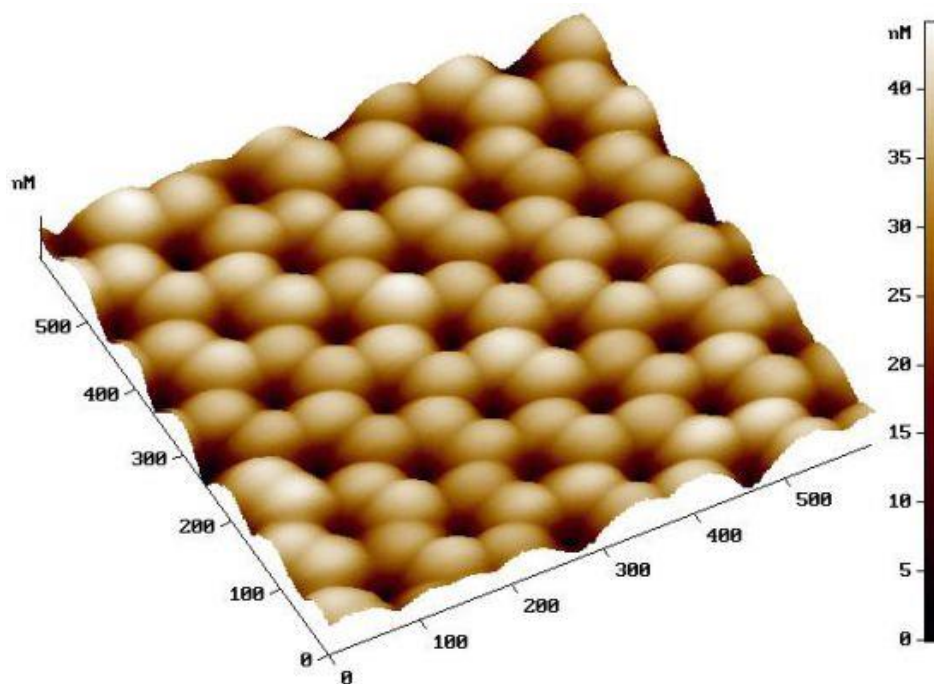


Рис.1.2.1.5. Изображение атомной решетки. Рельефное изображение самоорганизующейся матрицы пористого анодного Al_2O_3 [35]

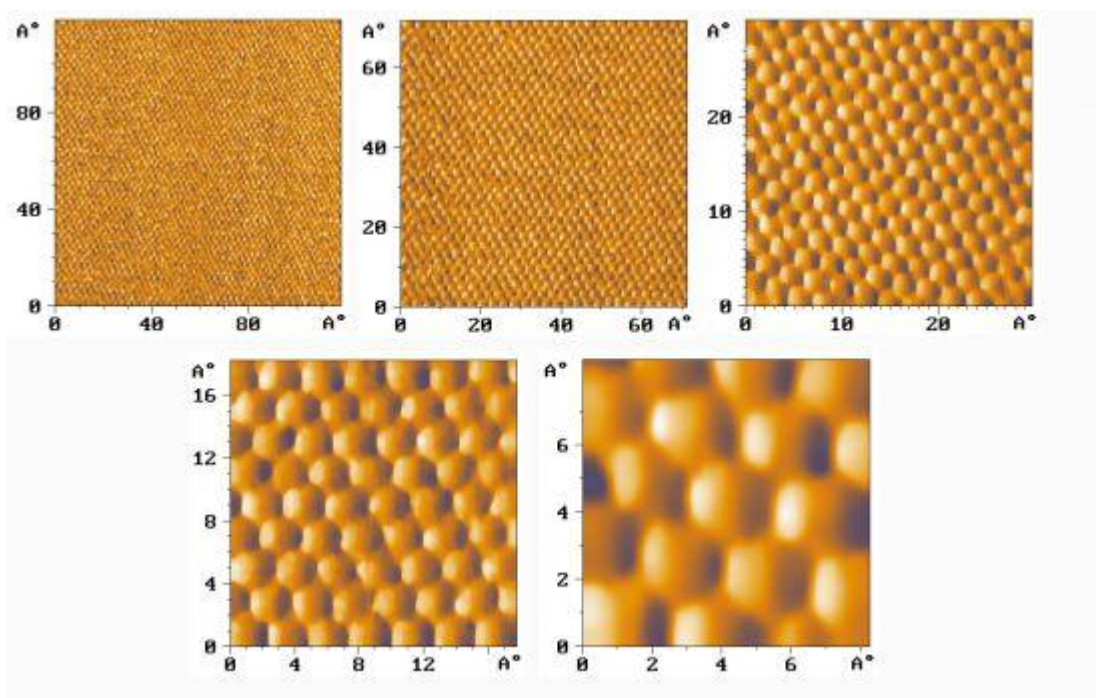


Рис. 1.2.1.6. Изображение атомной решетки. ССМ изображение высокоориентированного пиролитического графита (ВОПГ) полученного в нормальных условиях. Использовался сканер с диапазоном сканирования 14 мкм [35]

Из-за неодинаковой плотности атомов в различных направлениях кристалла наблюдаются разные свойства. Различие свойств в кристалле в зависимости от направления испытания называется **анизотропией**.

Разница в физико-химических и механических свойствах в разных направлениях может быть весьма существенной. При измерении в двух взаимно перпендикулярных направлениях кристалла цинка значения температурного коэффициента линейного расширения различаются в 3–4 раза, а прочности кристалла железа — более, чем в два раза.

Анизотропия свойств характерна для одиночных кристаллов или для так называемых монокристаллов. Большинство же технических литых металлов, затвердевших в обычных условиях, имеют поликристаллическое строение. Они состоят из большого числа кристаллов или зерен (рис. 1.2.1.7.1, а). При этом каждое отдельное зерно **анизотропно**. Различная ориентировка отдельных зерен приводит к тому, что в целом свойства поликристаллического металла являются усредненными.

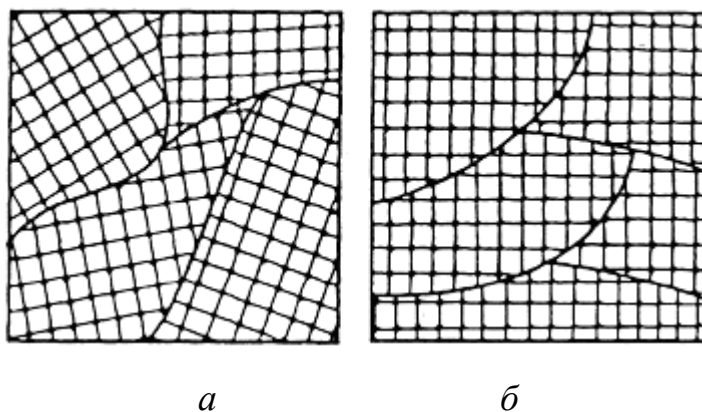


Рис. 1.2.1.7.1. Ориентировка кристаллических решеток:
а) в зернах литого металла; б) после обработки давлением

Поликристаллическое тело характеризуется **квазиизотропностью** — кажущейся независимостью свойств от направления испытания. **Квазиизотропность** сохраняется в литом состоянии, а при обработке давлением (прокатке, ковке), особенно, если она ведется без нагрева, большинство зерен металла приобретает примерно одинаковую

ориентировку — так называемую текстуру (рис. 1.2.1.4, б), после чего металл становится анизотропным. Свойства деформированного металла вдоль и поперек направления главной деформации могут существенно различаться. Анизотропия может приводить к дефектам металла (расслою, волнистости листа). Анизотропию необходимо учитывать при конструировании и разработке технологии получения деталей.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Получить доказательство правильного внутреннего строения кристаллов удалось в 1912 г., когда немецкий физик-теоретик М. Лауэ разработал теорию прохождения рентгеновских лучей через кристалл и предложил использовать кристалл как дифракционную решетку для рентгеновских лучей. В том же году теория получила экспериментальное подтверждение в опытах В. Фридриха и П. Книппинга. Знаменитый эксперимент по дифракции рентгеновских лучей на кристалле заключался в следующем. Узкий пучок рентгеновских лучей был направлен на кристалл сернокислой меди, за которым поместили фотопластинку. Помимо центрального черного пятна от пучка, прошедшего через кристалл, на пластинке получилось множество расположенных в строгом порядке черных точек от лучей, которые при прохождении через кристалл отклонились от центрального пучка под разными углами. Такие изображения впоследствии стали называть лауэграммами. Строгий порядок в дифракционной картине как раз обусловлен периодическим расположением атомов в решетке кристалла (рис. 1.2.1.7.2.). Таким образом, было доказано, что кристалл-это трехмерная периодическая решетка, расстояния между узлами которой по порядку величины близки к длине волны рентгеновского излучения. За открытие дифракции рентгеновских лучей Лауэ в 1914 г. был удостоен Нобелевской премии по физике.

