

Г.А. Кащенко

Практические занятия по металлографии

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 66.0
ББК 35
Г11

Г11 **Г.А. Кашенко**
Практические занятия по металлографии / Г.А. Кашенко – М.: Книга по Тре-
бованию, 2013. – 144 с.

ISBN 978-5-458-60498-7

ISBN 978-5-458-60498-7

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2013

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2013

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

I. НЕОБХОДИМЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.

Введение.

Применение в практике металлов как простых (чистых), так и сложных (сплавов), требует прежде всего знания их свойств — физических, механических и химических. Свойства же разных металлов и особенно сплавов весьма разнообразны и обуславливаются прежде всего их составом (химическим), а затем их строением или структурой.

Изучение структуры металлов и сплавов в зависимости от состава и в связи со свойствами и составляет предмет металлографии.

Что же такое структура металлов и почему она обуславливает собою их свойства? Понятие о структуре связывается непременно с представлением о кристаллическом твердом теле, в котором частицы (атомы или молекулы), образующие данное тело, расположены с известной геометрически-правильной закономерностью по так называемой кристаллической или пространственной решетке, представление о которой дает рис. 1.

Отдельные объемы или группы частиц, уложенных подобным образом, имеющие свои очертания, т. е. ограниченные более или менее правильной внешней формой, образуют так называемые кристаллы, из которых и состоят все кристаллические тела, в том числе и металлы. Большой частью в кристаллических телах мы встречаем множество отдельных кристаллов, плотно примыкающих друг к другу и имеющих весьма разнообразные границы соприкосновения и взаимное расположение. Этот порядок расположения частиц внутри кристаллов, а также форма и взаимное сочетание последних во всем кристаллическом теле и составляют то, что мы называем структурой металлов и сплавов и от чего зависят их свойства.

Структура металлов (простых и сложных) определяется прежде всего их составом, т. е. природными свойствами составляющих их атомов, а затем, при заданном составе, зависит от тех условий, в которых образовалось взятое кристаллическое тело.

Так как в большинстве случаев мы получаем металлы и сплавы путем плавления, то прежде всего их структура будет определяться условиями охлаждения и перехода из жидкого в твердое состояние. Этот переход есть не что иное как образование кристаллов, и потому процесс затвердевания называют обычно кристаллизацией.

Таким образом структура металлов определяется прежде всего условиями их кристаллизации из жидкого состояния. Если полученный металл

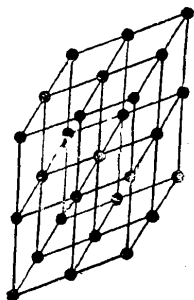


Рис. 1. Кристаллическая решетка.

мы будем подвергать далее какой-либо обработке—механической (прокатка, ковка и т. п.) или термической (путем повторных нагревов и охлаждений с различной скоростью), то структура его будет меняться и зависеть уже от условий произведенной обработки. Такие металлы мы называем обработанными (отожженными, закаленными, кованными, катанными и т. д. в зависимости от рода обработки). Если же охлажденный после затвердевания металл не подвергался никакой дополнительной обработке, то структура его останется более или менее зафиксированной в связи с условиями кристаллизации из жидкого состояния, и такой металл мы называем просто литым.

В наших практических занятиях мы следовательно должны изучить структуры как литых, так и обработанных металлов, простых и сложных.

Прежде всего мы конечно рассмотрим структуру простых (чистых) металлов, состоящих из одного рода атомов.

§ 1. Кристаллизация и структура простых (чистых) металлов.

