

ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра технологии металлов

Р.К. Мозберг

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Часть II

ТЕОРИЯ СПЛАВОВ

Таллин

1969

А-16777

ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
Кафедра технологии металлов

Р.К. Мозберг

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**  
часть II  
**ТЕОРИЯ СПЛАВОВ**

Таллин  
1969

## П р е д и с л о в и е

Часть II курса "Материаловедение", где излагается материал по основам теории сплавов и диаграммам состояния сплавов, является продолжением курса и подлежит изучению непосредственно после первой части.

Как и в первой части, материал второй части курса излагается в программированном виде. Однако, в методике изложения здесь имеются некоторые особенности, которые заключаются в том, что к ряду контрольных вопросов для проверки степени освоения материала не приводятся выборочные ответы и имеется только ссылка на соответствующую страницу, где дается анализ решения, а также ответ на поставленную задачу. Студент в таких случаях должен обязательно самостоятельно решить поставленную задачу и после этого проверить, правильно ли он ее решил, пользуясь поясняющим материалом. Это сделано с целью сокращения объема материала в тех случаях, когда аналогичные задачи уже имели место раньше и на основе их решения должен быть ясен ход решения подобных задач.

Вторая часть курса является наиболее трудной для освоения студентами и поэтому только неукоснительное выполнение всех приводимых заданий приведет к полному пониманию материала обучающимися. Изучение материала рекомендуется вести в два этапа: вначале с решением всех приводимых задач и повторно, выпустив вопросы, читая материал как при работе с обычным учебником, что содействует сохранению целостности отдельных изучаемых разделов курса.

## СТРОЕНИЕ СПЛАВОВ

Металлическим сплавом называется вещество, полученное сплавлением двух или более элементов и отличающееся металлическими свойствами.

Сплавы, получаемые спеканием, электролизом или другими способами, кроме сплавления, называются псевдосплавами.

Роль сплавов в технике неизмеримо более велика, чем чистых металлов. Это объясняется тем, что сплавы, как правило, обладают более высоким комплексом свойств: повышенной прочностью, лучшей обрабатываемостью и т.д., которые в широких пределах можно изменять, меняя составы сплавов.

При сплавлении различных исходных веществ могут образоваться различные фазы. В расплавленном состоянии чаще всего сплавливаемые вещества образуют неограниченные жидкие растворы. После кристаллизации могут образоваться следующие основные твердые фазы:

- а) твердые растворы,
- б) химические соединения,
- в) механические смеси из сплавливаемых компонентов.

Кроме того возможно образование ряда промежуточных фаз. Естественно, что от характера образующихся фаз в сплавах зависят их свойства. Поэтому с природой твердых фаз в сплавах необходимо ознакомиться более подробно.

### ТВЕРДЫЕ РАСТВОРЫ

Характерной особенностью строения кристаллов твердых растворов является то, что они построены из разнородных атомов. При этом относительное количество разных атомов в кристаллической решетке определяется концентрацией компонентов в сплаве. Тип кристаллической решетки твердого раствора со-

храняется такой, каков он у вещества растворителя. Кристаллы твердых растворов, как показывают металлографический и рентгеноструктурный анализы, имеют однородное строение, и только химическим анализом можно установить, что они состоят из разных элементов.

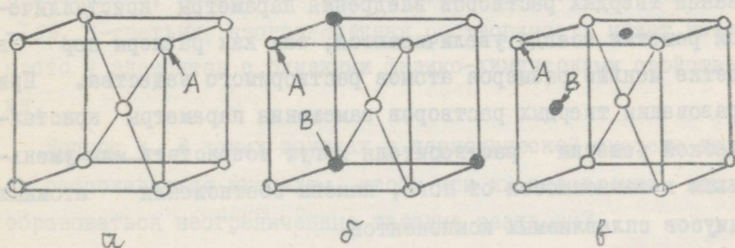
Вопрос I. Можно ли посредством микроструктурного исследования установить, имеем ли дело с твердым раствором или чистым компонентом?

Ответ: 1) да, стр. 70;

2) нет, стр. 71.

По характеру распределения атомов растворенного вещества в кристаллической решетке растворителя можно различить несколько типов твердых растворов.

1. Твердые растворы замещения. На фиг. I а представлена кристаллическая решетка растворителя (компонента А), на фиг. I б показана кристаллическая решетка твердого раствора, в которой часть атомов вещества А замещена атомами растворенного вещества В.



Фиг. I. Схемы построения кристаллической решетки твердого раствора замещения - I б и внедрения - I в.

2. Твердые растворы внедрения. В этом случае атомы растворенного вещества В располагаются в порах между атомами растворителя А (фиг. I в).

Относительное количество разнородных атомов в кристаллической решетке твердого раствора в среднем определяется концентрацией сплава. Однако это не значит, что в любой части кристаллической решетки количество разнородных атомов строго определено: имеются участки решетки, количество атомов растворенного элемента в которых отклоняется от среднего значения. Подобные явления называются флуктуациями и имеют большое значение в процессе фазовых превращений в сплавах.

Вопрос 2. Что происходит с параметрами кристаллической решетки вещества растворителя при образовании твердых растворов внедрения?

- Ответ:
- 1) увеличиваются, стр. 72;
  - 2) уменьшаются, стр. 70;
  - 3) остаются неизменными, стр. 70.

Образование твердых растворов сопровождается изменением параметров кристаллической решетки растворителя. При образовании твердых растворов внедрения параметры кристаллической решетки всегда увеличиваются, так как размеры пор в решетке меньше размеров атомов растворимого вещества. При образовании твердых растворов замещения параметры кристаллической решетки растворителя могут возрасти или уменьшиться в зависимости от того, каковы соотношения атомных радиусов сплавляемых компонентов.

В первом приближении можно считать, что изменение параметров решетки пропорционально концентрации твердых растворов.

Твердые растворы замещения могут быть ограниченными и неограниченными.

Твердые растворы с ограниченной растворимостью существуют до известной концентрации растворенного вещества; при

дальнейшем повышении концентрации твердый раствор распадается и образуются двухфазные смеси.

Твердые растворы с неограниченной растворимостью существуют при всех концентрациях от 0% до 100% растворенного вещества. Можно в этом случае представить, что вещество А при непрерывном увеличении количества вещества В плавно, через ряд промежуточных твердых растворов, переходит в вещество В.

**Вопрос 3.** Могут ли при сплавлении веществ с различным типом кристаллической решетки образовываться твердые растворы с неограниченной растворимостью?

**Ответ:** 1) да, стр. 72; 2) нет, стр. 71.

Для образования неограниченных твердых растворов необходимо, во-первых, изоморфность (однотипность) кристаллических решеток сплавляемых компонентов. Вторым условием образования твердых растворов с неограниченной растворимостью является близость атомных радиусов сплавляемых компонентов, которые не должны отличаться больше чем на 8-13%. В-третьих, неограниченная растворимость может иметь место у элементов с близкими физико-химическими свойствами.

**Вопрос 4.** В каких группах в периодической системе должны располагаться элементы, чтобы при их сплавлении могли образоваться неограниченные твердые растворы?

**Ответ:** 1) в отдаленных, стр. 71;  
2) в одной и той же или в соседних, стр. 70;  
3) не имеет значения, стр. 72.

**Вопрос 5.** Могут ли железо (решетка К8) и медь (решетка К12) образовать неорганические твердые растворы?

**Ответ:** 1) могут, стр. 72; 2) не могут, стр. 71.

Важнейшим условием для образования твердых растворов внедрения является малая величина атомных радиусов растворенного вещества. Такими веществами являются водород, азот, углерод и бор.

Вопрос 6. Какого типа твердый раствор образуется при сплавлении железа с углеродом?

- Ответ: 1) замещения с неограниченной растворимостью, стр. 71;  
2) замещения с ограниченной растворимостью, стр. 72;  
3) внедрения с неограниченной растворимостью, стр. 70;  
4) внедрения с ограниченной растворимостью, стр. 72.

### ХИМИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

Характерной особенностью химических соединений является:

- 1) определенность состава, которая может быть выражена формулой химического соединения;
- 2) наличие нового типа кристаллической решетки, отличной от решеток сплавляемых компонентов.

Исходя из этого следует ожидать, что химическое соединение резко отличается от свойств компонентов, из которых оно образовано.

Следует различать химические соединения, образованные только металлическими элементами, в которых связь между атомами имеет металлический характер. Это допускает существование химического соединения в известном концентрационном интервале.

При образовании химического соединения металла с неметаллом, состав химического соединения строго определенный и подчиняется закону валентности.

Вопрос 7. Каков тип связи в химическом соединении металла с неметаллом?

- Ответ: 1) ионный, стр. 72; 2) полярный, стр. 70;  
3) металлический, стр. 71;  
4) ковалентный, стр. 72.

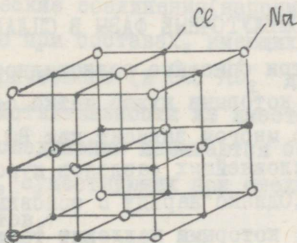
Вопрос 8. Каков состав химического соединения  $NaCl$  в атомных процентах?

- Ответ: 1) 50:50, стр. 72; 2) 25:75, стр. 71;  
3) 40:60, стр. 70.

Вопрос 9. В чем различие кристаллического строения химического соединения и твердого раствора?

- Ответ: 1) в количестве разнородных атомов в кристаллической решетке, стр. 70;  
2) в типе решетки, стр. 73;  
3) в свойствах, стр. 72.

На фиг. 2 приведена кристаллическая решетка химического соединения  $NaCl$



Фиг. 2. Кристаллическая решетка  $NaCl$ .

Механическая смесь образуется тогда, когда компоненты практически не растворяются друг в друге в твердом состоянии и не образуют химических соединений. При этом после кристаллизации сплав состоит из смеси разнородных кри-



Фиг. 3. Микроструктура механической смеси.

сталлов, каковыми являются кристаллы исходных компонентов, например, А и В, образующих сплав (фиг. 3).

Вопрос IО. Можно ли по микроструктуре отличить механическую смесь от твердого раствора?

Ответ: 1) да, стр. 72;

2) нет, стр. 73.

Вопрос II. Каков тип кристаллической решетки механической смеси, образованной компонентами А и В?

Ответ: 1) как у вещества А, стр. 73;

2) как у вещества В, стр. 72;

3) состоит из 2-х типов кристаллических решеток А и В, стр. 70.

### ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ФАЗЫ В СПЛАВАХ

Мы рассмотрели три основные разновидности фаз в сплавах, различие между которыми нужно четко себе представлять, так как от этого во многом зависит, как Вы будете разбираться в одном из сложнейших разделов курса "Диаграммы состояния сплавов". Однако наряду с основными имеется ряд промежуточных фаз, с которыми надлежит также познакомиться.

#### А. Твердый раствор на базе химического соединения

При разборе вопроса о химических соединениях было отмечено, что в случае, если химические соединения образованы

металлами, возможно существование ее и при некоторых отклонениях от стехиометрического состава, т.е. химическое соединение может существовать, сохранив свою решетку, при некотором избытке одних или недостатке других составляющих его атомов. Очевидно, что подобные фазы можно рассматривать как твердые растворы на базе химического соединения.

Вопрос 12. В чем различие обычных твердых растворов от твердых растворов на базе химического соединения?

Ответ: 1) различия нет, стр. 70;

2) в типе кристаллической решетки растворителя, стр. 71;

3) в характере растворенного компонента, стр. 73.

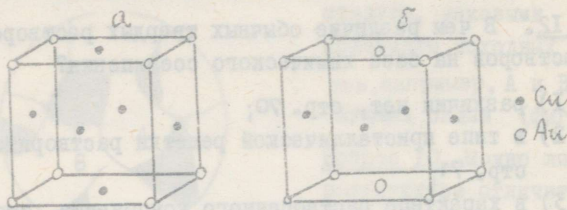
В отдельных химических соединениях несоответствие состава стехиометрическому происходит по причине, что часть узлов в кристаллической решетке химического соединения оказывается незаполненной (например в решетке  $\text{FeO}$  не заполнено ряд узлов, где должны находиться атомы кислорода). В кристаллической решетке образуются "дырки" или "пустоты". Такие твердые растворы на базе химических соединений, образование которых сопровождается появлением пустых мест в узлах решетки, называются растворами вычитания.

Некоторые химические соединения (например  $\text{Cu Al}_2$ ) могут существовать только при составах, имеющих известное отклонение от стехиометрического (в  $\text{Cu Al}_2$  должно быть 54,1 % весовых  $\text{Cu}$ , в действительности же имеется от 53,25  $\text{Cu}$  до 53,9%  $\text{Cu}$ ). Такие соединения называются бертолидами в отличие от дальтонилов, существующих при стехиометрическом соотношении компонентов.