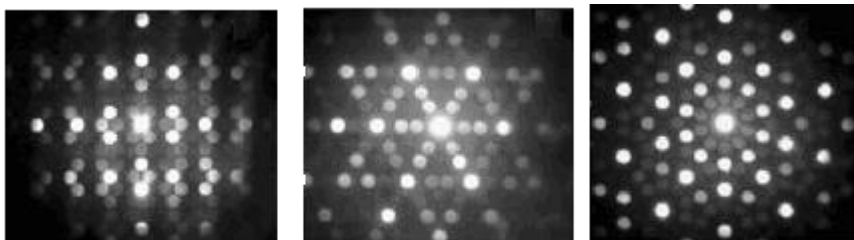


Рис. 1.2.1.7.2. Лауэграммы разных кристаллических веществ. "Скелет" кристалла можно получить так же, как мы делаем рентгеновский снимок в поликлинике

1.2.2. ДЕФЕКТЫ СТРОЕНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕЛ

Идеальная кристаллическая решетка представляет собой многократное повторение элементарных кристаллических ячеек. Для реального металла характерно наличие большого количества дефектов строения, нарушающих периодичность расположения атомов в кристаллической решетке. Эти дефекты оказывают существенное влияние на свойства материала.

Различают три типа дефектов кристаллического строения: **точечные, линейные и поверхностные.**

1.2.2.1. ТОЧЕЧНЫЕ ДЕФЕКТЫ

Точечные дефекты (рис. 1.2.2.1.1) характеризуются малыми размерами во всех трех измерениях. Величина их не превышает нескольких атомных диаметров. К точечным дефектам относятся: а) свободные места в узлах кристаллической решетки — **вакансии** (дефекты Шоттки); б) атомы, сместившиеся из узлов кристаллической решетки в межузельные промежутки — **дислоцированные атомы** (дефекты Френкеля); в) атомы других элементов, находящиеся как в узлах, так и в междоузлиях кристаллической решетки — **примесные атомы.**

Точечные дефекты образуются в процессе кристаллизации под воздействием тепловых, механических, электрических воздействий, а также при облучении нейтронами, электронами, рентгеновскими лучами.

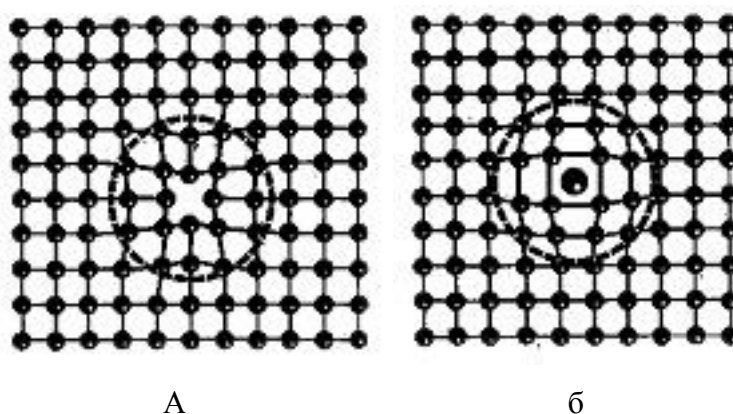


Рис. 1.2.2.1.1. Вакансии (а) и межузельный; атом (б) - точечные дефекты в кристаллической решетке. Пунктиром обозначены искаженные области решетки.

Вакансии и дислоцированные атомы могут появляться вследствие тепловых движений атомов. В характерных для металлов решетках энергия образования дислоцированных атомов значительно больше энергии образования тепловых вакансий. Поэтому основными точечными дефектами в металлах являются тепловые вакансии. При комнатной температуре концентрация вакансий сравнительно невелика и составляет около 1 на 10^{18} атомов, но резко повышается при нагреве, особенно вблизи температуры плавления. Точечные дефекты не закреплены в определенных объемах металла, они непрерывно перемещаются в кристаллической решетке в результате *диффузии*. Направленная форма движения атомов в кристаллах называется *диффузией*.

Тип порядка в расположении атомов, или, как говорят, тип кристаллической структуры, остается тем же, а порядок становится менее совершенным. В порядке возникают элементы беспорядка. Так как соседние атомы в кристалле колеблются не строго согласованно, может оказаться, что вследствие случайного стечения обстоятельств один из них получит от соседей энергию, которой будет достаточно для того, чтобы, порвав с ними связи, выскочить из их окружения, оставив один из узлов "вакантным". Об этом процессе физики говорят так: имела место энергетическая флуктуация, достаточная для того, чтобы атом покинул узел. Описанный процесс подобен испарению атомов с поверхности кристалла с тем, однако, важным отличием, что, испарившись с поверхности, атом уходит в пространство, окружающее кристалл, а покинув внутренний узел решетки, атом "испаряется" в свободное, "межузельное" пространство в кристалле. Таким образом, возникают "вакансия" и "межузельный атом".

Присутствие вакансий объясняет возможность диффузии — перемещения атомов на расстояния, превышающие средние межатомные расстояния для данного металла. Перемещение атомов осуществляется путем обмена местами с вакансиями. Различают самодиффузию и гетеродиффузию. В первом случае перемещения атомов не изменяют их концентрацию в

отдельных объемах, во втором — сопровождаются изменением концентрации. Гетеродиффузия характерна для сплавов с повышенным содержанием примесей.

Точечные дефекты приводят к локальным изменениям межатомных расстояний и, следовательно, к искажениям кристаллической решетки. При этом увеличивается сопротивление решетки дальнейшему смещению атомов, что способствует некоторому упрочнению кристаллов и повышает их электросопротивление.

Вакансии, дислоцированные атомы и другие точечные дефекты обнаружены при исследовании металлов с помощью автоионного микроскопа, дающего увеличение свыше 10^6 раз.

Диффузионное блуждание атомов с помощью так называемого "вакансионного механизма" - в случае "бесцельного" и в случае целенаправленного блужданий - происходит следующим образом. Если в непосредственном соседстве окажутся атом и вакансия, то при необходимой флуктуации энергии атом сможет перескочить в соседнюю вакансию. В результате этого акта соседство не нарушится, произойдет лишь обмен местами между реальным атомом и "атомом пустоты". Соседство нарушится тогда, когда какой-нибудь другой атом из числа окружающих вакансию поменяется с ней позициями. В последовательности актов обмена позициями между атомами и вакансиями вакансия будет удаляться от атома, с которым вначале была в соседстве, а атом сможет сделать очередной шаг лишь после того, как рядом с ним окажется другая вакансия. Итак, блуждание атомов по кристаллу происходит за счет пустых мест в решетке, которые появляются при нагреве. Чем выше температура такого нагрева, тем быстрее движутся атомы и интенсивнее происходит диффузия.

Точечные дефекты повышают энергию кристалла, так как на образование каждого дефекта была затрачена определенная энергия. Упругая деформация обуславливает очень малую долю энергии образования вакансии, так как смещения ионов не превышают 1% и соответствующая им

энергия деформации составляет десятые доли эВ. При образовании межузельного атома смещения соседних ионов могут достигать 20% от межатомного расстояния, а соответствующая им энергия упругой деформации решетки - нескольких эВ. Основная доля образования точечного дефекта связана с нарушением периодичности атомной структуры и сил связи между атомами. Точечный дефект в металле взаимодействует со всем электронным газом. Удаление положительного иона из узла равносильно внесению точечного отрицательного заряда; от этого заряда отталкиваются электроны проводимости, что вызывает повышение их энергии. Теоретические расчеты показывают, что энергия образования вакансии в ГЦК решетке меди составляет около 1 эВ, а межузельного атома - от 2.5 до 3.5 эВ.

