

Д. О. СЛАВИН

A decorative, double-lined frame with a scalloped, ornate border surrounding the title text.

**СВОЙСТВА
МЕТАЛЛОВ**

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА
ВЫПУСК 40

Д. О. СЛАВИН
Кандидат технических наук

СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА • 1954

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Металлы и сплавы	5
Металл под микроскопом	11
Кристаллические решётки	14
Что такое аллотропия	19
Точки Чернова	20
Строение сплавов	24
Температура плавления	31
Теплопроводность	32
Электропроводность	33
Магнитные свойства	36
Как деформируются металлы	40
Показатели прочности и пластичности	45
Ползучесть	52
Ударная вязкость	53
Выносливость	55
Твёрдость	56
Враги металлов	60
Борьба с коррозией	62
Заключение	63

Д. О. Славин. Свойства металлов.

Редактор *Д. А. Катренко.*

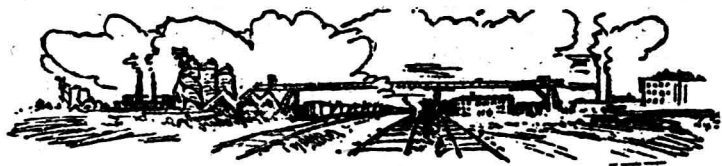
Техн. редактор *С. С. Гаврилоз.*

Корректор *А. С. Казан.*

Снято в набор 17/V-54 г. Подписано в печать 24/VI-54 г. Бумага 84×108^{1/2} см.
 Физ. печ. л. 2. Условн. печ. л. 3,28. Уч.-изд. л. 3,36. Т-04817.
 Тираж 100 000 экз. Цена книги 1 р. Заказ № 3147.

Государственное издательство технико-теоретической литературы.
 Москва, Б. Калужская, 15.

3-я типография «Красный пролетарий» Главполиграфпрома
 Министерства культуры СССР, Москва, Краснопролетарская, 15.



ВВЕДЕНИЕ

Было время, когда для изготовления орудий производства человек использовал только такие материалы, которые давала ему природа в готовом виде: дерево, глину, камни. Привязанный к палке камень служил молотком, из глины человек делал посуду, из дерева — домашнюю утварь и т. д.

Этот период развития человеческого общества назван «каменным веком».

Первые металлы, которыми стал пользоваться человек, были медь и золото; они встречаются в природе в самородном виде. Но золото — редкий и недостаточно твёрдый металл. Поэтому основным материалом для изготовления различных орудий являлась медь. Позднее выяснилось, что медь становится более твёрдой и более пригодной для литья, если её сплавить с оловом. Так появился первый сплав — бронза. Эпоха, когда человек употреблял для изготовления всякого рода изделий бронзу, названа «бронзовым веком».

Известно, что наши предки были знакомы с бронзой уже 5000 лет назад. Они изготавливали из бронзы самые различные изделия: топоры, ножи, пилы, гвозди, косы, рыболовные крючки, долота, мечи и т. д.

С течением времени человек научился получать железо. Железных руд в земной коре много, и выплавлять из них железо сравнительно нетрудно. Железо — более прочный металл, чем медь. Поэтому оно во многих случаях заменило бронзу.

В истории развития человеческого общества наступил «железный век».

Позднее люди заметили, что сплав железа с углеродом — сталь — гораздо твёрже и прочнее бронзы и железа. Сталь заменила железо. Одновременно со сталью начал применяться и чугун.

Металлургия возникла ещё в глубокой древности.

Раскопки древних погребений на Урале говорят о том, что в России железо было известно уже 2000 лет назад. В VII и VIII веках во многих русских городах производилась обработка металлов. Сохранились документы, говорящие о том, что в XIV веке Россия вывозила железные изделия в Чехию, а позднее и в другие страны Западной Европы.

Русские мастера по металлу достигли высокого искусства. Русские литейщики одними из первых в мире начали отливать медные, а затем чугунные пушки. Один из иностранных послов в России в XVI веке писал: «На Руси отливают столь большие чугунные пушки, что воин в полном вооружении, стоявший на дне их, не мог достать рукою до их края». В 1586 году мастер Андрей Чохов отлил «царь-пушку» весом в 40 тонн, находящуюся и поныне в Московском Кремле. Русские мастера Моторины в XVIII веке отлили «царь-колокол» весом в 12 тысяч пудов; своими размерами он превосходил все колокола мира. По заказу англичан в России был отлит большой колокол для Вестминстерского аббатства в Лондоне.