Образование всякого кристаллического тела начинается с того, что в охлаждаемой жидкости появляются зародыши или центры кристаллизации, т. е. пункты, от которых начинают „расти“ или развиваться кристаллы; при этом обычно не происходит сразу образования полного кристалла с геометрически правильной внешней формой в виде много-

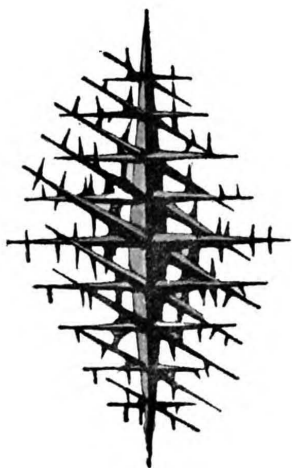


Рис. 2. Дендрит чугуна.

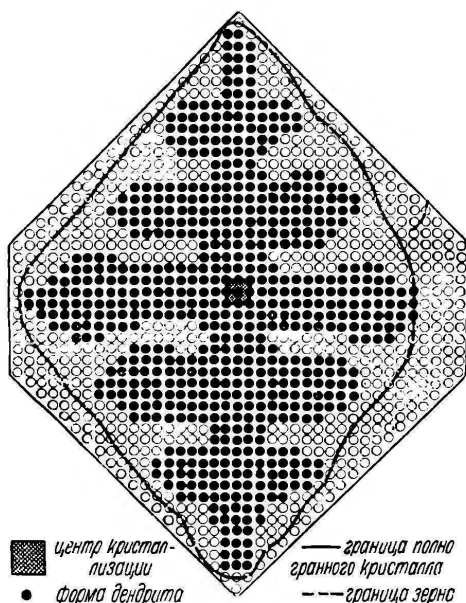


Рис. 3. Схема образования кристалла.

гранника (по гречески полиэдра): чаще всего сперва частицы укладываются по так называемым осям кристалла, образуя ветвистого вида форму, которую называют дендритом и примерный вид которой показан на рис. 2. Дендриты по мере дальнейшей кристаллизации постепенно „обрастают“ частицами, и промежутки между их ветвями заполняются, так что

в конце концов ветвистая форма исчезает, и получается более или менее заполненный кристалл. Только в редких случаях этот кристалл получается в виде правильного многогранника: большей частью внешние его грани бывают искажены или просто недоразвиты и форма (внешняя) кристаллов бывает самая разнообразная, вплоть до округленной, подобно зернам: отсюда такие кристаллы и называют зернами. [Предложено также вообще не вполне развитые кристаллы, т. е. не имеющие формы правильных многогранников, называть кристаллитами.] Схематически образование и развитие одного кристалла от зародыша (центра кристаллизации) через дендрит до зерна и полногранного кристалла показывает рис. 3.

Если мы теперь представим себе, что в жидком объеме металла образуется обычно множество центров кристаллизации и что от каждого из них происходит аналогичное разрастание кристалла, то станет понятна и структура, которую приобретает весь объем чистого металла после за твердевания. Схематически образование этой структуры показывает рис. 4: кристаллы разрастаются вплоть до взаимного соприкосновения и хотя и заполняются в промежутках между осями, но не позволяют друг другу принимать правильную геометрическую форму: мы получаем лишь зерна с неправильными очертаниями, представляющими собою как бы искаженные границы многогранников или полиэдров.

Такую структуру называют зернистой или полиэдрической. Полиэдрическая структура показывает нам границы зерен, составляющих металл, и следовательно может определять величину, форму и расположение этих зерен — данные, часто имеющие для практики весьма важное значение.

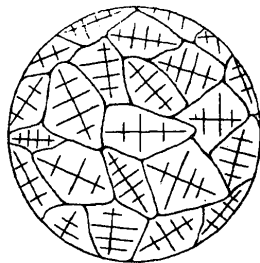


Рис. 4. Схема образования полиэдрической структуры.

Обычные методы, с помощью которых мы наблюдаем полиэдрическую (как и всякую другую) структуру, называются методами макроструктуры и микроструктуры. Первый — в том случае, когда структура наблюдается непосредственно невооруженным глазом, второй — при наблюдении ее под микроскопом.