Несмотря на увеличение энергии кристалла при образовании точечных дефектов, они могут находиться в термодинамическом равновесии в решетке, так как их образование приводит к росту энтропии. При повышенных температурах рост энтропийного члена TS свободной энергии $F = U - TS$ из-за образования точечных дефектов компенсирует рост полной энергии кристалла U , и свободная энергия оказывается минимальной.

Равновесная концентрация вакансий:

$$\frac{n}{N} = \exp \frac{-E_0}{kT}$$

где E_0 - энергия образования одной вакансии, k - постоянная Больцмана, T - абсолютная температура. Эта же формула справедлива для межузельных атомов. Формула показывает, что концентрация вакансий должна сильно зависеть от температуры. Формула для расчета проста, но точные количественные значения можно получить, только зная величину энергии образования дефекта. Рассчитать же теоретически эту величину весьма

трудно, поэтому приходится довольствоваться лишь приближенными оценками.

Так как энергия образования дефекта входит в показатель степени, то это различие обуславливает громадную разницу в концентрации вакансий и межузельных атомов. Так, при $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ в меди концентрация межузельных атомов составляет всего лишь 10^{-39} , что на 35 порядков меньше концентрации вакансий при этой температуре. В плотных упаковках, какие характерны для большинства металлов, очень трудно образовываться межузельным атомам, и вакансии в таких кристаллах являются основными точечными дефектами (не считая примесных атомов).

1.2.2.2.ЛИНЕЙНЫЕ ДЕФЕКТЫ

Линейные дефекты характеризуются малыми размерами в двух измерениях, но имеют значительную протяженность в третьем измерении. Наиболее важный вид линейных дефектов — дислокации (лат. *dislocation* — смещение). Теория дислокаций была впервые применена в середине тридцатых годов XX века физиками Орована, Поляни и Тейлором для описания процесса пластической деформации кристаллических тел. Ее использование позволило объяснить природу прочности и пластичности металлов. Теория дислокаций дала возможность объяснить огромную разницу между теоретической и практической прочностью металлов.

Основная геометрическая характеристика дислокаций — вектор Бюргерса. Если в идеальном кристалле провести замкнутый контур, а затем попытаться провести такой же контур вокруг области с дислокацией, то контур будет разорван. Вектор, который нужно провести для замыкания этого контура, и есть вектор Бюргерса дислокации. Он характеризует величину и направление сдвига атомных плоскостей, приводящего к образованию дислокации. В зависимости от угла φ между вектором Бюргерса и линией дислокации различают дислокации *винтовые* ($\varphi=0$), *краевые*

($\varphi=90^\circ$) и смешанные (произвольный угол φ). Смешанные дислокации могут быть *разложены* на краевую и винтовую компоненты. Образование краевой дислокации можно представить как результат удаления из кристалла одной кристаллической полуплоскости. Линия, отделяющая дефектную область кристалла от бездефектной, называется линией дислокации. Простейшая наглядная модель краевой дислокации — книга, у которой от одной из внутренних страниц оторвана часть. Тогда, если страницы книги уподобить атомным плоскостям, то край оторванной части страницы моделирует линию дислокации.

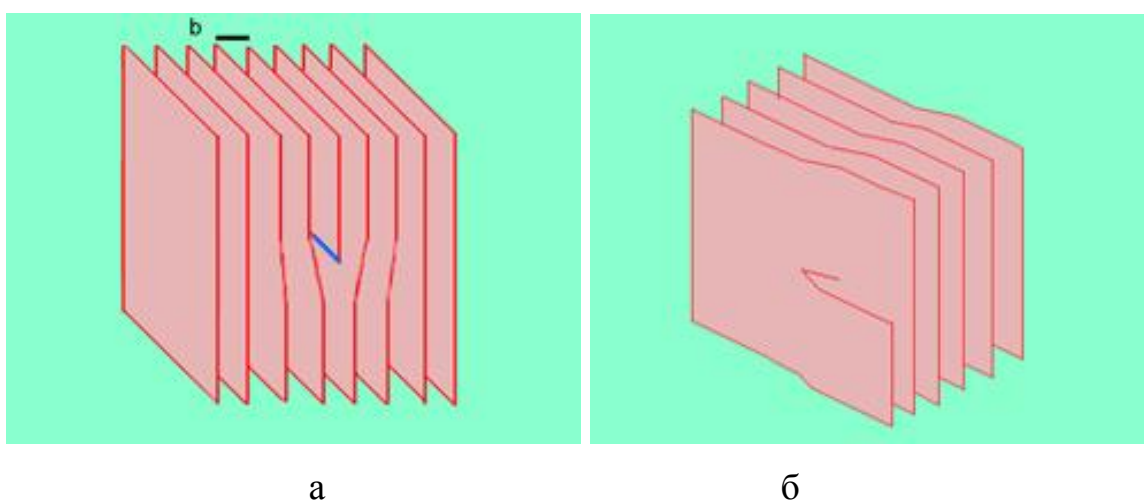


Рис. 1.2.2.1. Схематическое изображение краевой дислокации. Вектор Бюргерса обозначен чёрным цветом. – а. Схематическое изображение винтовой дислокации. – б.

На рис. 1.2.2.2 приведена схема участка кристаллической решетки с одной «лишней» атомной полуплоскостью, т. е. краевой дислокацией. Линейная атомная полуплоскость $PQQ'P'$ называется экстраплоскостью, а нижний край экстраплоскости — линией дислокации. Если экстраплоскость находится в верхней части кристалла, то дислокацию называют положительной и обозначают знаком « \llcorner », если в нижней — то отрицательной и обозначают знаком « \lrcorner ». Различие между дислокациями чисто условное. Перевернув кристалл, мы превращаем положительную дислокацию в отрицательную. Знак дислокации позволяет оценить результат их

взаимодействия. Дислокации одного знака отталкиваются, а противоположного — притягиваются.

Помимо краевых дислокаций в кристаллах могут образовываться и винтовые дислокации (рис. 1.2.2.2.3). Винтовые дислокации могут быть получены путем частичного сдвига атомных слоев по плоскости Q , который нарушает параллельность атомных слоев. Кристалл как бы закручивается винтом вокруг линии EF . Линия EF является линией дислокации. Она отделяет ту часть плоскости скольжения, где сдвиг уже завершился, от той части, где сдвиг еще не происходил. Винтовая дислокация, образованная вращением по часовой стрелке, называется правой, а против часовой стрелки — левой.

Вблизи линии дислокации атомы смещены со своих мест и кристаллическая решетка искажена, что вызывает образование поля напряжений: выше линии дислокации решетка сжата, а ниже растянута.

На рис. Рис. 1.2.2.2б показана (красным кругом) краевая дислокация внутри кристаллита размером 5 нм. Также следует отметить, что даже в сверхтвердых наноструктурных пленках на границах раздела часто встречаются дислокации несоответствия, приводящие к появлению дальнодействующих полей упругих напряжений. Наличие дислокаций на границах раздела зерен свидетельствует о деформации по механизму межзеренного проскальзывания.

Дислокации образуются уже при кристаллизации металлов, а также в ходе пластической деформации и фазовых превращений. Плотность дислокаций может достигать большой величины. Под *плотностью дислокаций* ρ обычно понимают суммарную длину дислокаций S l , приходящуюся на единицу объема V кристалла: $\rho = S l/V$. Таким образом, размерность плотности дислокаций ρ : см/см³, или см⁻². Для отожженных металлов плотность дислокаций составляет величину 10^6 – 10^3 см⁻², после холодной деформации она увеличивается до 10^{11} – 10^{12} см⁻², что соответствует примерно 1 млн километров дислокаций в 1 см³.