Металлургическая промышленность России особенно быстро стала развиваться в первой четверти XVIII века, при Петре I. Если к началу XVIII века Россия выплавляла в год всего около 150 тысяч пудов чугуна — в пять раз меньше, чем Англия, — то в 1724 году Россия уже опередила Англию и выплавляла больше миллиона пудов чугуна. В 1800 году выплавка чугуна в России составляла уже около 10 миллионов пудов.

Однако экономическая отсталость царской России и её зависимость от иностранного капитала мешали развитию русской промышленности и металлургического дела.

Победа Великой Октябрьской социалистической революции в нашей стране привела к созданию новой, социалистической системы народного хозяйства. Из отсталой земледельческой страны Советский Союз превратился в передовую индустриально-аграрную державу. Коммуни-

стическая партия и Советское правительство прежде всего направили силы и средства на развитие отечественной тяжёлой промышленности. В годы пятилеток в СССР происходит небывалый рост производства металлов и создаются новые мощные предприятия, такие гиганты социалистической промышленности, как Магнитогорский и Кузнецкий металлургические комбинаты имени И. В. Сталина, «Азовсталь», Запорожский комбинат и другие.

Накануне Великой Отечественной войны в нашей стране чугуна производилось почти в 4 раза больше, а стали — в 4,5 раза больше, чем в 1913 году. По выплавке этих основных материалов техники Советский Союз занял первое место в Европе.

Директивы XIX съезда КПСС предусматривают дальнейшее мощное развитие чёрной и цветной металлургии. Прирост производства чугуна, стали и проката за пятую пятилетку превысит прирост производства всех трёх довоенных пятилеток вместе взятых.

Кроме железа, в настоящее время технике нужны почти все имеющиеся в земной коре металлы. Современная техника предъявляет к металлам и сплавам самые разнообразные требования. Для постройки реактивных самолётов требуются прочные сплавы, стойкие к действию высоких температур. Для химической промышленности требуются металлы, которые не разрушаются под действием различных химических веществ. Для электротехнической промышленности нужны металлы, легко намагничивающиеся и легко размагничивающиеся, и т. д. Всем этим требованиям удовлетворяют новые сплавы, создаваемые учёными и практиками-металлургами Советского Союза.

Предлагаемая книжка знакомит читателя с основными свойствами металлов.

МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

Из всех известных в природе химических элементов около 70 являются металлами. Металлы — весьма распространённые элементы. В недрах земли, в водах рек, озёр, морей и океанов, в организмах животных и растений, даже в атмосфере — всюду есть металлы.

В таблице показано распространение различных химических элементов в земной коре *).

Самыми распространёнными металлами являются алюминий и железо. За ними следуют кальций, натрий, магний, калий. Есть металлы, содержание которых в земной коре исчисляется лишь миллионными (золото), миллиардными (радий) и ещё меньшими долями процента по отношению к общему весу земной коры.

На больших глубинах земли количество металлов возрастает; здесь находятся главным образом такие металлы, как железо, кобальт, никель, титан, платина. Центральное ядро Земли, по современным предположениям учёных, составляют железо и никель с небольшой примесью кобальта, хрома и элементов-неметаллов — фосфора, углерода и серы.

В водах рек и морей содержатся самые различные металлы и всегда — натрий, калий, магний, кальций; они

Средний состав земной коры (до глубины 16 км)

Химический элемент	Содержится в процентах (по весу)	Химический элемент	Содержится в процентах (по весу)
Кислород	49,1	Марганец	0,1
Кремний	26,0	Фтор	0,08
Алюминий	7,5	Барий	0,04
Железо	4,2	Азот	0,04
Кальций	3,3	Цирконий	0,03
Натрий	2,4	Стронций	0,02
Магний	2,35	Ванадий	0,02
Калий	2,35	Хром	0,02
Водород	1,0	Никель	0,02
Титан	0,5	Бром	0,01
Углерод	0,4	Литий	0,01
Хлор	0,2	Бериллий	0,01
Фосфор	0,1	Медь	0,01
Сера	0,1	Остальные элементы	0,09

входят в состав солей, растворённых в воде. Хотя большинство металлов находится в морской воде в ничтожно малых концентрациях, однако общее количество металлов, рассеянных в водах всех морей и океанов Земли, до-

*) В таблице учитываются и металлы, встречающиеся в виде самородков, и металлы, входящие в состав различных сложных веществ.