Но и в этом и в другом случаях мы готовим сперва шлиф металла, т. е. стачиваем на плоскость какое-либо сечение образца, шлифуем его, полируем (при микроструктуре) и вытравливаем каким-либо реактивом. Таким образом структуру мы наблюдаем лишь на плоскости шлифа и о строении металла судим лишь по тому сечению, какое попало на эту плоскость.

При полиэдрической структуре мы следовательно видим сечение зерен, составляющих металл, причем в зависимости от способа травления мы получаем полиэдрическую структуру двойного вида:

1) либо зерна все имеют одинаковый цвет (светлые) и ясно видны лишь темные их границы, как например на фиг. 12, табл. II (см. приложение: фотограммы структур);

2) либо каждое из зерен имеет разный оттенок на всем своем сечении, благодаря чему их можно отличить друг от друга, как это видно из фиг. 12b (той же таблицы). Разный оттенок (цвет) зерен здесь объясняется различным состоянием поверхности их сечений, попавших на шлиф: в некоторых зернах эти сечения вытравливаются таким образом, что поверхность их рассеивает свет и потому кажется темной (см. стр. 38); в других зернах поверхность сечения их травится равномерно, так что отражает свет почти так же, как и до травления; такие зерна кажутся

более или менее светлыми. Таким образом зерна одного и того же металла могут принимать неодинаковый цвет после травления; разная же протравимость зерен обуславливается здесь тем, что они представляют кристаллы, расположенные в различном направлении по отношению к плоскости шлифа; в кристаллах же свойства меняются в зависимости от направления, поэтому и травление каждого зерна получается различным, смотря по тому, какое сечение (направление) кристалла попало на поверхность шлифа.

Изменение свойств в кристалле в зависимости от направления является характерной особенностью кристаллических тел и называется анизотропностью.

Анизотропностью кристаллических тел объясняются многие явления при изучении структуры металлов.

Указанные два вида полиэдрической структуры конечно могут наблюдаться в самой разнообразной форме в зависимости от величины, формы и расположения зерен, составляющих взятый образец металла, что в свою очередь определяется условиями его получения и обработки.

Чаще всего приходится наблюдать резкую разницу в структуре между металлом литым, охлажденным без обработки, и металлом, механически и теоретически обработанным (отожженным): в первом обыкновенно получается крупное зерно, часто с весьма извилистыми границами, во втором — мелкое и более или менее округленное зерно. (Это однако нельзя принимать за правило во всех случаях, так как бывает и наоборот, но реже.)

На фиг. 12—12d представлены подобные структуры чистых железа и меди, литых и обработанных (отожженных).

На фиг. 12a в обработанной (прокатанной и отожженной) меди следует обратить внимание еще на признак, характерный только для обработанных металлов: это так называемые механические двойники скольжения, наблюдаемые в виде ровных полосок, простирающихся поперек всего зерна и имеющих отличный от него оттенок; иногда вместо полоски мы видим такой двойник просто как часть зерна иного оттенка. Полагают, что в этих местах произошел поворот частиц на некоторый угол, вследствие чего здесь и получается другой оттенок после травления (анизотропность). Несмотря на этот поворот частиц в двойниках скольжения, зерно все-таки остается неразрушенным и его можно рассматривать как одно целое.

Двойники скольжения наблюдаются лишь после механической обработки и отжига и встречаются не во всяких металлах. На фиг. 12d в литой меди следует отметить также признак, присущий исключительно литому металлу и только при некоторой его загрязненности примесями: этот признак — пятнышки, симметрично рассеянные на поверхности протравленного шлифа; они обуславливаются некоторым обогащением примесями в данных местах несколько загрязненного металла (вследствие явления так называемой дендритной ликвации при затвердевании, см. дальше, стр. 20). В отожженном (обработанном) металле, равно как и в совершенно чистом, этих пятнышек быть не должно.

Практика изучения структур металлов показывает, что зерна их по величине могут меняться в весьма широких пределах, начиная от ультрамикроскопических, неразличимых ни под каким увеличением микроскопа, и кончая макроскопическими — различимыми невооруженным глазом.