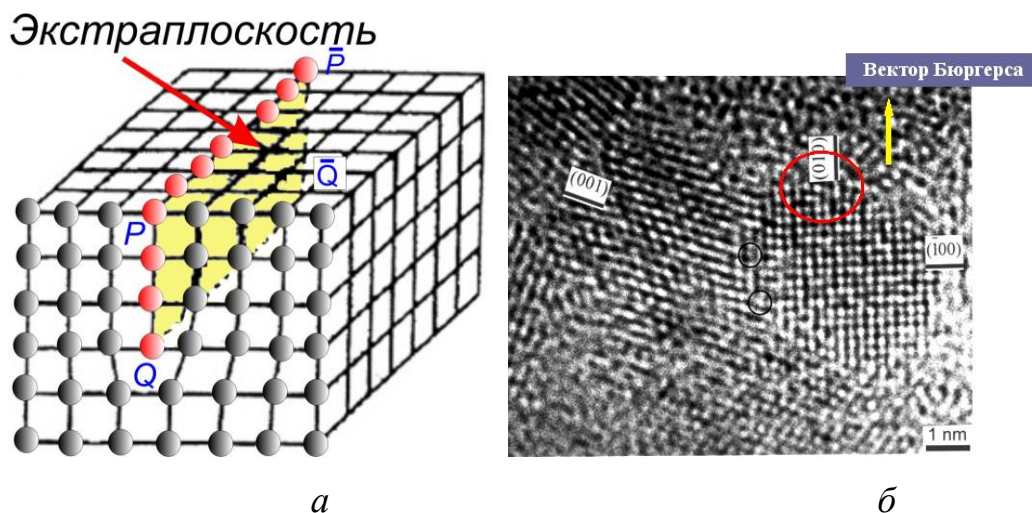


Рис. 1.2.2.2. Краевая дислокация – а. Краевая дислокация внутри кристаллита (большой круг) размером 5 нм и дислокации несоответствия на границе раздела кристаллитов (малые круги) в пленке Ti-Si-B-N – б

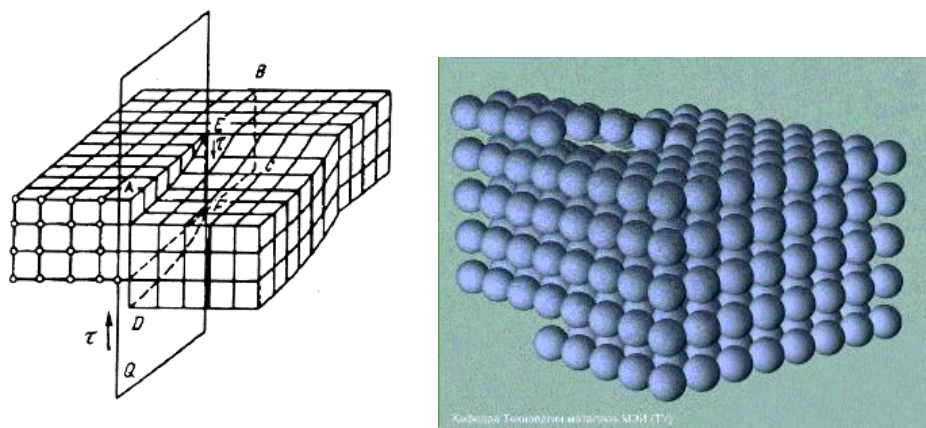


Рис. 1.2.2.3. Винтовая дислокация – а, Схема винтовой дислокации – б

Дислокации обладают высокой подвижностью, поэтому существенно уменьшают прочность металла, так как облегчают образование сдвигов в зернах-кристаллитах под действием приложенных напряжений.

Дислокационный механизм сдвиговой **пластической деформации** внутри кристаллов может привести к разрушению изделия. Таким образом, дислокации непосредственно влияют на прочностные характеристики металла.

Использование теории дислокаций позволило объяснить большое расхождение между **теоретической и фактической прочностью**

металлов. Теоретическая прочность должна быть пропорциональна произведению сил межатомной связи на число атомов в сечении кристалла.

Расчетное усилие для смещения одной части кристалла относительно другой оказалось на 2 – 3 порядка выше фактически затрачиваемого при пластической деформации металла. Так, теоретическая прочность железа составляет около 13000 МПа, а фактическая — всего 250 МПа. Такое расхождение теоретической и фактической прочности объясняется тем, что деформация происходит не путем одновременного смещения целых атомных плоскостей, а путем постепенного перемещения дислокаций.

На рис. 1.2.2.4 в виде кривой *ABC* схематически показана зависимость прочности металла от плотности дислокаций. Точка *A* соответствует теоретической прочности металла, обусловленной необходимостью одновременного разрыва всех межатомных связей, проходящих через плоскость сдвига, в случае отсутствия дислокаций.

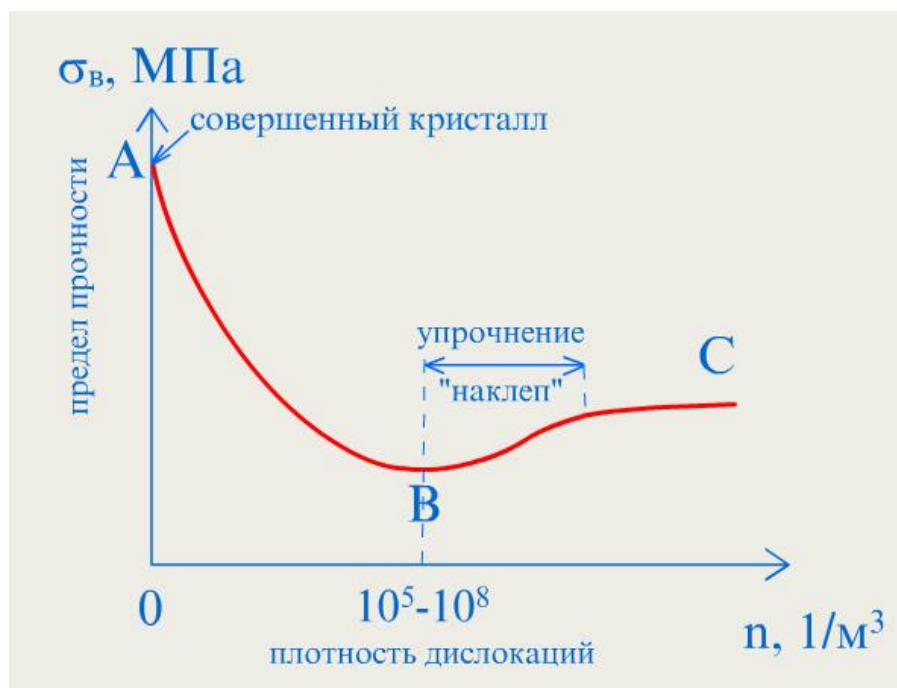


Рис. 1.2.2.4. Зависимость предела прочности кристалла от плотности линейных дефектов(дислокаций). Кривая Одингга

При увеличении количества дислокаций (см. участок AB) прочность резко снижается, так как на несколько порядков уменьшаются усилия, необходимые для осуществления сдвигов в зернах металла при его деформировании и разрушении.

При плотности дислокаций 10^6-10^7 см⁻² (точка B на кривой), прочности минимальна, и на участке BC происходит ее рост. Это объясняется тем, что с ростом плотности дислокаций их передвижение происходит не только по параллельным, но и по пересекающимся плоскостям, что существенно затрудняет процесс деформирования зерен.

Поэтому начиная с точки B прочность металла возрастает.

Максимальная плотность дислокаций, может составить 10^{13} см⁻². При дальнейшем росте плотности дислокаций происходит разрушение металла.