вольно велико: миллионы тонн золота, десятки миллионов тонн серебра, ртути и т. д.

Много различных металлов (в виде соединений с другими элементами) есть в организмах животных и растений. Всегда встречаются в них кальций, калий, железо. Есть также медь, цинк, кадмий, литий и т. д., но количество их очень невелико.

В окружающей Землю атмосфере всегда носятся мельчайшие частицы морских солей, в состав которых также входят металлы.

Металлы по своим свойствам сильно отличаются от других элементов, неметаллов. Двести лет назад М. В. Ломоносов впервые дал ясное понятие о том, что такое металл. Он писал: «Металлы — тела твёрдые, ковкие, блестящие». Это простое определение в основном правильно и в настоящее время. Мы знаем, что все металлы имеют особый «металлический» блеск. Почти все металлы ковки и прочны. Металлы хорошо проводят тепло и электрический ток. Благодаря этим качествам они и получили самое разнообразное применение в технике и в быту.

Вполне очевидно, что широкое использование того или иного металла в промышленных целях во многом зависит от его количества в земной коре и содержания его в рудах.

В земной коре находятся миллиарды тонн железа. Им богаты многие руды. Metallурги используют сейчас руды, содержащие не менее 30% железа. Из каждой тонны такой руды можно выплавить примерно 300 килограммов металла. Железо — один из наиболее широко используемых в технике металлов.

Медные и свинцовые руды обычно содержат 1—2% меди или свинца. Из каждой тонны таких руд можно добыть 10—20 килограммов металла.

В одной тонне золотоносной руды часто содержится в среднем лишь 5 граммов золота. В ещё меньших количествах встречаются в рудах такие металлы, как вольфрам, молибден, рений. Ясно, что ни золото, ни рений не могут быть использованы в промышленности так же широко, как, например, железо или медь.

Чистые металлы, то-есть металлы, не содержащие в себе никаких примесей, не обладают достаточно высокой прочностью и применяются сравнительно мало. В технике используются главным образом сплавы.

Сплавы — это сложные вещества. В их состав могут входить два или больше химических элементов. Так, например, латунь — это сплав меди с цинком, обычная сталь — сплав железа с углеродом, имеющий примеси кремния, марганца, серы и фосфора.

Иногда самых незначительных примесей другого элемента достаточно, чтобы резко изменились свойства сплава. Так, если в стали содержится всего лишь около 0,2% углерода, то её прочность возрастает более чем в два раза по сравнению с чистым железом. Сплав алюминия с 4% меди, магния и марганца в 3—4 раза прочнее, чем чистый алюминий.

Сплав всегда прочнее, чем чистые металлы, которые входят в его состав. Повышенная прочность сплавов имеет громадное практическое значение. Чем выше прочность сплава, тем меньше его надо для постройки той или другой машины, тем легче вес и меньше стоимость этой машины. Поэтому советские учёные непрерывно ведут поиски всё новых и новых высокопрочных сплавов.

Все металлы и сплавы, которые используются в технике, делятся на два основных класса.

Первый класс — это чёрные металлы. К этому классу относятся железо и все железные сплавы, в которых железо составляет основную часть: чугуны и стали. Чугун — это железный сплав, который содержит больше 2% углерода и небольшие количества кремния, марганца, серы и фосфора. В стали углерода не более 2%.

При изготовлении специальных, так называемых легированных сталей и чугунов в сплав вводят хром, никель, вольфрам, молибден, ванадий, кобальт, титан и другие, иногда до 5—6 различных металлов. Таким путём получают различные ценные стали, которые обладают в одних случаях повышенной прочностью, в других — высоким сопротивлением истиранию, свойством не окисляться на воздухе, не разрушаться под действием кислот и других химических веществ и т. д.

Кроме того, к чёрным металлам относятся ферросплавы. Это — сплавы железа с марганцем (ферромарганец), с кремнием (ферросилиций), с хромом (феррохром), с титаном (ферротитан) и др. Ферросплавы нужны для изготовления сталей.