### Б. Упорядоченные твердые растворы

При охлаждении некоторых сплавов, например  $\text{Cu-Au}$  обычно при кристаллизации образуются неограниченные твердые ра-

створы, расположение разнородных атомов в кристаллической решетке которых неупорядочено. При определенных составах у этих сплавов при медленном охлаждении атомы золота и меди занимают строго определенные места в кристаллической решетке (фиг. 4), в связи с чем состав таких сплавов можно выразить химической формулой.



Фиг. 4. Кристаллические решетки упорядоченных твердых растворов.

Вопрос 13. Какова формула сплава  $Cu-Au$ , если они имеют решетки типа  $\alpha$  (фиг. 4 а)?

Ответ: 1)  $Cu Au$  стр. 73;      2)  $Cu_3 Au$ , стр. 71;  
 3)  $Cu Au_3$  стр. 70.

Вопрос 14. Тот же вопрос при типе решетки  $\beta$  (фиг. 4 б).

Ответ: 1)  $Cu Au$  стр. 70;      2)  $Cu_3 Au$  стр. 71;  
 3)  $Cu Au_3$  стр. 73.

Подобные твердые растворы с упорядоченным расположением атомов называются упорядоченными твердыми растворами. Они занимают промежуточное место между химическими соединениями и обычными твердыми растворами.

Вопрос 15. В чем различие упорядоченного твердого раствора от химического соединения?

Ответ: У упорядоченных твердых растворов;  
 1) нет нового типа решетки, стр. 73;  
 2) состав не соответствует стехиометрическому, стр. 71;  
 3) отсутствует сингулярность свойств, стр. 70.

## В. Электронные соединения (фазы Юм-Розери)

Эти соединения образуются между элементами  $Cu, Ag, Au, Fe, Co, Ni, Pd, Pt$  с одной стороны и  $Be, Zn, Cd, Al, Sn, Si$  с другой. Они характеризуются определенным соотношением валентных электронов к числу атомов — электронной концентрацией. Каждому соединению свойственен свой тип кристаллической решетки.

Электронные соединения похожи на химические соединения, так как имеют свой тип решетки и характеризуются определенным соотношением атомов. Но в их кристаллической решетке отсутствует строгий порядок в расположении атомов. Поэтому они имеют также сходство с твердыми растворами и этот вид соединений следует считать промежуточным между химическими соединениями и твердыми растворами. В таблице I приведены некоторые электронные соединения.

Таблица I

Примеры электронных соединений

Фаза	Отношение числа электронов к числу атомов	Тип решетки	Система			
			$Cu-Zn$	$Cu-Sn$	$Cu-Al$	$Cu-Si$
$\beta$	3/2	K8	$CuZn$	$Cu_5Sn$	$Cu_3Al$	$Cu_5Si$
$\gamma$	21/13	Сложная кубическая	$Cu_5Zn_8$	$Cu_{31}Sn_8$	$Cu_9Al_4$	$Cu_{31}Si_8$
$\epsilon$	7/4	Гексагональная	$CuZn_3$	$Cu_3Sn$	$Cu_3Al_3$	$Cu_3Si$

Вопрос 16. Какова электронная концентрация в соединении  $Cu_5Zn_8$ ?

Ответ: 1)  $\frac{13}{21}$ , стр. 73;      2)  $\frac{13}{2}$ , стр. 73;

3)  $\frac{21}{13}$ , стр. 71.

## Г. Фазы внедрения

Фазы внедрения образуются металлами переходных групп и металлоидами, если отношения атомного радиуса неметалла к атомному радиусу металла равно или меньше 0,59. Очевидно, неметаллы должны иметь малые атомные радиусы, т.е. находиться в начале таблицы Менделеева. Этими элементами являются:

$H (\tau = 0,46 \text{ \AA}), N (\tau = 0,71 \text{ \AA}), C (\tau = 0,77 \text{ \AA}).$

Образуются простые решетки типа  $K8$ ,  $K12$ ,  $\Gamma 12$ , в которых атомы неметалла внедряются в поры решетки в определенном порядке, благодаря чему состав образующихся фаз можно выразить формулами  $MX$ ,  $M_2X$ ,  $MX_2$  (где  $M$  — металл,  $X$  — неметалл). Тип решетки фаз внедрения отличен от типа решетки основного металла. Поэтому фазы внедрения можно отнести к химическим соединениям. Однако у них имеются и другие особенности. Оказывается, что твердые растворы на базе фаз внедрения с избытком неметаллического элемента никогда не встречаются, с избытком же атомов металла встречаются весьма часто, поэтому фазы внедрения можно рассматривать также как твердые растворы вычитания.

### ПРАВИЛО ФАЗ ГИББСА

"Правило фаз в настоящее время вышло из стадии теоретического интереса и вплотную вошло в ряд прикладных наук: галургию (изучение солей в широком смысле слова), металлургию, технику перегонки и т.д." (А.В. Раковский).

Большое значение имеет правило фаз и при изучении сплавов, особенно в той части, которая касается диаграммы состояния сплавов.

Правило фаз устанавливает зависимость между числом фаз, числом компонентов и числом степеней свободы системы.

Для того, чтобы можно было пользоваться правилом фаз, надлежит ясно представить себе, что называется системой, фазой, компонентом и степенью свободы.

Системой в металловедении принято называть совокупность фаз в различных агрегатных состояниях, которая подвергается исследованию.

Фазой называется однородная часть системы, разграниченная от другой части системы поверхностью раздела, при переходе через которую свойства изменяются скачком.

Только одновременное выполнение всех трех условий: однородность части системы, наличие поверхности раздела и скачкообразность изменения свойств при переходе через поверхность раздела являются основой для того, чтобы ту или иную часть системы считать фазой.

Вопрос 17. Сколько фаз имеет система, состоящая из воды и кристаллов льда?

Ответ: 1) одну, стр. 73; 2) две, стр. 73.

Вопрос 18. Из скольких фаз состоит кусок чистой меди, состоящей из 1000 кристаллитов меди?

Ответ: Из: 1) одной, стр. 73; 2) тысячи, стр. 71.

Вопрос 19. Кусок меди состоит из кристаллов, одни из которых мелкие, другие крупные. Сколько фаз имеет эта система?

Ответ: 1) одну, стр. 73; 2) две, стр. 75;  
3) столько, сколько разных по величине кристаллов, стр. 74.

Компонентами называются вещества, образующие систему. Они могут быть или чистые химические элементы или независимые химические соединения.

Состояние различных систем определяется рядом факторов. В частности состояние сплавов характеризуется их составом

(концентрацией компонентов), температурой и давлением. В определенных условиях эти факторы могут в известных пределах изменяться, не вызывая изменения в фазовом состоянии системы.

Количество внешних (температура, давление) и внутренних (концентрация компонентов) факторов, которые можно изменять без изменения числа фаз системы, называется числом степеней свободы системы. Прежде чем приступить к математическому выводу правила фаз, приведем известную аналогию при выявлении числа степеней свободы в математических системах (в уравнениях). В одном уравнении с одним неизвестным число степеней свободы равно нулю, так как этому неизвестному мы не можем произвольно задавать различные значения. Значение его находится при решении уравнения. В случае одного уравнения с двумя неизвестными система имеет одну степень свободы, так как одному неизвестному мы можем придать любое значение. Второе неизвестное будет зависеть от того, какое значение получит первое неизвестное.

Уравнение с тремя неизвестными имеет две степени свободы, так как только придав двум неизвестным произвольно определенные значения, можно определить значение третьего неизвестного решением уравнения.

Следовательно, между количеством уравнений, числом переменных в системе и количеством степеней свободы в системе имеется определенная связь.

Вопрос 20. Чему равно число степеней свободы „С“ системы, если количество уравнений, описывающих систему, равно  $m$ , а число переменных в системе равно  $n$  ?

Ответ: 1)  $C = m + n$  , стр. 75 ;

2)  $C = m - n$  , стр. 74 ;

3)  $C = n - m$  , стр. 76 .

Число степеней свободы системы определяется как разность между количеством переменных в системе и числом уравнений, описывающих систему. Это правило справедливо для любых систем.

Пусть в качестве системы имеется сплав, оставленный из "К" компонентов. В равновесии находятся  $\Phi$  фаз сплава. Требуется определить число степеней свободы  $S$  такой системы.

Исходя из ранее сказанного необходимо:

- составить все уравнения, описывающие нашу систему;
- определить все переменные системы;
- найти разность между количеством переменных системы и числом уравнений, определяющих систему.

Если в системе сосуществуют разные фазы одновременно, то это значит, что свободные энергии  $F$  каждого компонента (1, 2, ..., К) в каждой из этих фаз (1, 2, ...,  $\Phi$ ) должны быть равны друг другу, т.е.

$$\begin{array}{l}
 F_1^1 = F_1^2 = F_1^3 = \dots = F_1^\Phi \\
 F_2^1 = F_2^2 = F_2^3 = \dots = F_2^\Phi \\
 F_3^1 = F_3^2 = F_3^3 = \dots = F_3^\Phi \\
 \vdots \\
 F_K^1 = F_K^2 = F_K^3 = \dots = F_K^\Phi
 \end{array}$$

(Верхние индексы обозначают номер фазы от 1, 2, ...,  $\Phi$ , нижние — номер компонента 1, 2, ..., К). Число уравнений в ряду равно  $(\Phi-1)$ , число рядов равно "К", поэтому общее число уравнений, описывающих систему, равно  $(\Phi-1)К$ .

Независимыми переменными, которым можно задавать произвольные значения являются: концентрации  $(К-1)$  компонента в каждой из  $\Phi$  фаз, т.е.  $(К-1)\Phi$ . Кроме того независимыми переменными являются температура и давление, и поэтому общее число независимых переменных равно  $(К-1)\Phi+2$ . Очевидно число степеней свободы  $S$  системы будет

$$C = (K - 1) \Phi + 2 - (\Phi - 1)K = K - \Phi + 2.$$

Выражение  $C = K - \Phi + 2$  называется математическим выражением правила фаз и позволяет обосновать ряд фактов, с которыми мы будем сталкиваться при изучении сплавов.

Так как в реальных условиях существующие изменения давления практически не сказываются на состоянии металлических сплавов, то количество переменных в системе уменьшится на единицу и уравнение примет вид

$$C = K - \Phi + 1.$$

Вопрос 21. Как изменится число степеней свободы системы, если количество фаз увеличивается?

- Ответ: 1) уменьшается, стр. 76;  
2) растет, стр. 74;  
3) не изменяется, стр. 74.

Вопрос 22. Какое максимальное число фаз может иметь двухкомпонентная система (двойной сплав)?

- Ответ: 1) 1, стр. 75;                      2) 2, стр. 76;  
3) 3, стр. 74;                              4) 4, стр. 76.

Вопрос 23. Можно ли изменять концентрацию компонентов или температуру сплава, если число степеней свободы равно нулю?

- Ответ: 1) можно менять концентрацию одного компонента, стр. 77;  
2) можно менять концентрацию одного компонента и температуру, стр. 76;  
3) можно менять температуру, стр. 74;  
4) нельзя изменять ни концентрацию ни температуру, стр. 74.

Вопрос 24. В каких температурных условиях должна протекать кристаллизация чистого вещества. Докажите это, используя правило фаз.

Ответ: 1) в интервале температур, стр. 75;

2) при постоянной температуре, стр. 77.

### ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ДВОЙНЫХ СПЛАВОВ

Диаграммы состояния представляют собой графическое изображение зависимости температур фазовых превращений от состава сплавов.

Значит для изображения диаграммы состояния необходимы координатные оси для отражения температуры и состава сплавов.

Вопрос 25. Сколько измерений необходимо для изображения диаграммы состояния двойных сплавов,

Ответ: 1) 1, стр. 76;

2) 2, стр. 74;

3) 3, стр. 74.

Для построения диаграммы состояния двухкомпонентных сплавов необходимы две оси: вертикальная — для температуры и горизонтальная — для определения концентрации сплавов, (фиг. 5.)

Граничные точки концентрационной оси соответствуют компонентам А и В, образующим данную систему (фиг. 5). Любая точка на концентрационной оси между точками А и В соответствует сплаву вполне определенного состава.