1.2.2.3. ПОВЕРХНОСТНЫЕ ДЕФЕКТЫ

Поверхностные дефекты имеют малую толщину и значительные размеры в двух других измерениях. Обычно это места стыка двух ориентированных участков кристаллической решетки. Ими могут быть границы зерен, границы фрагментов внутри зерна, границы блоков внутри фрагментов. Соседние зерна по своему кристаллическому строению имеют неодинаковую пространственную ориентировку решеток. Блоки повернуты друг по отношению к другу на угол от нескольких секунд до нескольких минут, их размер 10^{-5} см. Фрагменты имеют угол разориентировки не более 5° . Если угловая разориентировка решеток соседних зерен меньше 5° , то такие границы называются малоугловыми границами. Все субзеренные границы (границы фрагментов и блоков) — малоугловые. Строение границ зерен оказывает большое влияние на свойства металла. К поверхностным дефектам в кристаллах относятся: ***малоугловые, большеугловые и двойниковые границы.***

Малоугловые границы - границы между элементами субструктуры кристалла, которые получили название блоков. Блоки представляют собой области с малыми углами разориентировки относительно друг друга. По предположению Бюргера границы между такими областями состоят из совокупности дислокаций (рис. 1.2.2.3.1 а). Эта модель подтверждена электронно-микроскопическими, а также рентгеновскими и оптическими исследованиями.

Большеугловые границы зерен представляют собой переходные области между соседними зернами, имеющими различную ориентацию в пространстве. Существует несколько моделей таких границ:

по Хорнстеру, большеугловые границы можно описывать как ряды определенным образом расположенных дислокаций;

по Мотту, граница между зернами состоит из областей с хорошим и плохим сопряжением решеток: островки с плохим сопряжением сменяются областями с хорошим сопряжением; при очень больших разориентировках ($\approx 50^\circ$) всю границу можно рассматривать как разупорядоченную зону, в которой состояние материала можно сравнить с жидким.

Двойник в кристалле представляет собой нарушение, которое может быть получено взаимным зеркальным отражением двух частей решетки, расположенных по обе стороны от некоторой граничной плоскости, - границы двойника (рис. 1.2.2.3.2).

Таким образом, собственные дефекты в кристаллах можно классифицировать по их пространственной протяженности: любой дефект это отклонение структуры реального материала от структуры идеального.

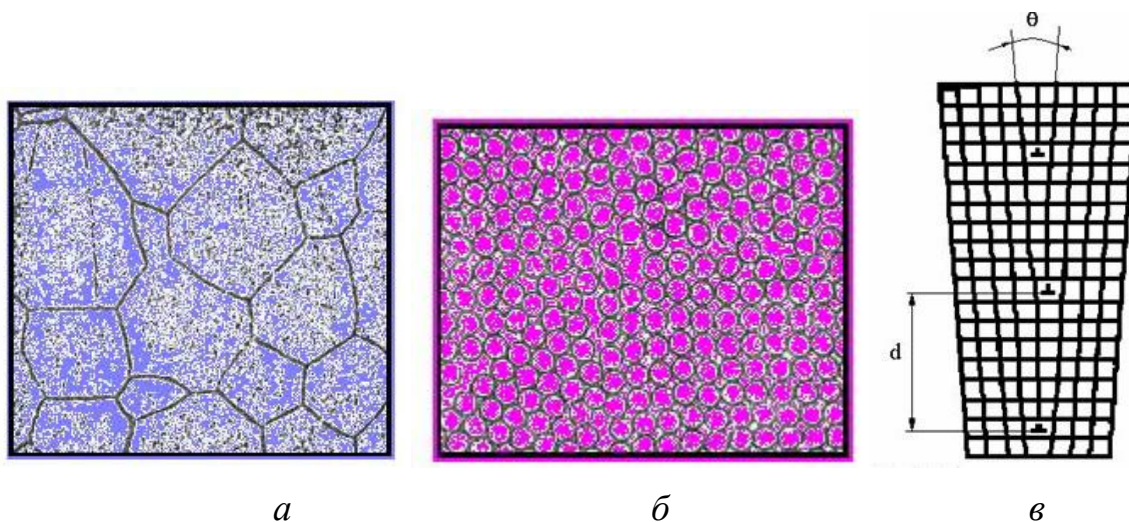


Рис. 1.2.2.3 1. а, б - большеугловые границы зерен; на рис.(б) четко видна неупорядоченность на границе, дислокационная модель малоугловой границы; d – расстояние между дислокациями; θ – угол разориентировки- в.

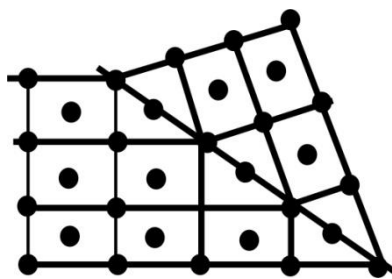


Рис. 1.2.2.3.2. Двойниковая граница между субзернами

Итак, **Дефектами кристалла** называют всякое нарушение трансляционной симметрии кристалла — идеальной периодичности кристаллической решётки. Также существует классификация разновидностей дефектов по *размерности*. А именно, бывают нульмерные дефекты, одномерные, двумерные и трёхмерные.

К нульмерным дефектам кристалла или **точечным дефектам** относят все дефекты, которые связаны со смещением или заменой небольшой группы атомов. Возникают при нагреве, в процессе роста кристалла и в результате радиационного облучения. Могут вноситься также в результате имплантации. Наиболее изучены, включая движение, взаимодействие, аннигиляцию, испарение.

1.2.2.4. Кристаллическое строение сплавов

Сплав — макроскопически однородная смесь двух или большего числа химических элементов с преобладанием металлических компонентов. Основной или единственной фазой сплава, как правило, является твёрдый раствор легирующих элементов в металле, являющемся основой сплава. Под сплавом подразумевается вещество, полученное сплавлением двух или более элементов. Элементами сплава могут быть металлы и неметаллы. Эти элементы называются **компонентами** сплава.

Сплавы имеют металлические свойства, например: металлический блеск, высокие электропроводность и теплопроводность. Иногда компонентами сплава могут быть не только химические элементы, но и химические соединения, обладающие металлическими свойствами. Например, основными компонентами твёрдых сплавов являются карбиды вольфрама или титана. Макроскопические свойства сплавов всегда отличаются от свойств их компонентов, а макроскопическая однородность многофазных (гетерогенных) сплавов достигается за счёт равномерного распределения примесных фаз в металлической матрице.

Примеси бывают **полезными**, улучшающие свойства, и **вредные**, ухудшающие его свойства. Примеси бывают **специальные**, которые вводят для придания ему требуемых свойств и **случайные**, попадающие в сплав при его приготовлении.

Сплавы обычно получают с помощью смешивания компонентов в расплавленном состоянии с последующим охлаждением. При высоких температурах плавления компонентов, сплавы производятся смешиванием порошков металлов с последующим спеканием (так получают, например, многие вольфрамовые сплавы). Также возможно помимо сплавления получение сплавов: спеканием, электролизом, возгонкой. Такие вещества называют псевдосплавами.

Сплавы являются одним из основных конструкционных материалов. Среди них наибольшее значение имеют сплавы на основе железа и алюминия. В состав многих сплавов могут вводиться и неметаллы, такие как углерод, кремний, бор и др. В технике применяется более 5 тыс. сплавов.

Кристаллическое строение сплава более сложное, чем чистого металла, и зависит от взаимодействия его компонентов при кристаллизации. Компоненты в твердом сплаве могут образовывать **твердый раствор**, **химическое соединение** и **механическую смесь**.

Твердые растворы – компоненты сплава взаимно растворяются один в другом. В твердом растворе один из входящих в состав сплава компонентов сохраняет присущую ему кристаллическую решетку, а второй компонент в виде отдельных атомов распределяется внутри кристаллической решетки. Характерной особенностью твердых растворов является: наличие в их кристаллической решетке разнородных атомов, при сохранении типа решетки растворителя. Твердый раствор состоит из однородных зерен (рис. 1.2.2.4.1).

Химическое соединение – компоненты сплава вступают в химическое взаимодействие, при этом образуется новая кристаллическая решетка. Компоненты имеют определенное соотношение по массе.