Второй класс — это цветные металлы. Названы они так потому, что имеют различную окраску. Медь,

например, — светлокрасная, никель и олово — серебристо-белые, цинк — светлосерый, свинец — голубовато-белый, золото — жёлтое. К цветным металлам относятся и сплавы этих металлов: различные бронзы (сплавы меди с оловом и другими металлами, кроме цинка), латуни, баббиты (сплавы олова с сурьмой и медью) и другие.

Нужно отметить, что деление на чёрные и цветные металлы условно, так как и среди цветных металлов встречаются металлы более чёрные, чем «чёрные металлы», например некоторые свинцовые сплавы.

Цветные металлы, в свою очередь, можно разделить на четыре группы: тяжёлые, лёгкие, редкие и благородные металлы (см. рис. 1).

К тяжёлым металлам относятся: медь, никель, свинец, олово, цинк, хром, марганец и их сплавы. Тяжёлыми их называют потому, что они имеют сравнительно высокий удельный вес.

На рисунке 2 приведены удельные веса различных металлов.

Лёгкие металлы — металлы с небольшим удельным весом. Это алюминий, магний, литий, бериллий и др. Алюминий легче железа почти в 3 раза, а магний — в 4,5 раза. Самый лёгкий из всех металлов — литий: он в 15 раз легче железа и почти в 2 раза легче воды.

Лёгкие металлы стали известны сравнительно недавно: самый старший из них — бериллий — был открыт около полутора столетия назад. Алюминий и магний имеют сейчас исключительно важное промышленное значение. Без алюминиевых и магниевых сплавов трудно представить самолётостроение. Лёгкие алюминиевые сплавы нужны для машиностроительной промышленности и судостроения.

Алюминий нередко называют металлом XX века. Он производится теперь в громадных количествах. А ведь лет 50 назад он считался драгоценным металлом; в 1899 году великий русский учёный Д. И. Менделеев во время своего пребывания в Лондоне получил от английских учёных подарок — весы, сделанные из золота и алюминия.

Таких металлов, как ванадий, цирконий, молибден, кобальт, теллур, вольфрам, очень мало в земной коре; в настоящее время не известно ни одной руды, тонна которой содержала бы их в количестве, большем, чем тысячные доли грамма. Поэтому они называются редкими