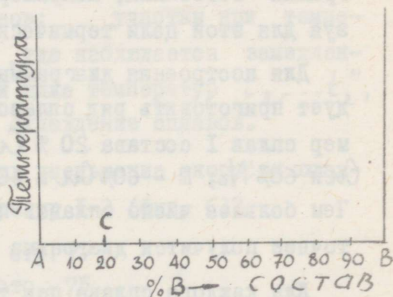
Вопрос 26. Сколько компонента А содержит сплав состава точки С на фиг. 5?

Ответ: 1) 20%, стр. 78

2) 80%, стр. 75;

3) 0%, стр. 77

Для построения диаграмм состояния пользуются многими методами, однако наиболее простым и понятным, хотя далеко не



Фиг. 5. Координаты для изображения двухкомпонентной системы.

всегда достаточным является термический метод, который основывается на том, что фазовые превращения в металлах и сплавах связаны с тепловым эффектом: при охлаждении металла или сплава в случае кристаллизации из жидкости или перекристаллизации в твердом состоянии выделяется скрытая теплота кристаллизации или перекристаллизации. Естественно, что подобные эффекты должны отразиться на скорости охлаждения металла или сплава, когда соответствующие фазовые превращения реализуются.

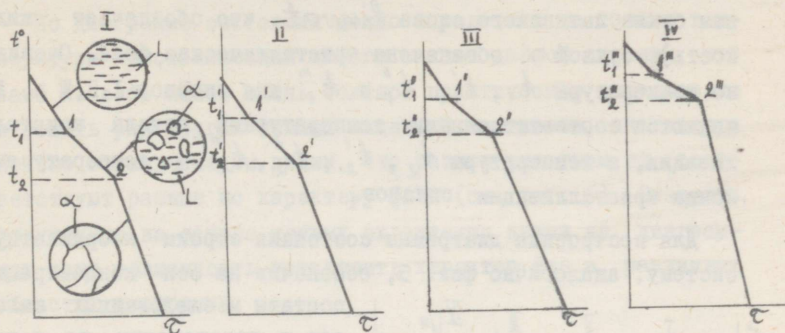
Вопрос 27. Как изменяется скорость охлаждения сплава при протекании процесса кристаллизации?

- Ответ: 1) не изменяется, стр. 76;  
2) увеличивается, стр. 74;  
3) уменьшается, стр. 74.

Рассмотрим конкретный пример построения какой либо диаграммы состояния, например сплавов никеля и меди, используя для этой цели термический метод.

Для построения диаграммы состояния данной системы следует приготовить ряд сплавов определенного состава, например сплав I состава 20%  $Cu$  и 80%  $Ni$  по весу, II - 40%  $Cu$  и 60%  $Ni$ ; III - 60%  $Cu$  и 40%  $Ni$ ; IV - 80%  $Cu$  и 20%  $Ni$ . Чем большее число сплавов подвергается исследованию, тем точнее получится диаграмма состояния.

Для каждого сплава при термическом методе следует построить кривую охлаждения из расплавленного состояния. Для этого сплавы нагревают в тиглях до полного расплавления, погружают в жидкий металл термопару и обеспечивают по возможности медленное охлаждение, помещая тигли со сплавами, например, в песчаную баню. При охлаждении через определенные промежутки времени записывают температуру сплава и на основе полученных данных строят кривые охлаждения в координатах температура - время. На фиг. 6 приведены кривые



Фиг. 6. Кривые охлаждения сплавов I, II, III, IV Cu-Ni.

Анализируя полученные кривые, видим, что у всех кривых охлаждения в данной системе можно выделить три участка: участки при температурах выше  $t_1, t_1', \dots, t_1''''$ , где наблюдается ускоренное охлаждение сплавов; участки при температурах между  $t_1 \dots t_1''$  и  $t_2 \dots t_2''$ , где наблюдается замедленное охлаждение сплавов; участки ниже температур  $t_2 \dots t_2''$ , где вновь происходит ускоренное охлаждение сплавов.

Вопрос 28. Чем можно объяснить уменьшение скорости охлаждения сплавов в интервале температур I-2 (фиг. 6)?

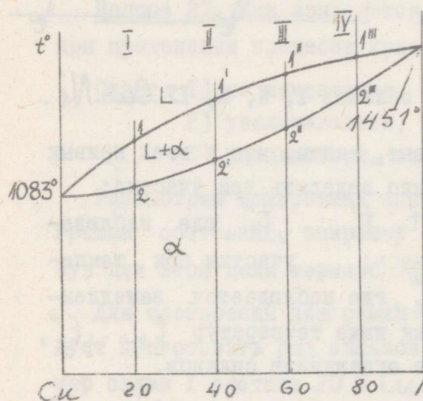
Ответ: 1) поглощением тепла, стр. 77;

2) выделением тепла, стр. 75.

Рассматривая фазовое состояние сплавов при разных температурах, можно установить, что при температурах выше  $t_1, t_1', \dots, t_1''$  имеем однофазное жидкое состояние; между температурами  $t_1 \dots t_1''$  и  $t_2 \dots t_2''$  сплавы находятся в двухфазном состоянии - имеет место жидкая фаза и выделившиеся кристаллы, количество которых непрерывно увеличивается по мере приближения к температурам  $t_2 \dots t_2''$ ; ниже температур  $t_2 \dots t_2''$  все сплавы находятся в закристаллизованном состоянии. Это

представлено в виде схем против каждого участка кривой I охлаждения, где буквой L обозначена жидкая фаза (начальная буква латинского слова *liquid*, что обозначает жидкость), буквой  $\alpha$  обозначена кристаллическая фаза. Очевидно температуры  $t_1, t_1', t_1''$  и  $t_1'''$  для сплавов I, II, III и IV являются соответственными температурами начала кристаллизации, а температуры  $t_2, t_2', t_2'', t_2'''$  - температурами конца кристаллизации сплавов.

Для построения диаграммы состояния строим координатную систему, аналогично фиг. 5, обозначив на оси концентрации



составы исследованных сплавов и восстановим из полученных точек перпендикуляры (фиг. 7). На перпендикуляре для каждого сплава отметим значения температур начала и конца кристаллизации, полученных опытным путем на основе построения кривых охлаждения (фиг. 6).

Для чистых компонентов Cu и Ni также можно путем построения кривых охлаждения установить температуры кристаллизации, но можно их

взять и из справочников. Как было установлено вами при решении задачи 24 температура кристаллизации чистых компонентов должна быть постоянна и для меди равна  $1083^{\circ}\text{C}$ , для никеля  $1451^{\circ}\text{C}$ . Отметив на диаграмме установленные температуры начала и конца кристаллизации исследованных сплавов, а также меди и никеля, надлежит соединить однородные точки линиями и диаграмма состояния построена. Верхняя линия на фиг. 7, соответствующая температурам начала кристаллизации сплавов любого состава, называется линией ликвидус; нижняя линия, соответствующая температурам конца

кристаллизации сплавов разного состава, называется линией солидус.

По диаграмме состояния можно определить не только температуры кристаллизации любого сплава данной системы, что само по себе имеет очень большое практическое значение, но и решать ряд других важных задач. В частности, анализируя кривые охлаждения, мы видим, что разным участкам их соответствуют разные по характеру фазы (см. фиг. 6). Очевидно, полученные на основе кривых охлаждения линии на диаграммах дают возможность установить характер фаз в различных областях диаграммы.

Вопрос 29. Какие фазы существуют между линиями ликвидус и солидус на диаграмме (фиг. 7)?

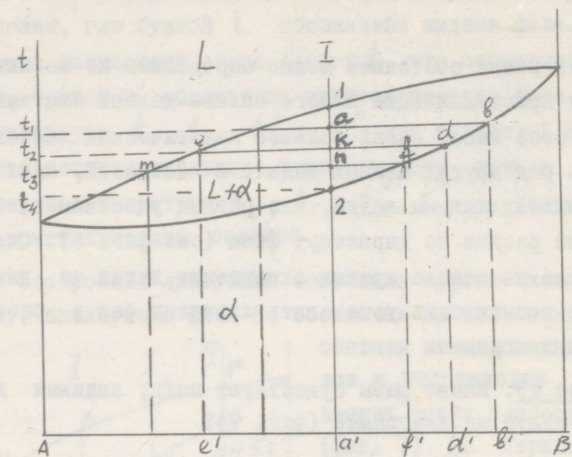
Ответ: фазы 1)  $L$ , стр. 97; 2)  $\alpha$ , стр. 76;  
3)  $L + \alpha$ , стр. 75.

В самом деле, очевидно, выше линии ликвидус будет устойчивая жидкая фаза  $L$ , между линиями ликвидус и солидус - фазы  $L + \alpha$ , ниже линии солидус существует однофазная область  $\alpha$  кристаллов (фиг. 7).

#### Определение концентрации фаз при кристаллизации сплавов

Имея диаграмму состояния какой-либо системы сплавов можно установить не только характер фаз в различных областях диаграммы, но и определить также состав (концентрацию) и количество этих фаз при различных температурах. Решение этих задач полностью базируется на правиле фаз Гиббса.

Вопрос 30. Исходя из того, что в процессе кристаллизации двойного сплава система имеет одну степень свободы ( $c = 2 - 2 + 1 = 1$ ), сообразите, будет ли состав фаз в области диаграммы между линией ликвидус и солидус (фиг. 8) постоянным или переменным, если температура сплава  $I$  понижается от точки  $I$  до точки  $2$ ?



Фиг. 8. Диаграмма состояния А - В  
(к выводу правила отрезков).

Ответ: 1) постоянным, стр. 74;

2) переменным, стр. 77.

Рассматривая процесс кристаллизации любого сплава на фиг. 8, например сплава I, для которого в интервале температур I-2 имеет место одна степень свободы, мы должны прийти к выводу, что при самопроизвольном понижении температуры каждому значению температуры должен соответствовать определенный состав как жидкой, так и твердой фаз, т.е. состав фаз при кристаллизации должен изменяться. Так, в частности при температуре I начала кристаллизации в равновесии с жидкой фазой должны находиться кристаллы, которые, будучи взяты самостоятельно, начали бы плавиться при переходе через данную температуру.

Вопрос 3I. Кристаллы какого состава в сплаве I (фиг. 8) начинают плавиться при температуре  $t_1$ ?

Ответ: состава 1)  $a'$  стр. 75; 2)  $b'$  стр. 76.

Кристаллы, которые в сплаве I могут находиться в равновесии с жидкой фазой, при температуре  $t_2$  и  $t_3$  соответственно имеют состав  $\alpha'$  и  $f'$ . Таким образом, приходим к выводу, что выделяющиеся кристаллы из жидкого расплава непрерывно меняют свой состав: кристаллы, выпадающие при высокой температуре, обогащены компонентом, обладающим высокой температурой плавления, по мере понижения температуры кристаллизующаяся фаза по составу приближается к составу исходного сплава. Для определения состава кристаллов в любой точке двухфазной области необходимо провести горизонталь (коноду) через рассматриваемую точку до пересечения с линией диаграммы, являющейся границей между двухфазной областью и областью твердой фазы (в данном случае до линии солидус) и полученную точку пересечения спроектировать на концентрационную ось.

Вопрос 32. Остается ли постоянным состав жидкой фазы в процессе кристаллизации сплава?

Ответ: 1) да, стр. 78;                    2) нет, стр. 77.

Естественно, что выделение при кристаллизации из расплава кристаллов, богатых компонентом, обладающим высокой температурой плавления, должно привести также к непрерывному изменению состава жидкой фазы, которая по мере кристаллизации обедняется этим компонентом. Состав жидкой фазы при любой температуре в двухфазной области определяется проекцией точки пересечения горизонтали, проведенной через точку, соответствующую рассматриваемой температуре, с линией ликвидус на концентрационную ось.

Вопрос 33. Каков состав жидкой фазы при температуре в точке  $e$  (фиг. 8)?

Ответ: соответствует точке 1)  $a'$  стр. 75;  
2)  $\alpha'$ , стр. 77;  
3)  $e'$  стр. 75.

Из разбора изменения состава кристаллизующейся фазы с понижением температуры на первый взгляд напрашивается вывод, что в результате кристаллизации вполне определенного по составу сплава, например  $\alpha'$  на фиг. 8 получается какая-то кристаллическая смесь, состав которой меняется в широких пределах, (в рассматриваемом случае в интервале концентрации от  $\alpha'$  до  $\beta'$ ).

На самом деле этого все же не происходит по той причине, что одновременно с кристаллизацией происходят непрерывно диффузионные процессы, которые ведут к перераспределению компонентов в кристаллах разного состава. В случае, если процесс кристаллизации протекает достаточно медленно, состав кристаллов, которые образовались при разных температурах, полностью выравнивается и будет соответствовать составу исходного сплава.