Чтобы характеризовать зерна по величине, производят обыкновенно их измерение по структуре, определяя или их средний диаметр (принимая их приблизительно в виде шаров) или среднюю площадь их сечения, выражаемую большей частью в квадратных микронах (μ^2). Самый способ

определения величины зерна в металле указан далее в практических работах (задание 2, § 4).

§ 2. Кристаллизация и структура сплавов.

Металлические сплавы представляют собой сложные тела, получаемые путем сочетания двух или более простых металлов между собой или с неметаллическими элементами.

По терминологии, какую обычно применяют при изучении сплавов, мы можем иначе сказать, что сплав представляет собою сложную систему, составленную из нескольких компонентов, понимая под последними те наипростейшие тела, которые необходимы и достаточны для образования данного сплава. Эти простейшие тела или компоненты могут сочетаться в сплаве различным образом:

1) либо они могут быть в сплаве в виде механической смеси, т. е. в виде различных друг от друга участков, ограниченных некоторыми физическими поверхностями раздела, так что мы всегда можем их хотя бы мысленно отделить друг от друга;

2) либо они могут распределяться между собою атомно, т. е. атомы одного из компонентов расположатся между атомами другого в одной кристаллической решетке, так что между обоими компонентами нельзя установить физических границ раздела, и весь сплав является телом, физически однородным, подобно тому как чистый твердый один компонент (металл) мы считаем однородным; потому что в нем мы не можем различить каких-либо физически отделимых частей.

Однородные тела или части системы принято называть фазами.

Таким образом все сплавы, получаемые путем сочетания двух или более компонентов, могут быть подразделены на два класса:

1) сплавы-смеси, представляющие механическую смесь двух или более фаз;
2) сплавы однородные, представляющие одну фазу, хотя бы и сложного состава, т. е. состоящую из нескольких элементов.

В последнем случае фаза сложного состава по природе своей представляет или раствор или химическое соединение. Отсюда мы можем сделать вывод, что все существующие сплавы могут по природе представлять собою или 1) растворы (жидкие или твердые), или 2) химические соединения, или 3) механические смеси двух или более различных фаз (растворов, химических соединений или простых элементов).

Для того чтобы определить природу сплавов и их структуру, необходимо изучить так называемую диаграмму состояний данной системы сплавов, т. е. всех тех сплавов, которые могут быть образованы из одних и тех же компонентов. Сплавы, образуемые только двумя компонентами, составляют двойную систему, тремя компонентами — тройную систему и т. д.

Очевидно, что состав всех сплавов заданной системы может непрерывно меняться от 100% одного из компонентов до 100% каждого из следующих. Например в двойной системе компонентов *A* и *B* все сплавы ее могут изменяться в составе непрерывно от 100% *A* до 100% *B*. Ее диаграмма состояний указывает для всех этих сплавов, какие изменения могут они претерпевать при изменении температуры.

Следовательно на этой диаграмме должен быть показан, с одной стороны, состав каждого из сплавов данной системы, с другой стороны, — температуры, при которых в каждом из сплавов наблюдается изменение или появление различных фаз. Эти изменения фаз называются фазовыми превращениями. Для каждого отдельного сплава температура превращения может быть показана точкою, которая называется критиче-

ской точкой. Ряд критических точек для всех сплавов данной системы даст кривые линии превращений, которые и ограничивают области с различными фазами в сплавах данной системы. Кроме указания природы отдельных фаз и совершающихся со сплавом превращений, диаграмма состояний своим видом, т. е. формой своих кривых дает указания и на способ сочетания отдельных фаз в сплаве, т. е. на характер взаимного расположения этих фаз, что в сущности и является структурой сплава, наблюдаемую под микроскопом.

Таким образом, диаграмма состояний, определяя своим видом структуру, которую должен иметь каждый сплав данной системы, одновременно дает указания на то, какова должна быть природа фаз, составляющих эту структуру, и следовательно дает как бы ключ к разгадке этой структуры.