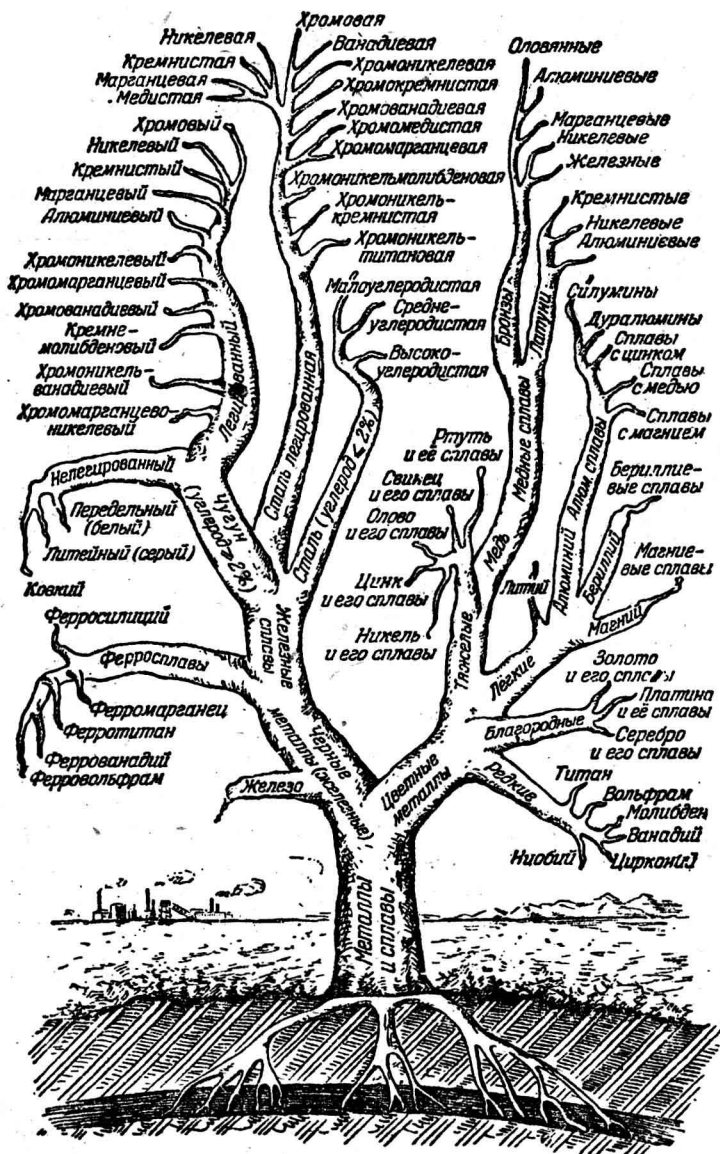


Рис. 1. «Дерево» металлов.

металлам. Правда, циркония и ванадия, например, в земной коре гораздо больше, чем хорошо всем известного свинца. Но цирконий и ванадий — более рассеянные элементы, и извлечение их из руд связано с громадными трудностями.

В современной технике значение редких металлов растёт с каждым годом. Они используются главным образом для производства легированных сталей и других ценных сплавов, необходимых для химической промышленности, электротехники, радиотехники и приборостроения.

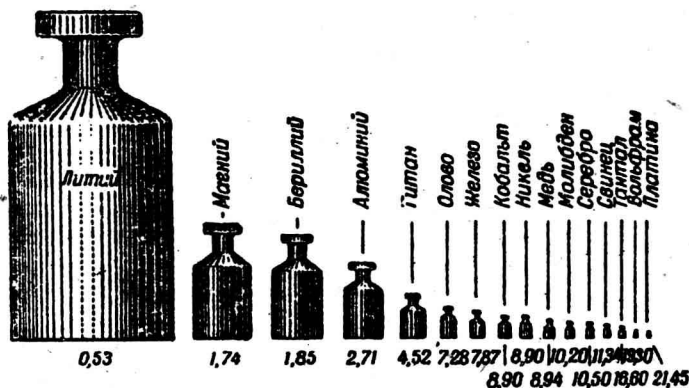


Рис. 2. Удельные веса различных металлов.

Наконец, последняя группа цветных металлов — благородные металлы: серебро, золото, платина, рутений, палладий и некоторые другие. Эти металлы не окисляются на воздухе даже при повышенной температуре и не разрушаются при действии многих химических веществ. Используются они в приборостроении, в электроламповой промышленности, для изготовления химической аппаратуры и т. д.

В настоящее время в технике применяются все имеющиеся в земной коре металлы.

МЕТАЛЛ ПОД МИКРОСКОПОМ

Когда мы рассматриваем кусок стали, меди, свинца или какого-либо другого металла невооружённым глазом, металл нам кажется совершенно однородным, сплошным.

С помощью лупы можно увидеть, что поверхность одного металла оказывается зернистой, поверхность другого имеет волокнистый вид (рис. 3). Можно также рассмотреть на поверхности трещины, раковины и т. д.

Долгое время считали, что металлы — вещества аморфные, то-есть бесформенные, такие же, как, например, воск или стекло. Но в 1878 году, изучая процесс затвердевания жидкой стали, великий русский металлург Д. К. Чернов установил, что при застывании сталь образует сложную систему кристаллов.

Любой металл состоит из огромного множества мельчайших кристаллических зёрнышек, крепко соединённых друг с другом. Их можно отчётливо видеть только при

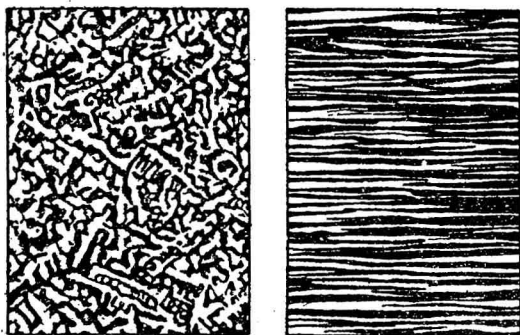


Рис. 3. Зернистое строение литой стали и волокнистое строение стали после прокатки.

помощи микроскопа с большим увеличением.

Первым учёным, применившим микроскоп для изучения строения металлов, был замечательный русский металлург первой половины прошлого века П. П. Аносов.

Чтобы различить внутреннее строение или, как говорят, структуру металла под микроскопом, поверхность металла особым образом обрабатывают.