Механическая смесь – компоненты сплава обладают полной взаимной нерастворимостью и имеют различные кристаллические решетки. При этих условиях сплав будет состоять из смеси кристаллов составляющих её компонентов. Механическая смесь имеет постоянную температуру плавления. Механическая смесь, образовавшаяся одновременной кристаллизацией из расплава, называется **эвтектикой**; в процессе превращения в твердом состоянии – **эвтектоидом**.

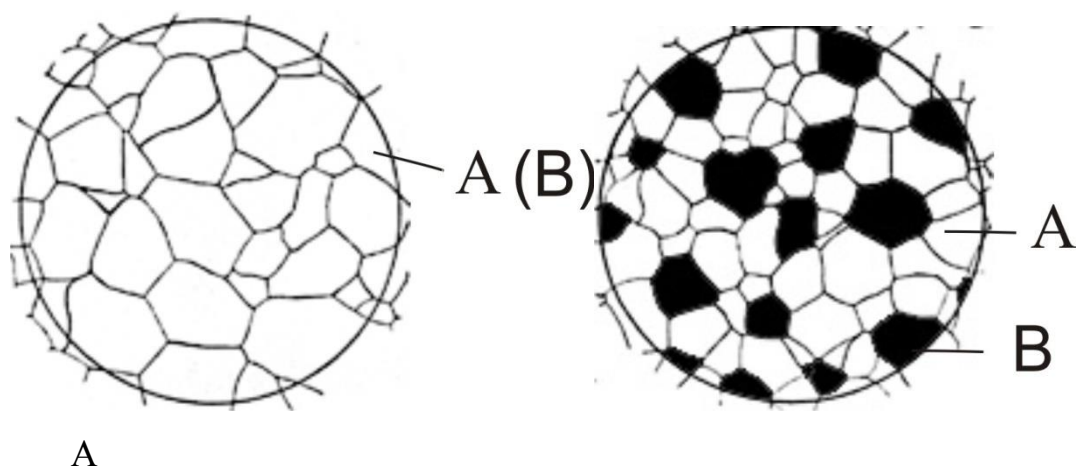


Рис. 1.2.2.4.1. Схема микроструктуры твердого раствора - а. Схема микроструктуры механической смеси

Как уже было сказано выше, в структуре металлов и сплавов присутствуют дислокации. Взаимодействие дислокаций многообразно и сложно. Они могут взаимодействовать в одной или разных плоскостях, иметь одноименный или разноименный знак, но если искажение решетки в результате их взаимодействия увеличивается, то возрастает сопротивление деформации кристалла. Поверхностные дефекты наблюдаются прежде всего на границах зерен.

Граница зерен - это поверхность, по обе стороны от которой кристаллические решетки различаются пространственной ориентацией (рис. 1.2.2.4.2). Эта поверхность является двумерным дефектом, имеющим значительные размеры в двух измерениях, а в третьем - его размер соизмерим с атомным. Границы зерен - это области высокой дислокационной плотности и несогласованности строения граничащих кристаллов. Атомы на границе зерен имеют повышенную энергию по сравнению с атомами внутри зерен и, как следствие этого, более склонны вступать в различные взаимодействия и реакции. На границах зерен отсутствует упорядоченное расположение атомов.

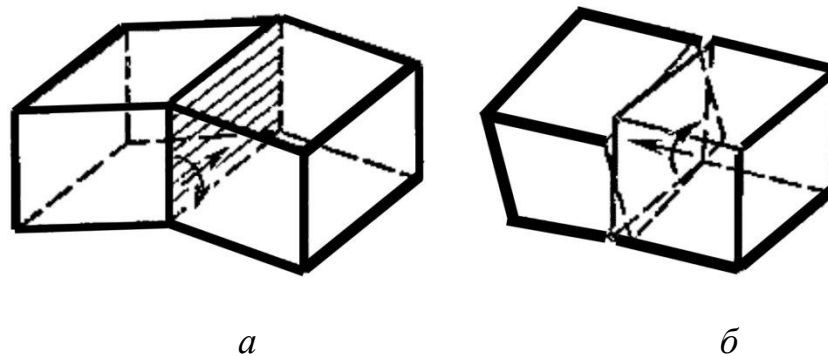


Рис. 1.2.2.4.2. Схема взаимного расположения зерен металла:

а - граница между взаимно наклоненными зернами; б - граница между взаимно смещенными(скрученными) зернами

Каждое из зерен металла состоит из отдельных фрагментов, а последние - из блоков, образующих мозаичную структуру. Зерна металла взаимно разориентированы на несколько градусов, фрагменты разориентированы на минуты, а блоки, составляющие фрагмент, взаимно разориентированы всего лишь на несколько секунд (рис. 1.2.2.4.3). На границах зерен в процессе кристаллизации металла скапливаются различные примеси, образуются дефекты, неметаллические включения, оксидные пленки. В результате металлическая связь между зернами нарушается и прочность металла снижается.

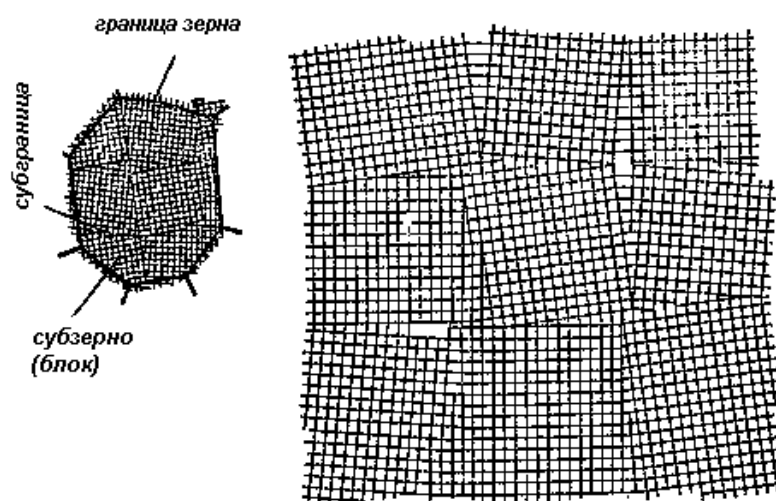


Рис 1.2.2.4.3. Схема кристалла (зерна) металла с его границами(ширина границ 5-10 межатомных расстояний): а - общий вид; б - блочная(мозаичная) структура внутри зерна [49]

Состояние границ зерен металла оказывает большое влияние на их свойства.

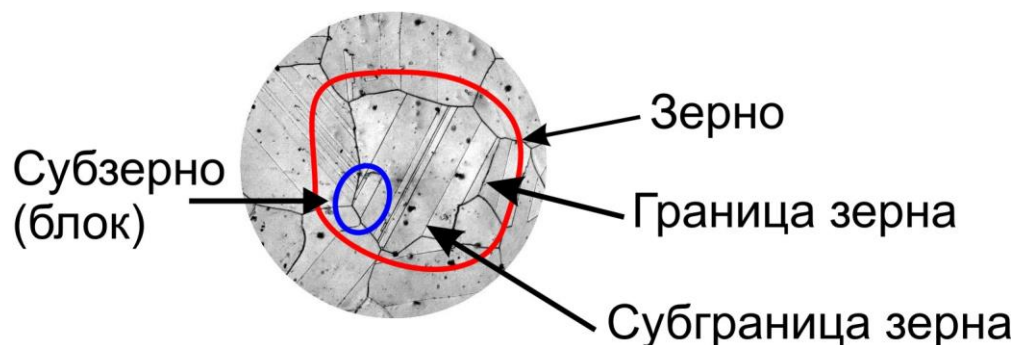


Рис. 1.2.2.4.4. Аустенитная легированная сталь. Форма включений – зерна. Аустенит и незначительное количество карбидов Ti в нержавеющей стали. Хорошо видны двойники - характерный признак аустенита. - а.

Для примера на рис. 1.2.2.4.5. приведены фотографии, на которых хорошо видны границы зерен в сталях. Сталь это сплав железа с углеродом.