Вопрос 34. Каков состав кристаллов сплава I (фиг. 8) после его охлаждения, если диффузионные процессы совершились полностью?

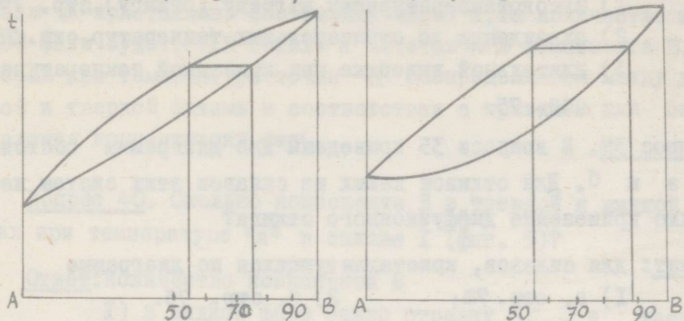
- Ответ: соответствует точке I)  $a'$  стр. 78;  
2)  $b'$  стр. 77;  
3)  $e'$  стр. 75.

Однако на практике процесс кристаллизации и охлаждения сплава может совершиться достаточно быстро, в результате чего диффузионные процессы не успевают полностью выравнять состав сплава, и после охлаждения имеет место остаточная концентрационная неоднородность, именуемая ликвацией.

Вопрос 35. На фигурах а и б приведены две одинаковые по форме диаграммы состояния. Для какой из них можно ожидать большего эффекта ликвации?

Ответ: для сплавов, кристаллизующихся по диаграмме

1) а, стр. 77;                      2) б, стр. 75,



Различаются два вида ликвации:

- а) внутрикристаллическая, когда в пределах одного кристаллита (зерна) имеет место переменный состав и
- б) зональная, когда различные зоны слитка (отливки) имеют переменный состав.

Вопрос 36. Вспомнив механизм кристаллизации (см. часть I, стр. 22–27) сообразите, как изменяется состав в пределах кристаллита при его росте от центра к периферии?

Ответ: в центральной части состав

- а) беден компонентом с высокой температурой плавления, стр. 76;
- б) богат этим компонентом, стр. 77.

Вопрос 37. Как в результате ликвации должен изменяться состав в направлении от поверхностных зон во внутрь слитка?

- Ответ: 1) обедняться компонентом с высокой температурой плавления, стр. 78;
- 2) обогащаться этим компонентом, стр. 77.

Вопрос 38. Стальные отливки склонны к ликвации. Что нужно сделать, чтобы устранить ликвацию, образовавшуюся в отливках?

Ответ: подвергнуть отливки

- 1) высокотемпературному нагреву (отжигу), стр. 76;
- 2) охлаждению до отрицательных температур, стр. 78;
- 3) длительной выдержке при комнатной температуре, стр. 75.

Вопрос 39. В вопросе 35 приведены две диаграммы состояния — а и б. Для отливок каких из сплавов этих систем необходимо применение диффузионного отжига?

Ответ: для сплавов, кристаллизующихся по диаграмме

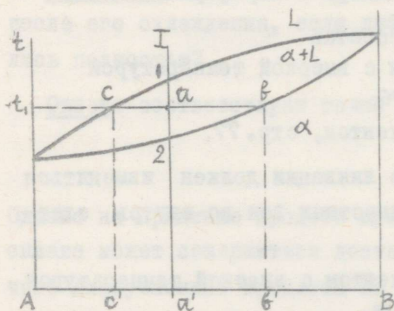
- 1) а, стр. 78;
- 2) б, стр. 75.

Как видим, умело пользуясь диаграммами состояния сплавов можно решить ряд задач, имеющих непосредственное прикладное значение.

Правило отрезков (правило рычага) для определения количества фаз

Как было установлено, по мере понижения температуры при кристаллизации непрерывно меняется состав и количество фаз.

При температуре точки I (фиг. 9) процесс кристаллизации только начинается и количество кристаллов равно нулю. При температуре точки 2 процесс кристаллизации закончился и количество жидкой фазы равно нулю.



Фиг. 9. К выведению правила рычага.

Путем простых рассуждений можно установить количество фаз и при любой температуре (между точками I-2, фиг. 9) сплава в двухфазной области.

Пусть требуется определить количество жидкой и твердой фазы при температуре точки  $a$  сплава на фиг. 9. Если при-

нять общее количество сплава I за 1, а количество твердой фазы ( $\alpha$ -кристаллов) обозначить через  $x$ , то количество жидкой фазы будет  $(1-x)$ . В сплаве I имеется  $Aa\%$  компонента B, который при температуре точки  $\alpha$  распределяется между жидкой и твердой фазами в соответствии с правилом для определения концентраций фаз'.

Вопрос 40. Сколько компонента B в твердой и жидкой фазах при температуре "а" в сплаве I (фиг. 9)?

Ответ: количество компонента B

- 1) в жидкой фазе равно отрезку  $Ac'$ , в твердой  $Ab'$ , стр. 80;
- 2) в жидкой фазе - отрезку  $Ab'$ , в твердой  $Ac'$ , стр. 81;
- 3) в жидкой и твердой фазе равно отрезку  $Aa'$ , стр. 78.

Составим уравнение относительно компонента B, количество которого во взятом сплаве I (фиг. 9) определяется отрезком  $Aa'$ . Его количество в твердой фазе  $x \cdot Ab'$ , а в жидкой фазе  $(1-x) \cdot Ac'$ , очевидно, что

$$x \cdot Ab' + (1-x) Ac' = Aa'$$

$$x \cdot (Ab' - Ac') = Aa' - Ac'$$

но  $Ab' - Ac' = c'b' = cb$ ,  $Aa' - Ac' = c'a' = ac$ ,

тогда  $x = \frac{ac}{bc}$  (1)  $1-x = \frac{ab}{bc}$  (2) или

$$\frac{x}{1-x} = \frac{ab}{ac} \quad (3).$$

Формулы (1) и (2) позволяют установить правило для определения количества фаз. Для определения весового или объемного количества фаз нужно разделить отрезок, противоположный составу данной фазы на общую длину отрезка (каноды).

Формула (3) представляет собой математическое выражение правила рычага: если считать весовые количества фаз  $x$  и  $1-x$  за силы, действующие на концы рычага, отрезки  $ac$  и  $ab$  или

чами рычага, то условие равновесия рычага будет достигнуто, если момент, вращающий рычаг по часовой стрелке  $(1-x)ab$  будет равен моменту, вращающему рычаг против часовой стрелки  $x \cdot ac$ .

Выведенным правилом мы будем пользоваться в дальнейшем не только для определения количества фаз, но и для определения количества структурных составляющих в сплавах, что имеет большое практическое значение.

Вопрос 4I. Определите количество жидкой фазы в точках  $K$  и  $L$  сплава (фиг. 8). Прочтите то же для твердой фазы при этих температурах. Сравните Ваши результаты с ответами на стр. 79.

Диаграмма состояния двойного сплава для случая, когда компоненты неограниченно растворимы друг в друге как в жидком, так и в твердом состояниях

Построенная нами диаграмма состояния  $Cu-Ni$  (фиг. 7) относится как раз к этому случаю. Образующаяся твердая фаза следует характеризовать как твердый раствор.

Как видно из фиг. 7 ниже линии солидус область твердого раствора распространяется на все концентрации сплавов, поэтому данный тип диаграммы характерен для случаев, когда сплавляемые компоненты имеют неограниченную растворимость в твердом состоянии. Важнейшим признаком, по которому можно отнести кристаллизующуюся фазу к твердым растворам, является возможность существования твердой фазы при различных концентрациях сплавов. Твердые растворы принято обозначать малыми греческими буквами. Под микроскопом твердые растворы представляются структурами, состоящими из однотипных кристаллов и ничем не отличаются от чистых компонентов или химических соединений.

На фиг. 7 представлена диаграмма состояния, когда от прибавления одного компонента к другому в сплавах температура кристаллизации твердых растворов или непрерывно повышается, или непрерывно понижается.

Возможны другие случаи, когда температура плавления твердых растворов от прибавления другого компонента вначале повышается, доходит до максимума при какой-то концентрации, а затем понижается. Возможны и случаи, когда при какой-то концентрации температура кристаллизации твердых растворов меньше температуры кристаллизации каждого из компонентов.

Диаграмма состояния для сплавов, когда два компонента неограниченно растворимы в жидком и ограниченно растворимы в твердом состоянии

### Диаграмма с эвтектикой

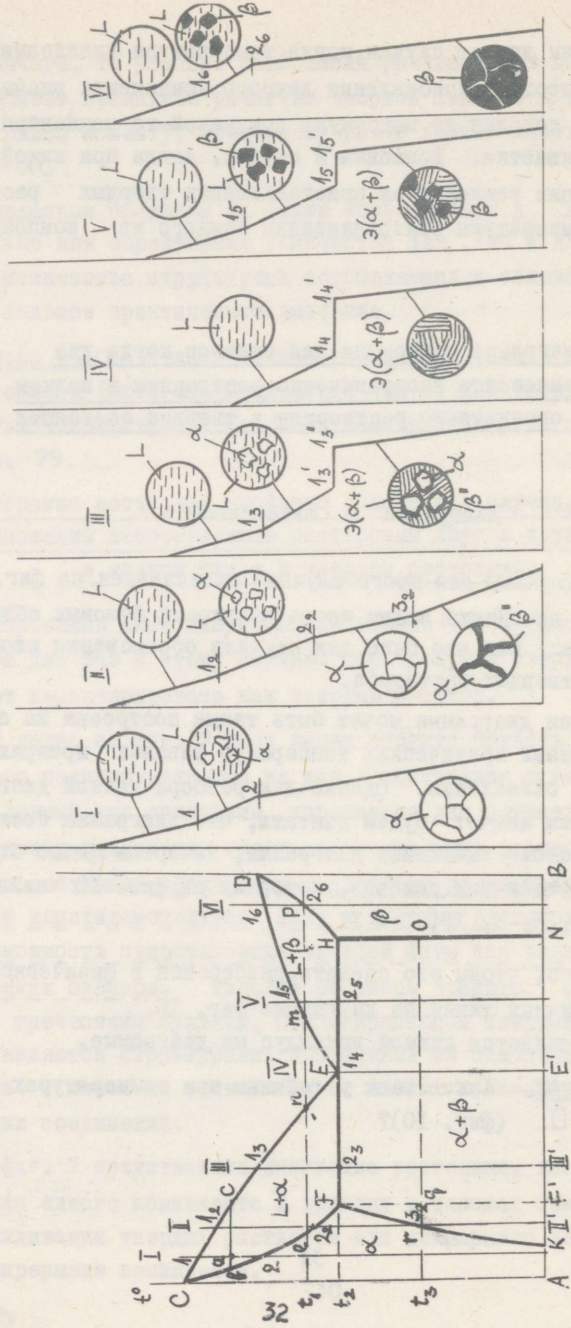
Вид диаграммы для этого случая представлен на фиг. 10. На данной диаграмме видим шесть различных фазовых областей вместо трех, как это было для случаев образования неограниченных твердых растворов.

Подобная диаграмма может быть также построена на основе выявленных критических температур фазовых превращений по кривым охлаждения. Однако для разбора данной диаграммы поступим иначе: будем считать, что диаграмма построена и на основе имеющейся диаграммы, вычертим кривые охлаждения для типичных сплавов, которыми на фиг. 10 являются сплавы I, II, III, IV, V и VI.

Для того, чтобы это сделать, разберемся в физической природе различных линий на диаграмме фиг. 10.

СЕD является линией ликвидус на диаграмме.

Вопрос 42. Какие фазы устойчивы при температурах выше линии СЕD (фиг. 10)?



ФИГ. 10. Диаграмма состояния для сплавов, когда компоненты ограниченно растворимы в твердом состоянии и имеет место эвтектическое превращение. Кривые охлаждения типовых сплавов.

Ответ: 1) твердая, стр. 79, 2) жидкая, стр. 82;  
3) твердая и жидкая, стр. 81.

CFEDH - линия солидус на диаграмме.

Вопрос 43. Какие фазы существуют в областях CFE и EDH в соответствии с диаграммой фиг. 10?

Ответ: 1) твердая, стр. 78, 2) жидкая, стр. 80;  
3) жидкая и твердая, стр. 81.

FK - линия, показывающая, как изменяется концентрация компонента В в твердом растворе на базе компонента А при температурах ниже  $t_2$ .

NN - линия, показывающая, как изменяется концентрация компонента А в твердом растворе на базе компонента В при температурах ниже  $t_2$ .