Почему нужна эта обработка? Обычно поверхность металла состоит из громадного количества выступов и впадин, и если бы мы наблюдали в микроскоп такую необработанную поверхность, выступы и впадины затемнили бы нам истинную картину строения металла. Кроме того, поверхность, как правило, покрыта тончайшей плёнкой окислов (соединений металла с кислородом) и раз-

личными загрязнениями. Поэтому поверхность металла сначала тщательно зачищают напильником или наждачным кругом, затем шлифуют и полируют. После такой обработки поверхность становится зеркальной. Образец металла с зеркальной поверхностью называют шлифом. Далее поверхность шлифа подвергается травлению: смачивается в течение двух-трёх минут спе-

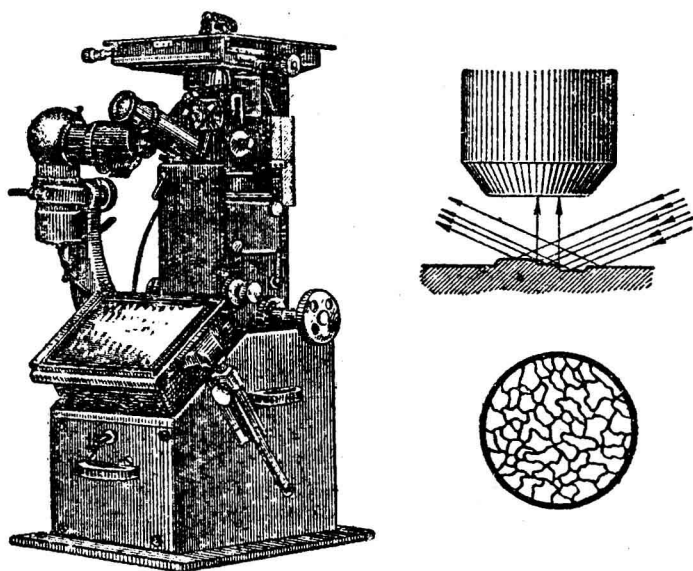


Рис. 4. Металломикроскоп. Справа сверху — лучи света, отражённые от поверхности шлифа, идут в объектив микроскопа. Справа внизу — поверхность чистого железа под микроскопом.

циальным раствором, содержащим кислоты и другие вещества, а потом промывается водой.

Способ приготовления и травления шлифов впервые был разработан П. П. Аносовым. В основных чертах этот способ используется и теперь.

Различные зёрна сплава разъедаются кислотой неодинаково, и поэтому после травления на поверхности шлифа выступают грани отдельных кристаллов. Если протравленный шлиф, находящийся под микроскопом, осветить, то часть зёрен отражает падающий на них свет прямо на

объектив, и такие зёрна при наблюдении в микроскоп кажутся светлыми. Другие зёрна отражают свет в сторону и кажутся тёмными. Кроме того, разные зёрна после травления нам кажутся окрашенными по-разному. Это также помогает разобраться в строении металла.

При микроскопическом изучении металлов применяется боковое освещение, так как все металлы непрозрачны и освещать их снизу нельзя. Источник света располагается так, чтобы часть отражённых поверхностью шлифа лучей попадала в объектив (рис. 4).

С помощью микроскопа можно узнать, какое строение имеют металлы, как расположены в сплаве отдельные зёрна, какие неметаллические включения содержит сплав, есть ли в сплаве мельчайшие трещины и т. д. Микроскоп является теперь чрезвычайно распространённым средством исследования металлов.

КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ РЕШЕТКИ

Все металлы — вещества кристаллические. Что же такое кристаллы?

Слово «кристаллос» у древних греков обозначало лёд. Впоследствии этим словом стали называть все твёрдые тела, имеющие естественную строго определённую геометрическую форму. Кристаллы весьма распространены в природе. Подавляющее большинство твёрдых тел имеет кристаллическое строение.

Железо при затвердевании образует кристаллы в виде кубиков. Но на рисунке 4 мы видим кристаллы железа неправильной формы, кристаллиты, имеющие вид зёрен. Почему это происходит? Как растут кристаллы?

Ответ на эти вопросы впервые дал Д. К. Чернов. Впоследствии справедливость его взглядов была подтверждена работами многих советских учёных.