Как же получить такую диаграмму?

Построение диаграммы состояний основывается на том, что всякое превращение, всякое изменение фаз в сплаве вызывает более или менее резкое изменение и его физических свойств. Отсюда, для построения диаграммы состояний применяются различные методы, основанные на измерении тех или иных физических свойств сплавов, например электропроводности, плотности, расширяемости, твердости и т. д.

Но чаще всего пользуются термическим методом получения диаграммы, основанным на том, что всякое превращение в сплаве сопровождается большим или меньшим тепловым эффектом.

Этот тепловой эффект легко заметить, так как он задерживает равномерное понижение температуры при охлаждении или повышение при нагревании сплава. Температура, при которой происходит подобная остановка равномерного падения температур охлаждаемого (или подъем нагреваемого) сплава, и есть температура превращения сплава или его критическая точка.

Отложив подобные критические точки для каждого сплава по ординатам, расположенным в порядке постепенно возрастающего содержания одного из компонентов на расстоянии, соответствующем этому содержанию, и соединив все критические точки плавными кривыми, мы и получим диаграмму состояний данной системы сплавов.¹

а) Основные (простейшие) типы диаграмм состояний.

Возьмем для примера двойную систему сплавов, состоящих из компонентов свинца и сурьмы (систему Pb—Sb).

Сначала определим критические точки, положим для пяти сплавов с 5%, 10%, 20%, 40% и 80% сурьмы. Чтобы определить эти точки, нагреем каждый сплав до полного расплавления, погрузим в него термометр и станем охлаждать равномерно сплав, наблюдая по пирометру падение температуры сплава. В каждый равный промежуток времени (например 10 сек.) температура убывает приблизительно одинаково равномерно, но там, где такой равномерности убывания нет и температура в течение нескольких промежутков времени остается постоянной или резко замедляется или ускоряется ее падение, там и будет критическая точка.

Положим, что мы нашли следующие критические точки:

Для сплава с 5% Sb две: при 295° и 240°, которые пометим соответственно							
						буквами	a и k
"	"	10% Sb	"	260° и 240°	"	b и l	
"	"	20% Sb	"	280° и 240°	"	c + m	
"	"	40% Sb	"	395° и 240°	"	d и n	
"	"	80% Sb	"	570° и 240°	"	e и p	

¹ Практика получения диаграмм указана ниже: задание 5, § 7.

Отложим эти температуры на ординатах в некотором масштабе, а самые ординаты расположим в порядке возрастающего содержания сурьмы так, чтобы расстояния между ними были пропорциональны процентному содержанию сурьмы. Такое расположение ординат представлено на рис. 5.

Прибавим еще к нашим ординатам две ординаты, соответствующие нулевому содержанию сурьмы (т. е. чистому свинцу) и содержанию сурьмы 100% (т. е. чистой сурьме).

Критические точки их определить также не трудно. Это будут температуры плавления свинца — 327° и сурьмы — 630° . Отметим их на ординатах точками *A* и *B*.

Предполагая, что все промежуточные между указанными сплавы данной системы имеют критические точки, расположенные между найденными, соединим точки *Aab* и *Bedc* плавными кривыми; тогда они дадут пересечение в точке *o*, лежащей на одной горизонтали с полученными нижними точками *klmnp*. Проведя эту горизонталь, мы и получим диаграмму состояний системы *Pb—Sb*. В ней по оси абсцисс мы имеем со-

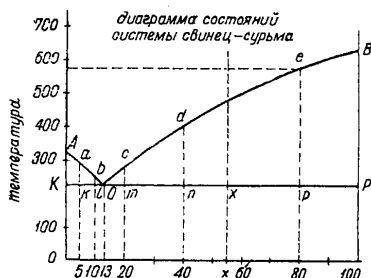


Рис. 5.