Приступим теперь к разбору процессов, происходящих при охлаждении выбранных нами типовых сплавов I...VI по диаграмме на фиг. 10.

**С п л а в I.** На фиг. 10 представлена кривая охлаждения сплава к схемы фазовых состояний при различных температурах.

Вопрос 44. Каков состав твердой фазы в точке "а" сплава I?

Ответ: соответствует проекции точек

1) а, стр. 82;

2) б, стр. 81;

3) с, стр. 78.

Легко увидеть, что по мере кристаллизации состав твердой фазы непрерывно изменяется по линии солидус, значит выделяющаяся фаза есть твердый раствор, который обозначим  $\alpha$ . Очевидно и во всей области CFE фазовый состав будет  $L + \alpha$ . При температуре 2 кристаллизация сплава I заканчивается и ниже температуры 2 охлаждается сплав в однофазном состоянии

из кристаллов  $\alpha$ . Установив характер фаз ниже температуры 2 сплава I, мы определили тем самым и фазы, устойчивые во всей области АСFK, которой будут  $\alpha$ -кристаллы.

Вопрос 45. Каково количество твердой фазы в точке I, "a" и 2 сплава I (фиг. IQ)?

Ответ: 1) в точке I равно 0%, в точке "a"  $\frac{ac}{bc}$  100%,  
в точке 2 100%, стр. 80;

2) в точке I - 100%, в точке a  $\frac{ab}{bc}$  100%, в точке 2 - 0%, стр. 79;

3) в точке I - 0%, в точке a - 100%, в точке 2 - 100%, стр. 81.

С л а в VI. Вертикаль, соответствующая составу сплава VI, пересекает линии диаграммы в точках  $1_6$  и  $2_6$ , одна из которых соответствует началу, другая концу определенных фазовых превращений.

Вопрос 46. Что происходит в точках  $1_6$  и  $2_6$  сплава VI?

Ответ: в точке 1)  $1_6$  начало, -  $2_6$  - конец кристаллизации, стр. 82;

2)  $1_6$  конец, -  $2_6$  - начало кристаллизации, стр. 79.

Вопрос 47. Имеет ли кристаллизующаяся фаза сплава VI переменный или постоянный состав?

Ответ: 1) постоянный, стр. 80;

2) переменный, стр. 81.

Легко видеть, что кристаллизация сплава VI в интервале температур  $1_6 - 2_6$  не имеет принципиальной разницы по сравнению с кристаллизацией сплава I.

В процессе кристаллизации образуется твердая фаза переменного состава, поэтому ее следует считать твердым раствором. Состав этого твердого раствора при разных температурах отличен от состава твердого раствора  $\alpha$ , поэтому при кристаллизации сплава VI образуется другой твер-

дый раствор, в котором растворителем является компонент В, а растворенным веществом — компонент А. Обозначим этот твердый раствор  $\beta$ .

При температуре  $t_6$  кристаллизация сплава VI заканчивается, и ниже температуры  $t_6$  имеем однофазное твердое состояние из кристаллов  $\beta$ . Очевидно и во всем поле диаграммы NHDB будут только кристаллы твердого раствора  $\beta$ :

Вопрос 48. Каков состав кристаллов  $\alpha$  и  $\beta$  при температуре  $t_1$  (фиг. 10)?

Решите эту задачу. Ответ см. стр. 79.

Вопрос 49. По каким линиям изменяется состав  $\alpha$  и  $\beta$  фаз при кристаллизации сплавов, состав которых пересекает области CEF и DEN диаграммы на фиг. 10?

Ответ: 1)  $\alpha$  — по линии CF,  $\beta$  — по линии ED, стр. 82;  
2)  $\alpha$  — по линии CE,  $\beta$  — по линии ED, стр. 79;  
3)  $\alpha$  — по линии CF,  $\beta$  — по линии DH, стр. 81.

Вопрос 50. Чему равно число степеней свободы при кристаллизации сплава в области CFE (фиг. 10)?

Ответ: 1) 1, стр. 80; 2) 2, стр. 80;  
3) 0, стр. 79.

С п л а в VI. Данный сплав пересекает одну линию диаграммы, поэтому очевидно на кривой охлаждения у сплава должна быть одна критическая точка, что означает, что сплав VI кристаллизуется при постоянной температуре.

Вопрос 51. Какие и какого состава фазы могут существовать при температуре  $t_2$  ?

Ответ: 1)  $\alpha$  состава  $F'$ ,  $\beta$  состава N, стр. 82,  
2)  $\alpha$  состава  $E'$ ,  $\beta$  состава N, стр. 81;  
3)  $\alpha$  состава  $F'$ ,  $\beta$  состава N и L состава  $E'$   
стр. 79.

При температуре  $t_2$  в качестве твердых фаз могут фигурировать  $\alpha$  кристаллы состава  $F'$  и  $\beta$  кристаллы состава N.



Выше линии CED - жидкая фаза;  
 в области CEF фазы  $L + \alpha$ ;  
 в области EDH фазы  $L + \beta$ ;  
 в области ACFK фаза  $\alpha$ ;  
 в области NHDB фаза  $\beta$ ;  
 в области KFHN фазы  $\alpha + \beta$ ;

С п л а в П. При температуре  $t_2$  начинается, при температуре  $l_2$  заканчивается кристаллизация.

Вопрос 53. Какая фаза выкристаллизуется у сплава П в интервале температур  $t_2 - l_2$  ?

Ответ: 1)  $L + \alpha$  стр. 79; 2)  $\alpha$ , стр. 83;  
 3)  $\beta$ , стр. 82; 4)  $\alpha + \beta$ , стр. 82.

После окончания кристаллизации при температуре  $l_2$  идет охлаждение  $\alpha$  фазы до температуры  $z_2$ , которая находится на линии FK диаграммы.

Вопрос 54. Каков физический смысл линии FK на фиг. 10?

Ответ: FK показывает 1) как изменяется растворимость компонента В в твердом растворе  $\alpha$ , стр. 81;  
 2) как изменяется температура сплава, стр. 80;  
 3) какие фазы существуют слева и справа от этой линии, стр. 80.

При температуре  $z_2$  твердый раствор еще может растворить входящий в состав сплава компонент В в количестве  $A \text{ II}'$ , но раствор  $\alpha$  предельно насыщен. При более низких температурах растворимость компонента В в  $\alpha$  твердом растворе меньше, чем количество компонента В в сплаве, поэтому при дальнейшем охлаждении от температуры  $z_2$  из  $\alpha$  твердого раствора будет выделяться фаза, способная поглотить избыток В компонента в сплаве.

Вопрос 55. Какая это фаза?

Ответ: 1) компонент В, стр. 83;

2) твердый раствор  $\beta$ , стр. 79;

3) твердые растворы  $\alpha$  и  $\beta$ , стр. 82.

При температурах ниже  $T_2$  сплав находится в области  $KFN$ , фазовый состав в которой нами был установлен ранее. Легко увидеть, что начиная от точки  $T_2$  должна выделяться фаза  $\beta$  - твердый раствор на основе компонента В, которая поглотит избыток компонента А.

Вопрос 56. Каков состав  $\alpha$  и  $\beta$  кристаллов при температуре  $t_3$ ?

Ответ: 1)  $\alpha$  состава  $II'$ ,  $\beta$  состава  $II'$ , стр. 81;

2)  $\alpha$  состава  $II'$ ,  $\beta$  состава  $N$ , стр. 82;

3) состав определить нельзя, стр. 80;

4)  $\alpha$  состава  $\frac{40}{10}$ ,  $\beta$  состава  $\frac{10}{10}$ , стр. 83.

Так как  $\beta$ -кристаллы выделяются не из жидкой, а из твердой фазы, то принято их обозначать как  $\beta''$ -кристаллы (вторичные кристаллы). Они обычно выделяются в виде оторочки вокруг кристаллов основной  $\alpha$  фазы.

Вопрос 57. Есть ли разница в физической природе  $\beta$  и  $\beta''$  кристаллов?

Ответ: 1) да, стр. 79; 2) нет, стр. 82.

Вопрос 58. Какое количество  $\beta''$  кристаллов будет в сплаве II после его полного охлаждения?

Ответ: 1)  $\frac{II'K}{KN}$ , стр. 81; 2)  $\frac{KII'}{KN}$ , стр. 82;

3)  $\frac{II'N}{KN}$ , стр. 83.

С п л а в III. Кристаллизация начинается при температуре  $T_3$ .

Вопрос 59. Какая фаза выкристаллизуется у этого сплава?

Ответ: 1)  $\alpha$ , стр. 80; 2)  $L$ , стр. 82;

3)  $\beta$ , стр. 79.

Вопрос 60. Каков состав жидкой фазы  $L$  и  $\alpha$ -кристаллов при температуре  $2_3$ ?

- Ответ: 1)  $L$  состава  $H'$ ,  $\alpha$  состава  $H'$ , стр. 81;  
2)  $L$  состава  $E'$ ,  $\alpha$  состава  $F'$ , стр. 82;  
3)  $L$  состава  $\frac{2_3 F}{FE}$ ,  $\alpha$  состава  $\frac{2_3 E}{FE}$ , стр. 83.

При температуре  $2_3$  кристаллизация заканчивается. Однако в отличие от сплавов I и II при температуре  $2_3$  у сплава III кристаллизуется значительное количество жидкой фазы, которое легко определить по правилу отрезков, а именно  $Q_L = \frac{2_3 F}{FE}$  или в данном случае около 30% из общего количества сплава. Состав этой жидкости  $E$  или такой же как у сплава IV. Очевидно в результате кристаллизации образуется эвтектика  $\exists(\alpha + \beta)$ .

Вопрос 61. Что будет на кривой охлаждения у сплава III при температуре  $2_3$ ?

- Ответ: 1) перегиб, стр. 82; 2) площадка, стр. 80.

Вопрос 62. Из чего будет состоять структура сплава III после окончания кристаллизации при температуре  $2_3$ ?

- Ответ: 1) из  $\alpha$  кристаллов, стр. 81;  
2) из  $\alpha$  и  $\beta$  кристаллов, стр. 82;  
3) из  $\alpha$  и  $\exists(\alpha + \beta)$  кристаллов, стр. 83.

Вопрос 63. Каков состав  $\alpha$  кристаллов при температуре  $2_3$ ?

- Ответ: 1)  $H'$ , стр. 82; 2)  $F'$ , стр. 83;  
3)  $E'$ , стр. 81.

При дальнейшем охлаждении сплава III от температуры  $2_3$  из  $\alpha$  кристаллов будут выделяться  $\beta''$  кристаллы как и у сплава II, так как растворимость компонента B в  $\alpha$  твердом растворе уменьшается в соответствии с линией  $FK$  диаграммы. После полного охлаждения в сплаве III  $\alpha$  и  $\beta$  фазы присутствуют в виде следующих структурных составляющих:  $\alpha$ -кристаллы, эвтектика  $\exists(\alpha + \beta)$  и вторичные кристаллы  $\beta''$ , как это схема-

тично показано на схеме около кривой охлаждения сплава III на фиг. 10. Форма, в которой проявляются фазы в сплавах, называется структурой сплава. Сокращенно структуру сплава III обозначим  $\alpha + \beta + \beta''$ , структура сплава II -  $\alpha + \beta''$ , сплава I -  $\alpha$  и т.д.

**С п л а в У.** Так как принципиально значительной разницы в характере превращения сплава У по сравнению со сплавом III нет, то предлагается этот разбор провести самостоятельно, ориентируясь на нижеприводимые вопросы.

**Вопрос 64.** Какая фаза выделяется при понижении температуры от  $T_5$  до  $2_5$ ; как изменяется состав твердой и жидкой фаз при понижении температуры от  $T_5$  до  $2_5$ ; каков состав жидкой фазы и ее количество при температуре  $2_5$ ; во что кристаллизуется жидкая фаза при температуре  $2_5$ ; изменяется ли состав  $\beta$  кристаллов при охлаждении от температуры  $2_5$ ; какая структура будет у этого сплава после его полного охлаждения?

Ответы на эти вопросы см. на стр. 83. Разобрав процессы фазовых превращений у сплава У, мы установили, что структура ее после охлаждения состоит из  $\beta + \beta + \beta''$ . На основе проведенного анализа диаграммы состояния видим, что в зависимости от состава сплавов имеют место различные структуры, а именно: у сплавов с концентрацией в пределах от А до К структура состоит из  $\alpha$  кристаллов, от К до  $F'$  из  $\alpha + \beta''$  кристаллов, от  $F'$  до  $E'$  из  $\alpha + \beta + \beta''$  кристаллов, у сплава состава  $E'$  из эвтектики  $\beta + \beta''$ ; у сплавов от  $E$  до  $N$  из  $\beta + \beta + \beta''$  и у сплавов от  $N$  до В - из  $\beta$  кристаллов.