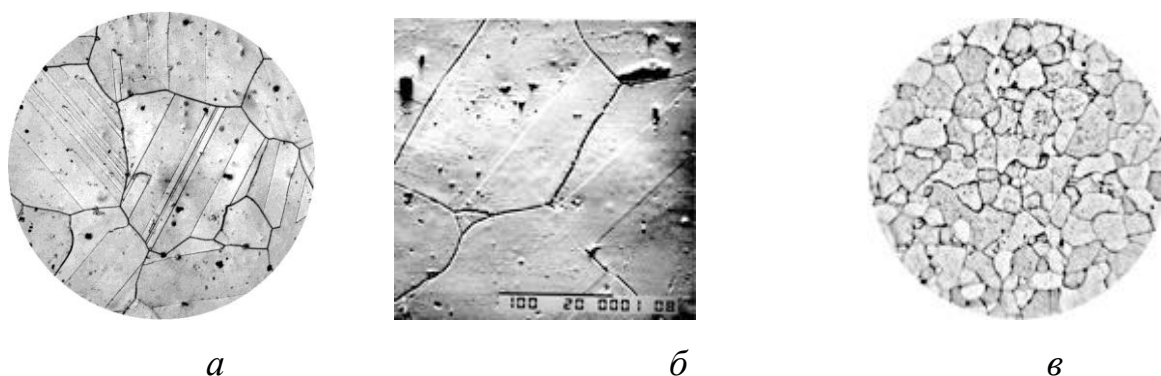


Рис. 1.2.2.4.5. Аустенитные легированные стали Форма включений – зерна. Аустенит и незначительное количество карбидов Ti в нержавеющей стали. Хорошо видны двойники - характерный признак аустенита. - а. б -Равноосные зерна. (Результат собирательной рекристаллизация или нормального роста зерна). Структура после холодной пластической деформации и последующего рекристаллизационного отжига качественно не отличается от исходной структуры недеформированного металла – в

[50]

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что называется металлом?
2. Просмотрите внимательно периодическую систему Д.И. Менделеева. Какие из химических элементов относятся к металлам? Сколько их?
3. Перечислите классификацию металлов.
4. Назовите характерные свойства металлов.
5. Что представляет из себя металл согласно теории металлического строения?
6. Какие металлы имеют наибольшее распространение в земной коре (просмотрите таблицу 1.1.1.)?
7. Что понимают под атомно-кристаллической структурой металлов?
8. Что такое кристаллическая решетка?
9. Дайте определение элементарной кристаллической ячейке?
10. Нарисуйте схему энергетических условий взаимодействия атомов в кристаллической решетке вещества.
11. Какие тела называются аморфными?
12. Назовите виды кристаллических решеток.
13. Какие у кристаллической решетки есть параметры?
14. Что такое анизотропия?
15. Что такое квазитропность?
16. Какие Вы знаете типы дефектов кристаллического строения?
17. Что называется диффузией?
18. Что такое «вакансия» в кристаллической решетке?
19. Что относят к точечным дефектам?
20. Какие дефекты относят к линейным дефектам?
21. Что такое дислокации?
22. Нарисуйте схематическое изображение краевой дислокации.
23. Какую дислокацию называют винтовой?

24. Нарисуйте схему винтовой дислокации.
25. Чему должна быть пропорциональна теоретическая прочность металлов?
26. Перечислите поверхностные дефекты.
27. Обладают ли дислокации высокой подвижностью?
28. К чему может привести дислокационный механизм сдвиговой пластической деформации в кристалле?
29. Что такое субструктура кристалла?
30. Какая максимальная плотность дислокаций?
31. Назовите значения теоретической и практической прочности железа.
32. Что называют сплавом? Приведите примеры сплавов?
33. Как получают сплавы?
34. Что называют компонентами сплава?
35. Какими бывают примеси?
36. Что такое твердый раствор?
37. Что такое химическое соединение?
38. Что такое механическая смесь?
39. Что называют эвтектикой?
40. Что называют эвтектоид?
41. Что называют границей зерен?
42. Фамилии каких ученых Вы запомнили (встретили) прочтя конспект лекций.

1.2.6.ЛИТЕРАТУРА

1. Рыбалкина М. Нанотехнологии для всех. Большое в малом [Электронный ресурс] 444 с. : Режим доступа к книге: <http://www.scribd.com/doc/6937862/-nanobook>.
2. Пирсон У. Кристаллохимия и физика металлов и сплавов [Текст] : [в 2-х ч.] / У. Пирсон ; пер. с англ. С. Н. Горина. - М. : Мир, 1977 - .Ч. 1. - 1977. - 419 с.
3. Уманский Я. С., Скаков Ю.А., Физика металлов. Атомное строение металлов и сплавов / Я. Уманский, Ю. Скаков. - М Атомиздат., 1978. -352 с.
4. Бернштейн М. Л. Механические свойства металлов / М. Бернштейн, В. Займовский. - М.: Металлургия, 1979. – 495 с.
5. Лившиц Б. Г. Физические свойства металлов и сплавов / Б.Г. Лившиц, В.С. Крапошин, Я.Л. Липецкий. - М.: Металлургия, 1980. – 320 с.
6. Баррет Ч. С. Структура металлов : В 2-х ч. / Ч. С. Баррет, Т. Б. Массальский / Под ред. М. Л. Берштейна. - М: Металлургия,1984.-352 с.
7. Гуляев А. П. Металловедение / А. П. Гуляев . - М.: Металлургия, 1986. – 543 с.
8. Зайцев Б. Е. Общие физические и химические свойства металлов / Б. Е. Зайцев. М.: Металлургия 1987. – 287 с.
9. Пекшева Н. П Химия металлов [Текст] : учеб. пособие / Н. П. Пекшева. - Красноярск : Изд-во Краснояр. ун-та, 1987. – 215 с.
- 10.Абрикосов А. А. Основы теории металлов [Текст] : для физ. спец. вузов / А. А. Абрикосов. - М. : Наука, 1987. – 519 с.
- 11.Бобылев А. В. Механические и технологические свойства металлов / А. В. Бобылев. - М.: Металлургия, 1987. - 208 с.
12. Курс лекций. Лекция № 1. Кристаллическое строение металлов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://tw.t.mpei.ru/ochkov/TM/lecture1.htm>.
13. Основы металловедения. Лекция № 1. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.tspu.edu.ua/subjects/3/1/lekc.html>.

14. Конспект лекцій з дисципліни «Конструкційні матеріали». - Харків: Изд-во. Харківська національна Академія Міського господарства – ХНАМГ, 2007. - 62 с.
15. Пінкевич І. П. Теорія твердого тіла / І. П. Пінкевич, В.Й. Сугаков. - Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2006. – 162 с.
16. Енциклопедія Вікіпедія [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://uk.wikipedia.org>.
17. Химия. Периодическая система элементов Д.И. Менделеева [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.calc.ru/685.html>.
18. Беляев В.І. Металознавство і зварювання (Лекції для студентів технічних спеціальностей) / Віктор Іванович Беляев. - Харків: Изд-во. ХГАГХ, 2009. - 96 с.
19. Загрязняющие вещества 2 го класса опасности [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.chelpogoda.ru/pages/608.php>.
20. Білий М.У. Атомна фізика / М.У. Білий . - Київ: Вища школа 1973. – 537 с.
21. Ландау, Лев Давидович Теоретическая физика: учеб. пособие для физ. спец. ун-тов/ Лев Давидович (1908-1968) Ландау; Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. - 3-е изд.. - Москва: Наука Т. 3: Квантовая механика. Нерелятивистская теория. - 1974. - 752 с.
22. Бронштейн М.П. *Атомы и электроны (Серия: «Библиотечка «Квант»)* / Матвей Петрович Бронштейн., Москва: Наука. – 1980. – 152 с.
23. Мала гірнича енциклопедія: В 3-х т. / За ред. В. С. Білецького. — Донецьк: «Донбас», 2004. ISBN 966-7804-14-3.
24. Шехтер В.М., Ансельм А.А. Атом и квантовая механика (Серия: «Физика») / В.М. Шехтер, А.А. Ансельм. - Москва: Знание. – 1984. - 64 с.
25. Строение атома. Периодический закон и периодическая система химических элементов Д.И. Менделеев (ПСХЭ) [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://shkola.lv/index.php?mode=lsntheme&themeid=145>.