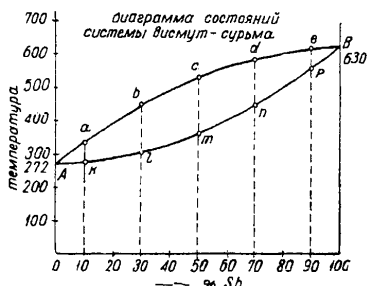


Рис. 6.

став каждого сплава данной системы, а по оси ординат — температуры, на которых отмечены для каждого сплава его критические точки или температуры превращений.

Диаграмма эта, как видно из рисунка, имеет вид двух кривых, пересекающихся в одной точке друг с другом и с горизонтальной прямой.

Возьмем еще другой пример системы сплавов металлов висмута и сурьмы (*Bi—Sb*) и построим для нее диаграмму.

Определив критические точки, подобно предыдущему примеру, для пяти сплавов с содержанием сурьмы 10%, 30%, 50%, 70% и 90%, мы получим для них следующие температуры превращений:

Для сплава с 10% Sb	— две: 350° и 272,	которые поместили
		соответственно
		буквами <i>a</i> и <i>k</i>
• • • 30% Sb • • •	480 и 290	• • • <i>b</i> и <i>l</i>
• • • 50% Sb • • •	560 и 310	• • • <i>c</i> и <i>m</i>
• • • 70% Sb • • •	600° и 390°	• • • <i>d</i> и <i>n</i>
• • • 90% Sb • • •	620° и 530°	• • • <i>e</i> и <i>p</i>

Отметив эти точки на ординатах, соответствующих каждому составу сплава (рис. 6), и прибавив еще сюда точки плавления чистых *Bi* (270° — точка *A*) и *Sb* (630° — точка *B*), соединим плавными кривыми верхние и нижние точки от *A* до *B*. Мы получим диаграмму, имеющую совершенно иной вид, чем в предыдущем примере: здесь все сплавы имеют по две

критических точки, лежащих при различных температурах, и диаграмма имеет вид двух нисходящих кривых, пересекающихся в точках *A* и *B* на концах диаграммы.

Полученные нами диаграммы представляют два наиболее важных, основных типа диаграмм, характеризующих сплавы, различающиеся между собою как по природе, так и по структуре.

Рассмотрим, в чем заключается это различие.

В расплавленном, жидком состоянии сплавы представляют собою не что иное как растворы, в которых растворителем является один металл, а растворенным другой металл или же неметаллический элемент. Жидкий сплав обычно бывает вполне однороден, представляя такую же однородную фазу, как например водный раствор соли, в котором мы не можем по внешнему виду различить элементов растворимого тела от растворителя.

При затвердевании жидкий сплав испытывает превращение, которое может происходить двояким образом:

1) либо однородный жидкий сплав, одновременно с переходом в твердое состояние, распадается на свои составные части и теряет свою однородность, превращаясь в смесь двух или более фаз;

2) либо превращение заключается лишь в перемене агрегатного состояния, и сплав из однородного *жидкого* раствора превращается в однородный же *твердый* раствор, оставаясь и в твердом виде однофазным.

Первый случай отвечает сплавам, диаграмма которых представлена на рис 5. Назовем ее 1-м основным типом диаграммы.

Второй случай характеризуется диаграммой рис. 6, которую условимся называть 2-м основным типом диаграммы.

Посмотрим теперь, какова должна быть структура сплавов, соответствующих 1-му и 2-му основным типам диаграммы.

Возьмем 1-й тип.

Из рассмотрения диаграммы (рис. 5) видно, что все сплавы данной системы Pb—Sb имеют по две критических точки, за исключением одного лишь сплава (с 13% Sb), имеющего одну критическую точку *o*. Как было сказано выше, превращения при затвердевании всех сплавов подобной системы сопровождаются распадом однородного жидкого раствора в неоднородную смесь двух или более фаз. В данном случае однородный жидкий сплав Pb—Sb будет превращаться в смесь двух твердых фаз — чистых металлов свинца и сурьмы. Для сплава с 13% Sb это превращение будет совершаться при одной только определенной температуре, соответствующей точке *o*. В этой точке, следовательно, будет происходить одновременная кристаллизация из жидкости двух фаз — свинца и сурьмы. Эта одновременность кристаллизации приводит к тому, что затвердевающий свинец препятствует развитию кристаллов сурьмы.