Структурное состояние сплавов имеет очень большое влияние на свойства сплавов и поэтому необходимо научиться по диаграмме разбирать процессы структурообразования, как это было проделано при разборе этой диаграммы.

Вопрос 65. Используя правило фаз, установите, какая из приведенных диаграмм реально может существовать и докажете, почему?

Ответ:

1) стр. 83; 2) стр. 88; 3) стр. 86; 4) стр. 84.

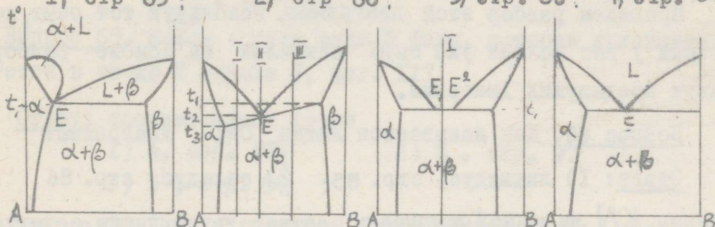
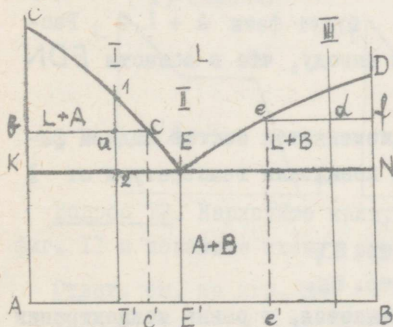


Диаграмма состояния для сплавов, образующих смеси из чистых компонентов.

На фиг. 10 представлена диаграмма для сплавов, когда компоненты ограниченно растворяются друг в друге в твердом состоянии. Линии  $CF$  и  $DH$  диаграммы показывают соответственно значения предельной растворимости компонента В в А и А в В, в зависимости от температуры.

Отсюда видно, что чем меньше растворимость компонентов в твердом состоянии, тем ближе эти линии к вертикальным

осям. Если реально растворимость очень мала, например 0,001%, то линии  $CF$  и  $FK$  практически сольются с вертикальной осью температур слева, линии  $DH$  и  $HN$  — справа и диаграмма примет вид, представленный на фиг. 11. Эта диаграмма относится к случаю, когда компоненты сплава в твердом состоянии практически не растворимы друг в друге и при кристал-



Фиг. 11. Диаграмма состояния для сплавов, у которых растворимость в твердом состоянии отсутствует.

лизации сплавов образуется механическая смесь компонентов. Эту диаграмму можно рассматривать как частный случай диаграммы с ограниченной растворимостью компонентов в твердом виде, когда эта растворимость очень мала.

Проведем разбор этой диаграммы, используя тот опыт, который у вас должен уже быть накоплен на основе разбора двух предыдущих диаграмм.

Вопрос 66. Как называется линия  $СЕD$  диаграммы?

Ответ: 1) ликвидус, стр. 85; 2) солидус, стр. 86.

Линия  $KN$  на данной диаграмме соответствует линии солидус.

Одной из фаз, присутствующих между линиями ликвидус и солидус, обязательно является кристаллизующаяся жидкая фаза  $L$ . Чтобы установить, какие фазы кристаллизуются из жидкости, рассмотрим сплав I при температуре точки  $a$  фиг. II. При этой температуре присутствует жидкая фаза состава  $C'$ ; состав твердой фазы определяется очевидно проекцией точки  $b$  коноды  $bc$  на концентрационную ось. Эта проекция соответствует чистому компоненту A. Легко видеть, что при любой температуре между точками 1 и 2 состав твердой фазы будет один и тот же и соответствует чистому компоненту A. Значит в области  $CEK$  будут фазы  $A + L$ . Рассуждая аналогично, приходим к выводу, что в области  $EDN$  должны быть фазы  $B + L$ .

Вопрос 67. По какой линии изменяется состав жидкой фазы  $L$  сплава I (фиг. II) при понижении температуры от 1 до 2?

Ответ: по линии 1)  $DE$ , стр. 83;  
2)  $CE$ , стр. 86;  
3) не изменяется, и равна концентрации исходного сплава I, стр. 88.

Вопрос 68. Какое количество жидкой фазы будет кристаллизоваться при температуре 2 сплава I (фиг. II)?

Ответ: количество, определяемое

- 1) точкой Е, стр. 86;
- 2) отношением  $\frac{2E}{EK}$ , стр. 85;
- 3)  $\frac{K2}{KE}$ , стр. 84;
- 4)  $\frac{KE}{2E}$ , стр. 84.

Вопрос 69. Каков состав жидкой фазы, которая кристаллизуется в точке 2 сплава I, фиг. II?

Ответ: соответствует точке

- 1) А, стр. 88;
- 2) Е', стр. 97;
- 3) Г', стр. 84.

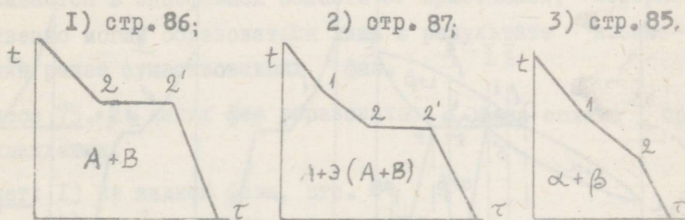
Вопрос 70. Что образуется при кристаллизации сплава I при температуре 2?

Ответ: кристаллы

- 1) компонента А, стр. 84;
- 2) компонента В, стр. 84;
- 3) эвтектика (А+В), стр. 85.

Вопрос 71. Какова кривая охлаждения сплава I, фиг. II и из чего состоит структура этого сплава после кристаллизации?

Ответ:



Вопрос 72. Нарисуйте кривую охлаждения сплавов II и III, фиг. II и покажите схему структур этих сплавов.

Ответ. см. на стр. 85.

Таким образом, разобрав типовые сплавы I, II и III, видим, что сплавы с концентрацией компонента В, меньше чем в точке В, имеют в структуре первичные кристаллы А и эвтектику

(A+B). Эти сплавы называются доэвтектическими. Сплав состава Б называется эвтектическим и имеет структуру Э(A+B), сплавы с концентрацией выше точки Е называются заэвтектическими и имеют структуру В+Э(A+B).

Вопрос 73. Используя правило фаз докажите, что линия KN теоретически не может пересечь вертикальные оси на диаграмме фиг. II.

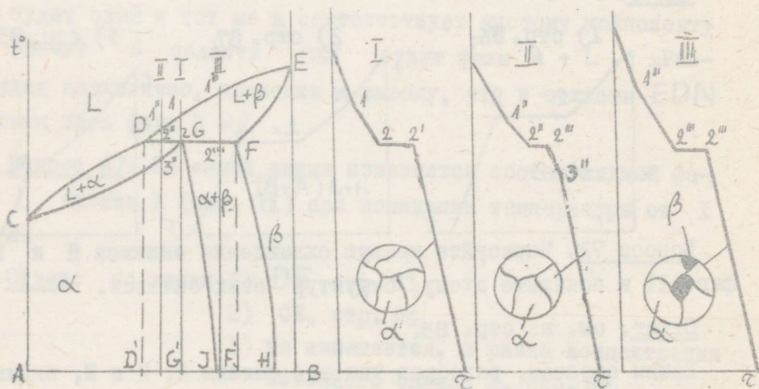
Ответ. см. на стр. 86.

Вопрос 74. Чему равно число степеней свободы в точке 2 сплава I фиг. II?

Ответ: 1) 1, стр. 86;                      2) 2, стр. 88;  
3) 0, стр. 85.

Диаграмма состояния для сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии (Диаграмма с перитектическим превращением)

Диаграмма состояния с перитектическим превращением представлена на фиг. I2. Линия CDE — ликвидус, линия CGFE — солидус.



Фиг. I2. Диаграмма состояния с перитектическим превращением.

Сплавы по концентрации левее  $D'$  и правее  $F'$  кристаллизуются аналогично сплавам I и UI на фиг. 10 и все, что касалось их кристаллизации, можно перенести и к сплавам на фиг. 12. Сплавы по концентрации, расположенные между точками  $D'$  и  $F'$ , претерпевают особое превращение, с которым надлежит познакомиться подробней.

Рассмотрим кристаллизацию сплава I, состав которого соответствует  $G'$ . Кристаллизация сплава начинается в точке I выделением твердой фазы переменного состава, как это легко можно установить, пользуясь правилом для определения концентрации фаз. Выделяющаяся фаза представляет собой твердый раствор компонента A в растворителе B, который назовем  $\beta$ . По мере кристаллизации  $\beta$  фаза меняет свой состав по линии EF и при температуре в точке G имеет состав точки  $F'$ . Жидкая фаза при этой же температуре имеет состав  $D'$ . Количество жидкой и твердой фазы при этой температуре будет

$$L_{D'} = \frac{GF}{DF} ; \quad \beta_{F'} = \frac{DG}{DF}.$$

При понижении температуры ниже точки G видим, что сплав I оказывается в однофазной области  $\alpha$  кристаллов, которые естественно могли образоваться лишь в результате взаимодействия ранее существовавших фаз.

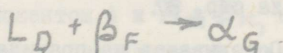
Вопрос 75. Из каких фаз образовалась  $\alpha$  фаза сплава I при его охлаждении.

Ответ: 1) из жидкой фазы, стр. 84;

2) из  $\beta$  кристаллов, стр. 86;

3) в результате взаимодействия  $L + \beta \rightarrow \alpha$  стр. 85.

Коротко сущность механизма образования  $\alpha$  фазы у сплава I можно представить как



Это превращение перитектического типа, и сформулировать его можно следующим образом. Перитектическим называется превра-

чение, протекающее при постоянной температуре, при котором две фазы постоянного состава образуют новую фазу.

Вопрос 76. Чему равно число степеней свободы при перитектическом превращении.

Ответ: 1) 1, стр. 84;

2) 0, стр. 87;

3) 2, стр. 88.

Рассмотрим далее процесс кристаллизации сплава II (фиг. I2). Кристаллизация начинается при температуре  $1''$  выделением кристаллов  $\beta$ . При достижении температуры  $2''$  имеем жидкую фазу  $L$  состава  $D'$  и  $\beta$  - твердый раствор состава  $F'$ , т.е. состав фаз и температура те же, как и у сплава I при перитектическом превращении. Что касается количества  $L$  и  $\beta$  фаз при температуре  $2''$  сплава II, то количество  $L_D = \frac{2''F'}{DF'}$   $\beta_{F'} = \frac{2''D'}{DF'}$ . Сравнивая количества фаз  $L$  и  $\beta$  у сплава II и I легко видеть, что у сплава II  $\beta$ -фазы меньше, а  $L$ -фазы больше, чем у сплава I, поэтому при протекании перитектического превращения у сплава II вся  $\beta$  фаза взаимодействует с частью жидкой фазы  $L$ , в результате чего образуется  $\alpha$  твердый раствор, часть жидкости остается непревращенной и сохранится при температурах ниже  $2''$ . Как видно из фиг. I2 сплав II ниже температуры  $2''$  находится в области  $L + \alpha$ . По мере понижения температуры идет дальнейшая кристаллизация жидкости с выделением кристаллов  $\alpha$  фазы, которая заканчивается при температуре  $3''$ , после чего сплав имеет однофазную структуру  $\alpha$  твердого раствора.

Вопрос 77. Основываясь на методике разбора охлаждения сплава II сделайте это самостоятельно также для сплава III (фиг. I2).

Ответ: см. на стр. 87.

Вопрос 78. Основываясь на правиле фаз, докажите какая из представленных в ответах диаграмм построена правильно?

Ответ:

1) стр. 84; 2) стр. 87; 3) стр. 86; 4) стр. 85.

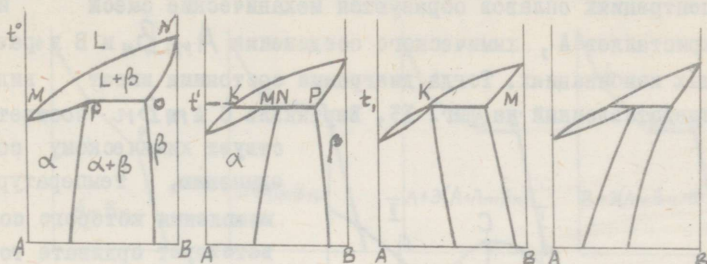


Диаграмма состояния для сплавов, образующих стойкое химическое соединение.