26. Самохоцкий А.И. Металловедение: Учебник для техникумов. / А.И. Самохоцкий., М.Н. Кунявский, Т.М. Кунявская, Н.Г. Парфеновская., Н.А. Быстрова. – М.: Металлургия, 1990. - 416 с.
27. Григорьев В.И., Мякишев Г.Я. Силы в природе / В.И. Григорьев, Г.Я. Мякишев. - М.: Наука, 1983. – 414 с.
28. Кудрявцев П.С. Курс истории физики / П.С. Кудрявцев. - М.: Просвещение, 1982. – 448 с.
29. Альберт Фаритович Сайфутдинов, рукопись 1987-1992. Открой в себе талант. [Электронный ресурс] Режим доступа:
<http://www.trizminsk.org/e/2500707.htm>.
30. Из чего все состоит. Как построена электронная оболочка атома . [Электронный ресурс] Режим доступа:
<http://nauka.relis.ru/05/0312/05312038.htm>.
31. William Reusch. Virtual Textbook of Organic Chemistry. Michigan State University . . [Электронный ресурс] Режим доступа:
<http://www2.chemistry.msu.edu/faculty/reusch/VirtTxtJml/Spectrpy/spectro.htm>.
32. Серия «Реагент 2000/3000» [Электронный ресурс] Режим доступа :
<http://www.avtoreagent3000.ru/articles/seria-2000-3000/>.
33. Теория Бора атома водорода. [Электронный ресурс] Режим доступа:
http://fn.bmstu.ru/phys/bib/physbook/tom5/ch5/texthtml/ch5_2.htm.
34. Мозберг Р.К. Материаловедение: Учебн. Пособие. / Р.К. Мозберг - М.: Высш. Шк., 1991. – 448 с.
35. Приборостроение для нанотехнологий. Галерея сканов. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.ntmdt.ru>.
36. Кафедра физики металлов КПИ. [Электронный ресурс] Режим доступа:
http://kpm.kpi.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=50&Itemid=59&lang=uk.
37. О сплавах с эффектом памяти формы. [Электронный ресурс] Режим доступа:
<http://sma.home.nov.ru/text1.htm>.

38. Фестиваль педагогических идей. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://festival.1september.ru/articles/515318>.
39. Бокштейн Б.С. Атомы блуждают по кристаллу / Б.С. Бокштейн. - М.: Наука, 1984. - 208 с.
40. Гегузин Я.Е. Очерки о диффузии в кристаллах / Я.Е. Гегузин. - М.: Наука, 1974. - 255 с.
41. Гегузин Я.Е. Живой кристалл / Я.Е. Гегузин. - М.: Наука, 1987. - 192 с.
42. Популярныe нанотехнологий. Многофункциональные наноструктурные пленки [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://popnano.ru/science/index.php?task=view&id=43>.
43. Словари и энциклопедии на академике. Дефекты кристаллической решетки. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/893598>.
44. Методы исследования и и испытания металлов. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.naukaspb.ru/spravochniki/Demo%20Metall/2.htm>.
45. Корпоративный портал на томского политехнического университета [Электронный ресурс] Режим доступа: http://portal.main.tpu.ru:7777/departments/kafedra/otsp/labs_all/lab_metallograph/Tab.
46. Отчет по дендритному металлу [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://playground.sun.com/~vasya/Bulat-Kirpi-02.html>.
47. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru/Data1/7/7054/index.htm>.
48. Изучение кристаллической структуры материалов [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://studentps.narod.ru/mtr2.html>.
49. Строение реальных кристаллов и дефекты кристаллической решетки [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.tyap-lyap.org/metall/stroenie.shtml>.

50. Металлографические исследования [Электронный ресурс]: База данных микроструктур металлов и сплавов. Режим доступа:
http://www.microstructure.ru/ruqview2/forshura_4196.aspx?page=1.
51. Общая теория сплавов. Строение, кристаллизация и свойства сплавов. Диаграмма состояния [Электронный ресурс] Режим доступа:
<http://supermetalloved.narod.ru/14.pdf>.
52. Культура. [Электронный ресурс] Режим доступа:
<http://www.cultinfo.ru/fulltext/1/001/008/110/426.htm>.
53. Курс лекций строительное материаловедение. Лекция 1. Строение атома. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.portal-student.ru/Lstmat1-1.php>.
54. Примерная программа дисциплины Материаловедение. Электронный ресурс] Режим доступа:
<http://www.edu.ru/db/spe/prog/htm/pf0003.htm>.
55. Технология конструкционных материалов [Текст]:учебник для вузов/[А. М. Дальский, Т. М. Барсукова, Л. Н. Бухаркин и др.] ; под общ. ред. А. М. Дальского.-3-е изд., перераб. и доп.-М.:Машиностроение,1992.-447 с.:ил. -.ISBN 5217011165:166.25.
56. Технология обработки конструкционных материалов [Текст]:учебник для вузов/[П. Г. Петруха, А. И. Марков, П. Д. Беспяхотный и др.] ; под ред. П. Г. Петрухи.-М.:Высшая школа,1991.-512 с.:ил. -.ISBN 5060007030:2.70.
57. Смирнов, Адриан Анатольевич. Молекулярно-кинетическая теория металлов [Текст]/А. А. Смирнов.-М.:Наука,1966.-488 с.
58. Материаловедение и технология металлов [Текст]:учебник для вузов/[Г. П. Фетисов, М. Г. Карпман, В. М. Матюнин и др.] ; под ред. Г. П. Фетисова.-Изд. 6-е, доп.-М.:Высшая школа,2008.-876 с. :ил. -.ISBN 9785060044188:514.00.

СОДЕРЖАНИЕ

	Страницы
Вступление.....	3
1. Лекция 1 .СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ.....	5
1.1. Атомно-кристаллическое строение металлов.....	5
1.1.1. Общее понятие о металлах.....	5
1.2. Атомно-кристаллическая структура металлов.....	10
1.2.1. Основные типы кристаллических решеток.....	12
1.2.2. Дефекты строения кристаллических тел.....	20
1.2.2.1. Точечные дефекты.....	20
1.2.2.2. Линейные дефекты.....	24
1.2.2.3. Поверхностные дефекты.....	29
1.2.2.4. Кристаллическое строение сплавов.....	32
1.2.2.5. Вопросы для самоконтроля.....	37
1.2.2.6. Литература.....	39

ДЛЯ ЗАМЕТОК

1. Сайт Краснодонского факультета Инженерии и Менеджмента ВНУ им. В. Даля <http://krafim.net.ua>.
2. Сайт кафедры Инженерных дисциплин <http://kidkrasnodon.at.ua>.
3. Сайт о научно-технической информации <http://researchworker.ucoz.ru>.
4. Для лучшего усвоения материала, можно посмотреть документальные фильмы о строении атома, размещенные по адресам:
<http://video.mail.ru/mail/gullwayder/926/968.html>.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Навчальне видання

КОНСПЕКТ З ДИСЦИПЛІНИ
ТЕХНОЛОГІЯ МЕТАЛІВ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО
ЧАСТИНА 1

БУДОВА МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ

На російській мові
для студентів напрямку:
«Машинобудування»

Укладач:

Валерій Олександрович Колесніков

Редактор

Техн. редактор

Оригінал-макет Валерій Олександрович Колесніков

Підписано до друку _____

Формат 60841/16 × Папір друкар. Гарнітура Times.

Друк офсетний. Усл. печ. л. _____. Уч.-изд. л. _____.

Тираж ___ примірників. Видавництво № _____. Замовлення № _____. Ціна договірна.

Видавництво Східноукраїнського національного університету

імені Володимира Даля

Адреса видавництва: 91034, м. Луганськ, кв. Молодіжний, 20а

Телефон: 8 (0642) 41-34-12, факс. 8 (0642) 41-31-60

E-mail: uni@snu.edu.ua <http://www.snu.edu.ua>