Возникающие во всем сплаве многочисленные зародыши кристаллов одной фазы не могут развиваться в значительные выделения с правильными кристаллографическими очертаниями вследствие кристаллизации между ними другой фазы; затвердевший таким образом сплав состоит из *множества мелких начальных кристаллических образований одной фазы, равномерно распределенных между участками другой фазы.*

Если бы мы пожелали посмотреть, какой вид имеет под микроскопом такое строение сплава, то, приготовив шлиф, т. е. срезав и отполировав образец такого сплава по какой-нибудь плоскости, мы увидели бы на этой плоскости множество светлых или темных образований самой разнообразной формы, более или менее одинаковых по величине и равномерно перемежающихся с участками другого оттенка. Такое строение для сплава с 13% Sb (системы Pb—Sb) можно наблюдать на фиг. 1. (табл. I).

На ней светлые черточки представляют выделения чистой Sb , а темные участки между ними — чистый свинец.

Подобная структура, определяемая одновременным затвердеванием двух фаз, называется *эвтектической* или просто *эвтектикой*, а самый сплав, имеющий исключительно такую структуру, называется *эвтектическим*.

Эвтектический сплав следовательно имеет одну лишь критическую точку затвердевания и представляет собою механическую смесь двух или более фаз, равномерно распределенных между собою.

Какое же строение имеют другие сплавы данной системы?

Из диаграммы видно, что все они имеют по две критических точки: нижнюю, лежащую на одной горизонтали с эвтектической точкой o и следовательно отвечающую одной и той же температуре, и верхнюю — расположенную для различных сплавов при разных температурах тем выше, чем больше сплав отличается по составу от эвтектического. Эта верхняя критическая точка соответствует началу затвердевания сплава, нижняя же — концу его. Таким образом во всех не-эвтектических сплавах затвердевание происходит в некотором интервале температур, и интервал этот тем больше, чем дальше сплав по составу от эвтектического. Не трудно догадаться, что это „затяжное“ затвердевание вызывается избытком того или иного компонента в сплаве по сравнению с эвтектическим. Например, если взять сплав с 40% Sb , то в нем находится сурьма в избытке на 27% (40—13) по сравнению с эвтектическим сплавом. Этот избыточный процент чистой сурьмы и выделяется из жидкого сплава в промежутке температур от d до n (рис. 5). В течение всего времени кристаллизации чистой сурьмы остающаяся жидкой часть сплава непрерывно изменяется в составе, обедняясь сурьмой и приближаясь к эвтектическому. Наконец, она достигает последнего состава как раз в точке n и тут затвердевает в эвтектическую смесь, как описано было выше для эвтектического сплава.

Таким образом данный твердый сплав с 40% Sb должен быть построен из двух структурных составляющих: из кристаллов чистой сурьмы, выделяющейся в промежутке температур от d до n , и из эвтектической смеси, затвердевающей при постоянной температуре в точке n . Строение эвтектики нам уже знакомо. Строение же избыточной сурьмы должно представлять однородные выделения одного цвета с теми частичками сурьмы, которые наблюдаются в эвтектике, но более крупные чем последние.

Действительно, рассматривая структуру этого сплава под микроскопом (фиг. 4), мы видим эти выделения избыточной сурьмы в виде крупных светлых участков. Между же ними расположена эвтектика с ее характерной пестрой картиной равномерно чередующихся светлых и темных участков сурьмы и свинца.