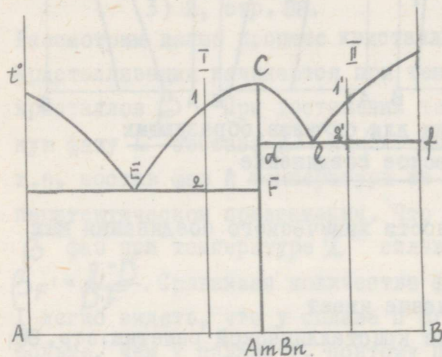
Вопрос 79. В чем особенности химического соединения как фазы в сплавах?

Ответ: химическое соединение имеет

- 1) собственный тип кристаллической решетки, стр. 88;
- 2) новый тип кристаллической решетки, определенный состав, который можно выразить формулой и новые свойства, присущие данному соединению, стр. 87;
- 3) тип решетки одного из компонентов и отличные от компонентов свойства, стр. 90;
- 4) тип решетки, промежуточный решеткам компонентов, новые свойства и определенный химический состав, стр. 90.

Исходя из материала, изложенного на стр. 8-9, химическое соединение можно рассматривать как совершенно новое вещество, образованное компонентами сплава. Если компоненты А и В образуют химическое соединение  $A_m B_n$ , то эту сложную систему можно рассматривать как две простые системы, первая из которых образована компонентом А и  $A_m B_n$ , вторая — компонентом В и  $A_m B_n$ , что в значительной степени упрощает разбор диаграммы состояния. Допустим, что в рассматриваемой

системе не образуются твердые растворы и при любых концентрациях сплавов образуются механические смеси из кристаллов А, химического соединения  $A_m B_n$  и В в разных комбинациях. Тогда диаграмма состояния имеет вид, представленный на фиг. 13. Вертикаль С  $A_m B_n$  соответствует химическому соединению, температура плавления которого соответствует ординате точки С на диаграмме.



Фиг.13. Диаграмма состояния для сплавов с устойчивым химическим соединением.

Диаграмма разбивается на две части; левая — из компонентов А и  $A_m B_n$ , правая из компонентов  $A_m B_n$  и В.

Очевидно, обе диаграммы совершенно аналогичны разобранной диаграмме на фиг. II. Совершенно аналогично следует проводить также и разбор

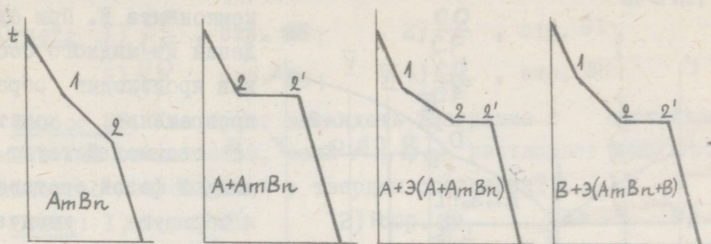
диаграммы, учитывая конечно, что одним из компонентов в этих сплавах является химическое соединение  $A_m B_n$ .

При образовании стойкого химического соединения линия ликвидуса на диаграмме состояния имеет сингулярную точку, в данном случае С, проекция которой соответствует составу химического соединения. По наличию такой точки (или точек, если образуется несколько химических соединений) на диаграмме сразу можно определить, что компоненты в данной системе образуют химическое соединение.

Вопрос 80. Какова кривая охлаждения сплав — II (фиг. 13) и структура после кристаллизации сплава?

Ответ:

1) стр. 85; 2) стр. 88; 3) стр. 85; 4) стр. 86.



Вопрос 81. Нарисуйте кривую охлаждения сплава I фиг. I3, схему фазовых превращений, окончательную структуру сплава. Определите сколько эвтектики в структуре сплава.

Ответ: см. на стр. 90.

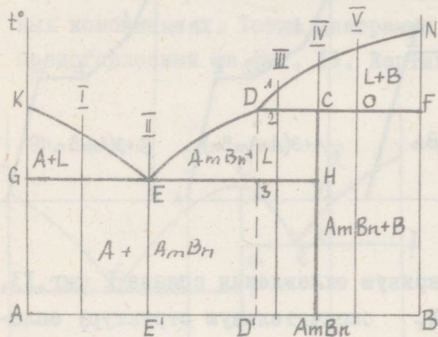
Вопрос 82. Нарисуйте диаграмму состояния сплава, когда компоненты A и B образуют два стойких химических соединения состава  $A_m B_n$ : 30% A и 70% B; и  $A_k B_l$ : 50% A и 50% B. Сравните вашу диаграмму с ответом на стр. 90.

Вопрос 83. Нарисуйте диаграммы состояния, когда компоненты A и B образуют стойкое химическое соединение  $A_m B_n$ , в котором: 1) ограниченно растворен компонент A; 2) ограниченно растворены оба компонента как A, так и B. Сравните ваши диаграммы с ответами на стр. 89.

Диаграмма состояния для сплавов, образующих  
нестойкое химическое соединение

Нестойким называется такое химическое соединение, которое разлагается при его нагревании. На фиг. I4 приведена диаграмма состояния для этого случая при условии, что в твердом состоянии растворимость компонентов отсутствует. Компоненты сплава A, B и нестойкое химическое соединение

$A_m B_n$  с температурой разложения в точке С. При нагреве  $A_m B_n$  разлагается на жидкую фазу состава  $D'$  и кристаллы компонента В. При охлаждении из жидкого состояния происходит обратное превращение: кристаллы В взаимодействуют с жидкой фазой состава  $D'$  и образуют химическое соединение



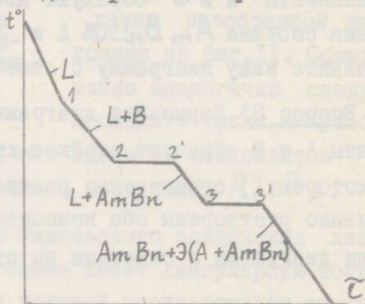
$L_D + B \rightarrow A_m B_n.$



Эта реакция подобна перитектической. Рассмотрим процесс кристаллизации сплава III (фиг. I4, I5). При температуре I из жидкости выделяются кристаллы В, и жидкая фаза по мере понижения температуры изменяет свой состав по линии DN.

Фиг. I4. Диаграмма состояния для сплавов с нестойким химическим соединениям.

При температуре 2.  $L_D + B \rightarrow A_m B_n$ , но часть жидкой фазы остается неиспользованной при реакции и продолжает кристаллизоваться в интервале температур 2-3 в химическое соединение



Фиг. I5. Кривая охлаждения сплава III

$A_m B_n$ . При температуре 3 имеем жидкую фазу состава E, которая кристаллизуется в эвтектику  $\Xi(A_m B_n + A)$  и окончательная структура этого сплава будет: кристаллы  $A_m B_n + \Xi(A_m B_n + A)$ .

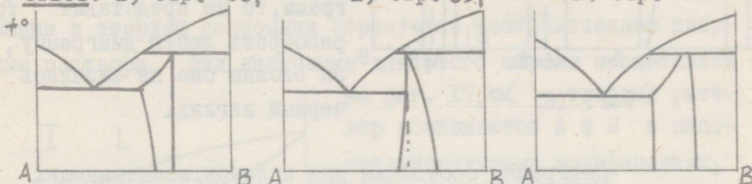
Проделайте аналогично разбор процессов кристаллизации и структурообразования сплавов I, II, IV, V.

Вопрос 84. Сколько компонента В будет в структуре сплава У (фиг. I4) после охлаждения?

- Ответ: 1)  $\frac{OF}{CF}$ , стр. 88; 2)  $\frac{CO}{CF}$ , стр. 91;  
3)  $\frac{DO}{OF}$ , стр. 89; 4)  $\frac{CO}{DF}$ , стр. 88.

Вопрос 85. Как будет выглядеть диаграмма с нестойким химическим соединением, если  $A_m B_n$  растворяет некоторое количество компонента А в твердом состоянии?

- Ответ: 1) стр. 88; 2) стр. 89; 3) стр. 91.



Вопрос 86. Нарисуйте диаграмму состояния, когда компоненты А и В образуют стойкое химическое соединение  $A_m B_n$  состава 50% В и нестойкое химическое соединение  $A_k B_l$  состава 75% В. Растворимость в твердом состоянии отсутствует. Сравните вашу диаграмму с ответом на стр. 89.

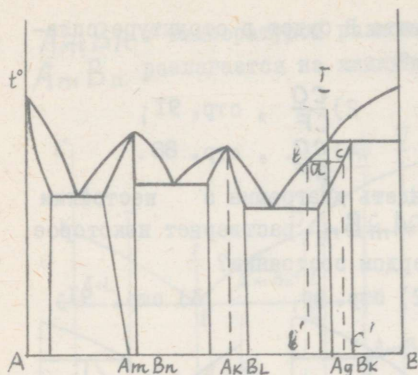
Вопрос 87. На кривой охлаждения какого из сплавов: IV или У (фиг. I4), площадка при температуре линии DF должна иметь максимальную длину?

- Ответ: у сплава: 1) IV, стр. 88; 2) У, стр. 87.

Вопрос 88. Будет ли площадка на кривой охлаждения сплава IV (фиг. I4) при температуре линии GH?

- Ответ: 1) да, стр. 89; 2) нет, стр. 91.

Вопрос 89. Отметить фазы в областях приведенной диаграммы (на фиг. I6). Нарисуйте кривую охлаждения сплава I, определите состав и количество фаз у этого сплава при температуре в точке а. Чему равно число степеней свободы в точке а сплава I? Сравните результаты разбора с ответом на стр. 91.



Фиг. 16.

В настоящем разделе курса нами были разобраны типовые диаграммы состояния двухкомпонентных сплавов. Все реально существующие диаграммы состояния состоят из элементов этих типовых диаграмм, и если вами усвоен принципиальный подход к решению задач разбора диаграмм, то не представит труда разобрать любую диаграмму, как бы сложна она не казалась на первый взгляд.

Диаграммы состояния для сплавов, испытывающих полиморфные превращения в твердом состоянии

Вопрос 90. В чем сущность полиморфных превращений?

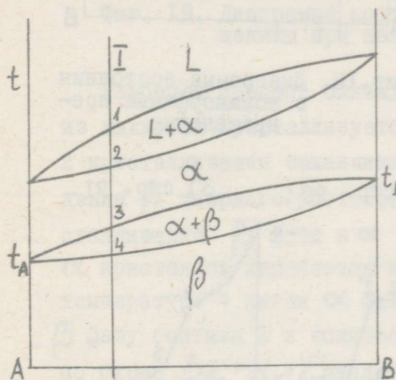
- Ответ: 1) изменяются магнитные свойства элементов при определенных температурах, стр. 91;  
 2) изменяется строение кристаллической решетки при определенной температуре, стр. 91;  
 3) происходит изменение агрегатных состояний вещества, стр. 89.

При полиморфных (аллотропных) превращениях происходит перекристаллизация твердого вещества, которая подчиняется тем же законам, как и кристаллизация из жидкого состояния. Если один или оба компонента обладают полиморфными превращениями в твердом состоянии, то и сплавы из этих компонентов претерпевают полиморфные превращения. Диаграммы состояния в этих случаях становятся "многоэтажными". Превращения, соответствующие верхним линиям диаграммы, характеризуют кристаллизацию из жидкой фазы; линии нижних частей диаграммы характеризуют процессы перекристаллизации в твердом состоянии.

При перекристаллизации в твердом состоянии могут образоваться те же фазы, с которыми мы знакомимся на стр. 4-14.

Вид диаграммы состояния зависит от того, какие фазы образуются в процессе полиморфных превращений в сплавах. Всевозможных комбинаций здесь может быть очень много.

Рассмотрим некоторые случаи. I. Компоненты А и В имеют полиморфное превращение при температурах  $t_A$  и  $t_B$ . Как при кристаллизации из жидкости, так и при перекристаллизации в твердом состоянии образуются неограниченные твердые растворы. Вид диаграммы для этого случая представлен на фиг. 17,  $\alpha$  - твердый раствор компонентов А и В в высокотемпературных модификациях,  $\beta$  - твердый раствор этих компонентов в низкотемпературных модификациях.



на фиг. 17,  $\alpha$  - твердый раствор компонентов А и В в высокотемпературных модификациях,  $\beta$  - твердый раствор этих компонентов в низкотемпературных модификациях.