В расплавленный металл неизбежно попадают пылинки, пузырьки воздуха и другие посторонние включения. Как правило, именно вокруг этих мельчайших частичек начинают группироваться беспорядочно расположенные в остывающем металле атомы. Кроме того, центрами кристаллизации служат и комплексы атомов, самопроизвольно возникающие в охлаждаемом металле. Так образуются зародыши будущих кристаллов (рис. 5, а). По мере охлаждения металла количество зародышей уве-

личивается. Каждый зародыш вырастает в отдельный кристаллик (рис. 5, б). Растущие кристаллы в определённый момент начинают теснить друг друга (рис. 5, в), и их правильная форма искажается. Нарушению формы кристаллов способствует и неодинаковая температура в различных местах остывающего металла. Поэтому в расплаве и возникают зёрна (рис. 5, г) и древовидные образования из сросшихся друг с другом отдельных мелких кристалликов — дендриты. Кристаллические зёрна и дендриты

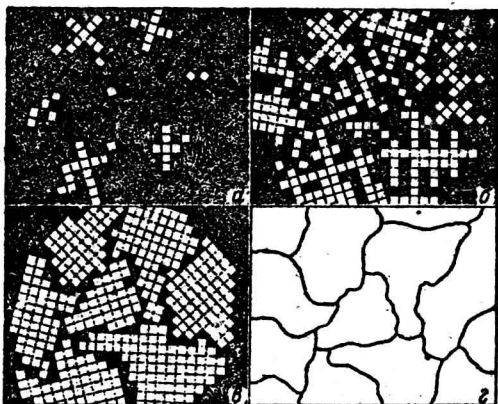


Рис. 5. Схема роста кристаллов в застывающем расплаве: а — образуются зародыши, б — растут кристаллы, в — кристаллы начинают теснить друг друга, г — отдельные зёрна срачиваются.

в застывшем металле могут быть различной формы и величины. Они отделены друг от друга отдельными прослойками, которые отчётливо видны под микроскопом (см. рис. 4). Эти прослойки состоят из различных неметаллических включений, которые всегда присутствуют в металле.

Получить металл, который состоял бы только из одного кристалла — монокристалла, в обычных условиях не удаётся. Объясняется это тем, что в расплаве одновременно зарождается множество кристаллов.

Однако для изучения некоторых свойств металлов, как мы увидим дальше, необходимо бывает иметь монокристалл, и в настоящее время разработаны способы

искусственного выращивания монокристаллов (осторожное охлаждение расплава и другие способы).

И в зёрнах, и в дендритах, и в монокристалле одного и того же металла атомы располагаются в строго определённом порядке; они образуют ту или другую пространственную решётку.

Атомы нельзя увидеть ни в какой микроскоп. Однако, освещая кристалл рентгеновскими лучами и изучая рентгенограмму, то-есть картину, которая создаётся этими лучами после прохождения их через кристалл на фотопластинке, удастся глубоко заглянуть в мир кристаллов и выяснить, как расположены в кристаллической решётке различные атомы и каковы расстояния между этими мельчайшими частицами вещества.

Рентгеновские исследования показали, что среди металлов чаще всего встречаются три типа пространственных решёток.

Первый тип — кубическая объёмноцентрированная решётка. Атомы в такой решётке находятся в вершинах и в центре куба (поэтому решётка и называется объёмноцентрированной). Каждый атом окружён восемью ближайшими соседними атомами (рис. 6, а). Такую решётку имеют литий, хром, ванадий, молибден, вольфрам.

Второй тип решётки — кубическая гранецентрированная (рис. 6, б). Атомы расположены по вершинам и центрам граней куба. Такой решёткой обладают, например, алюминий, медь, свинец, никель, золото, серебро, платина.

Третий тип — гексагональная (шестиугольная) плотно упакованная решётка (рис. 6, в). Она встречается у магния, цинка, кадмия, бериллия.

Марганец, висмут, белое олово и некоторые другие металлы имеют более сложные решётки.

Изучая рентгенограммы различных кристаллов, учёные пришли к убеждению, что атомы «упаковываются» в пространстве примерно таким же образом, каким можно упаковывать твёрдые шары. Поэтому на рисунке 6 атомы условно изображены в виде шариков (расстояния между ними в левой части рисунка заведомо увеличены, чтобы яснее представить строение кристаллической решётки).