В данном сплаве, как видно по структуре, участки избыточной сурьмы занимают несколько меньшую площадь, чем эвтектика. Количественное соотношение между избыточным металлом и эвтектикой в сплаве изменяется в зависимости от состава сплава. Если взять сплав, например с 80% Sb , то количество избыточной (сверх эвтектики) сурьмы в нем будет гораздо больше (80—13=67%), и сурьма будет занимать гораздо большую площадь в структуре, как это видно на фиг. 5; здесь пестрые эвтектические участки залегают лишь небольшими островками среди светлых выделений сурьмы.

Относительное количество эвтектики и избыточного металла в сплаве легко определить по диаграмме: например для сплава с 40% Sb отношение количества эвтектики в нем ко всему весу сплава равно отноше-

нию отрезков $\frac{Pn}{Po}$ на эвтектической прямой; для сплава с 80% Sb оно равно отношению $\frac{Pp}{Po}$. Вообще для любого сплава, лежащего правее точки *o*, содержащего $x\%$ Sb, отношение количества эвтектики по всему количеству сплава равно отношению отрезков $\frac{Px}{Po}$.

Это нетрудно доказать следующим образом. Обозначим количество (вес) эвтектики в каком-нибудь сплаве с $x\%$ Sb через *E*, вес же всего сплава через *G*. Концентрация свинца во всем сплаве в процентах может быть выражена отрезком *Px*, в эвтектике же концентрация свинца выразится отрезком *Po*. Так как во всех сплавах правее точки *o* весь свинец содержащийся в сплаве, полностью переходит в эвтектику, то можно сказать, что количество свинца в сплаве, равное $G \times Px$,¹ должно быть равно количеству его в эвтектике $E \times Po$.

Отсюда:

$$\frac{E}{G} = \frac{Px}{Po}.$$

Для сплава с 40% Sb

$$\frac{E}{G} = \frac{60}{87} = 0,69,$$

сплав будет состоять приблизительно на $\frac{2}{3}$ своего веса из эвтектики и около $\frac{1}{3}$ будет чистой избыточной сурьмы. Для сплава с 80% Sb

$$\frac{E}{G} = \frac{20}{87} = 0,23,$$

т. е. эвтектика будет составлять почти $\frac{1}{3}$ часть всего сплава, т. е. ее будет почти в 4 раза меньше чем избыточной сурьмы.

Это количественное соотношение между эвтектикой и избыточной фазой можно проверить по структуре соотношением площадей, занимаемых той и другой структурной составляющей: чем дальше от эвтектики сплав, тем меньше отношение $\frac{Px}{Po}$ и следовательно меньшую площадь будут занимать в структуре эвтектические участки и большую — избыточная фаза.

При абсолютной взаимной нерастворимости металлов в твердом состоянии эвтектика должна существовать во всех сплавах даже с самой маленькой концентрацией, уничтожаясь полностью только в чистом металле, когда отношение $\frac{Px}{Po}$ переходит в 0. (Нужно заметить, что идеальные случаи абсолютной взаимной нерастворимости компонентов почти никогда не встречаются, так как незначительная растворимость повидимому существует между всеми металлами. Можно говорить лишь о практической нерастворимости, когда присутствие элемента в твердом растворе металла настолько ничтожно, что его можно считать практически отсутствующим.)

Мы рассмотрели сплавы с избытком Sb, лежащие на диаграмме правее эвтектической точки. К сплавам, лежащим левее эвтектической точки, с меньшим содержанием сурьмы, чем в эвтектическом сплаве, приложимы те же рассуждения, но принимая во внимание, что в них находится в из-

¹ При обозначении количества (абсолютного веса) металла или сплава, концентрация выражаемая отрезками *Px*, *Po* и т. д. в процентах, должна быть уменьшена в 100 раз. Мы опускаем коэффициент $\frac{1}{100}$, так как он сокращается и не влияет на конечный результат. Но это соображение нужно иметь в виду при всех определениях абсолютного веса металлов с помощью концентраций, выражаемых отрезками горизонталей на диаграммах.