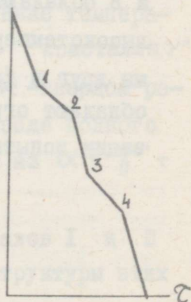
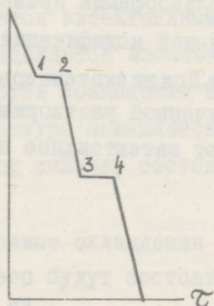
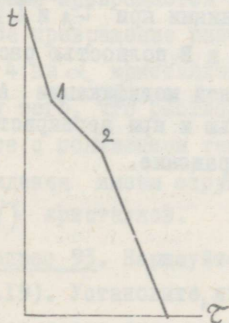
Вопрос 91. Какова кривая охлаждения сплава I (фиг. 17) ?

Фиг. 17. Диаграмма состояния с полиморфными превращениями.

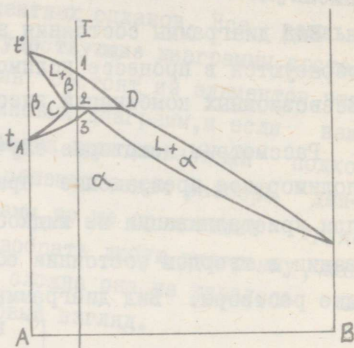
Ответ: 1) стр. 90;

2) стр. 91;

3) стр. 91.



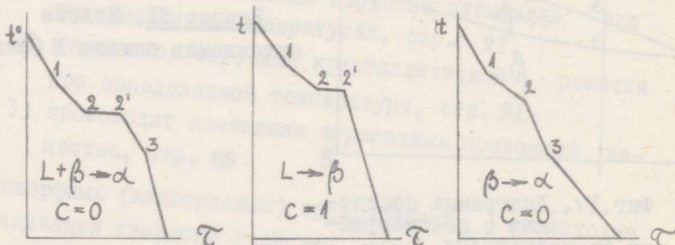
II. На фиг. 18 представлена диаграмма для случая, когда компонент А обладает полиморфным превращением при  $t_A$ , компонент В не обладает. В высокотемпературной модификации компонент В растворяется в компоненте А ограниченно, в низкотемпературной модификации растворимость полная.



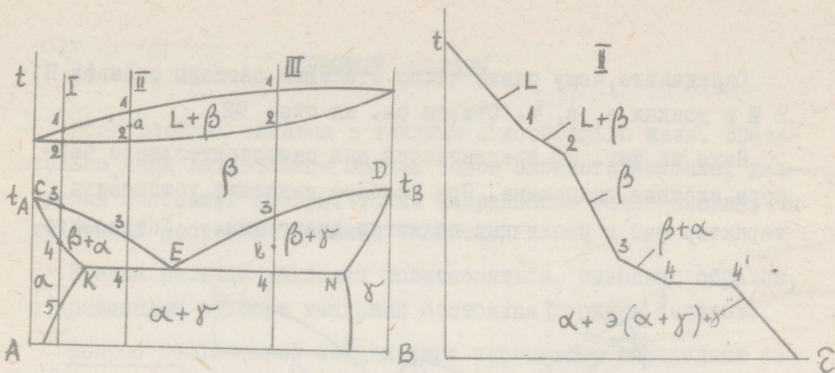
**Вопрос 92.** Какова кривая охлаждения сплава I, (фиг. 18), каков тип превращения на линии CD диаграммы, чему равно число степеней свободы сплава в точке 2?

Фиг.18. Диаграмма состояния с полиморфными превращениями.

**Ответ:** 1) стр. 89; 2) стр. 90; 3) стр. 91.



III. На фиг. 19 представлена диаграмма, когда компоненты А и В обладают полиморфными превращениями при  $t_A$  и  $t_B$ . При высокотемпературной модификации А и В полностью растворимы друг в друге. При низкотемпературной модификации А и В обладают ограниченной растворимостью и при перекристаллизации испытывают эвтектоидное превращение.



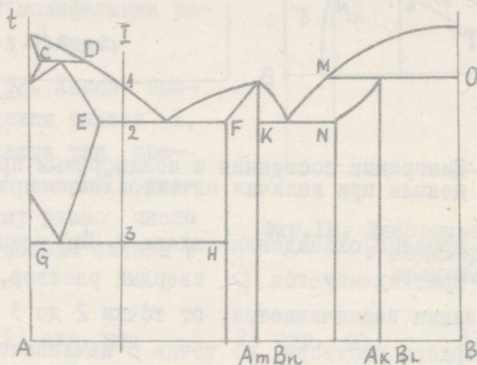
Фиг. 19. Диаграмма состояния с полиморфным превращением при наличии эвтектоидного превращения.

Разберем процесс охлаждения сплава II. При температуре 1 из жидкости кристаллизуется  $\beta$  твердый раствор, в точке 2 кристаллизация заканчивается, от точки 2 до 3 идет охлаждение  $\beta$  твердого раствора, от точки 3 начинается перекристаллизация  $\beta$  фазы в  $\alpha$  твердый раствор, при этом состав  $\alpha$  кристаллов изменяется по линии СК,  $\beta$  - по линии ЕС. При температуре 4 имеем  $\alpha$  фазу состава К в количестве  $\frac{4E}{4K}$  и,  $\beta$  фазу состава Е в количестве  $\frac{4K}{4E}$ .  $\beta$  фаза превращается по схеме  $\beta_E \rightarrow \alpha_K + \gamma_N$  аналогично эвтектическому превращению при сплавах, кристаллизовавшихся по диаграмме на фиг. 10. Только в отличие от эвтектического превращения, когда жидкая фаза превращалась в смесь двух твердых фаз, здесь твердая фаза превращается в смесь двух новых твердых фаз. Подобное превращение называется эвтектоидным. Ниже температуры 4 из  $\alpha$  кристаллов выделяются избыточные кристаллы  $\gamma$  ввиду того, что растворимость компонента В в  $\alpha$ -твердом растворе с понижением температуры понижается. После полного охлаждения имеем структуру сплава, состоящую из  $\alpha + \gamma + \varepsilon(\alpha + \gamma)$  кристаллов.

Вопрос 93. Нарисуйте кривые охлаждения сплавов I и III (фиг. 19). Установите, из чего будут состоять структуры этих сплавов после охлаждения.

Определите, чему равно число степеней свободы сплавов II и III в точках а, в, 4. Ответы см. на стр. 92.

Ниже на фиг. 20 предлагается для самостоятельного разбора сложная диаграмма. При разборе надлежит установить характер фаз в различных областях диаграммы. Установить



Фиг.20. Диаграмма состояния для разбора.

природу невариантных превращений при линиях  $CD$ ,  $EF$ ,  $GH$ ,  $KN$ ,  $MO$ . Для сплава I нарисовать кривую охлаждения и определить, какая у нее будет структура после охлаждения. Прделав этот разбор, сравните полученные результаты с ответом на стр. 92. Если что-либо осталось неясным, обязательно проконсультируйтесь с преподавателем.

Роль двойных сплавов в технике относительно мала. Значительно чаще встречаются сплавы более сложного состава, диаграммы состояния которых также несравненно более сложны, чем диаграммы состояния двойных сплавов.

В этом разделе надлежит познакомиться, главным образом, с принципами разбора диаграмм состояния тройных сплавов.

Вопрос 94. Сколько независимых переменных определяют состояние тройного сплава?

Ответ: 1) 1, стр. 96;                      2) 2, стр. 95;  
3) 3, стр. 96;                      4) 4, стр. 95.

Вопрос 95. Максимально сколько фаз могут сосуществовать в равновесии в тройном сплаве?

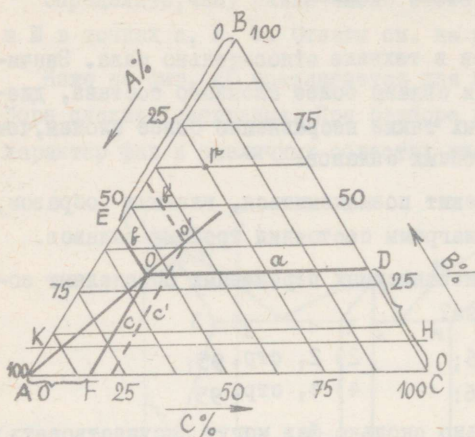
Ответ: 1) 1, стр. 94;                      2) 2, стр. 94;  
3) 5, стр. 94;                      4) 4, стр. 91.

Так как тройную систему определяют три независимые переменные (температура и концентрация 2-х компонентов), то тройная система для своего построения требует пространства с тремя измерениями. Другими словами, диаграммы состояния сплавов представляют собой пространственные фигуры. Для отражения концентрации тройного сплава обычно используется часть плоскости в виде равностороннего треугольника, которая называется концентрационным треугольником.

Структура концентрационного треугольника следующая (фиг.21):

В вершинах треугольника находятся компоненты, например А, В, С, образующие тройной сплав. Стороны треугольника соответствуют двойным сплавам А-В, В-С, А-С. Любая точка внутри треугольника соответствует вполне определенному по составу тройному сплаву.

При определении концентрации тройного сплава исходим из следующих соображений: за 100% состава принимается длина стороны треугольника. Если через какую-либо точку внутри рав-



Фиг. 21. Концентрационный треугольник.

то и сумма  $a + b + c$ , также показывает количество всего сплава, а каждый член в этой сумме показывает количество (концентрацию) одного из компонентов в тройном сплаве.

Ввиду того, что длины отрезков  $a, b, c$  соответственно равны отрезкам  $EB, AF$  и  $DC$  на сторонах треугольника, то эти отрезки также отражают количество отдельных компонентов в составе тройного сплава.

Для удобства отсчета каждая из сторон треугольника используется для отражения состава одного из компонентов. Представим, например, что по стороне  $BA$  измеряется количество компонента  $A$ , по стороне  $AC$  — количество компонента  $C$ , а по стороне  $BC$  количество компонента  $B$ . Тогда сплав состава точки  $O$  имеет в составе количество компонента  $A$  —  $BE\%$ , компонента  $C$  —  $AF\%$ , компонента  $B$  —  $CD\%$ .

Вопрос 96. Что характерно для сплавов, состав которых располагается на линии  $KH$  (фиг. 21), параллельной стороне треугольника  $AC$ ?

ностороннего треугольника провести отрезки, параллельные трем сторонам треугольника, до пересечения со сторонами треугольника, то сумма этих отрезков равна длине стороны треугольника, то есть  $a + b + c = AB = AC = BC = 100\%$  (фиг. 21). Так как сторона треугольника показывает количество всего сплава,

Ответ: у всех таких сплавов:

- 1) количество компонента А постоянно, стр. 93;
- 2) количество В постоянно, стр. 94;
- 3) количество С постоянно, стр. 94;
- 4) отношение количества компонентов А и В, для всех сплавов постоянно, стр. 95.

Вопрос 97. Что характерно для сплавов, состав которых находится на отрезке АО (фиг. 21).

- Ответ:
- 1) составы компонента А постоянны, стр. 95;
  - 2) составы компонента В постоянны, стр. 96;
  - 3) отношение концентраций компонентов А и С постоянны, стр. 95.

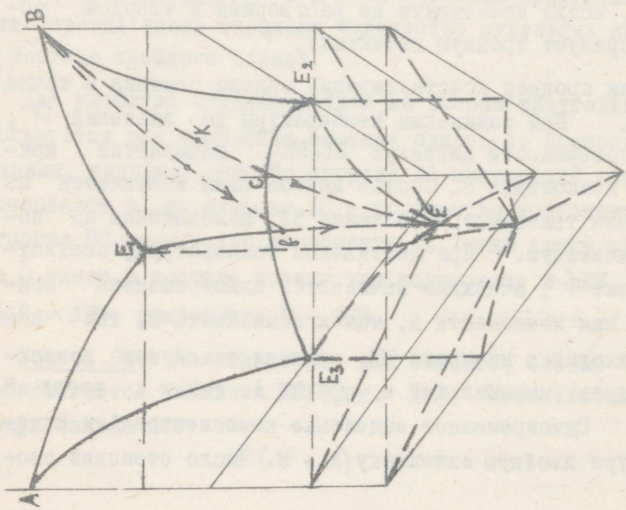
Вопрос 98. Какова концентрация тройного сплава в точке Р (фиг. 21 )?

- Ответ:
- 1) 40% В, 20% А, 40% С, стр. 96;
  - 2) 25% С, 62,5% В, 12,5% А, стр. 93;
  - 3) 12,5% С, 62,5% В, 25% А, стр. 94.

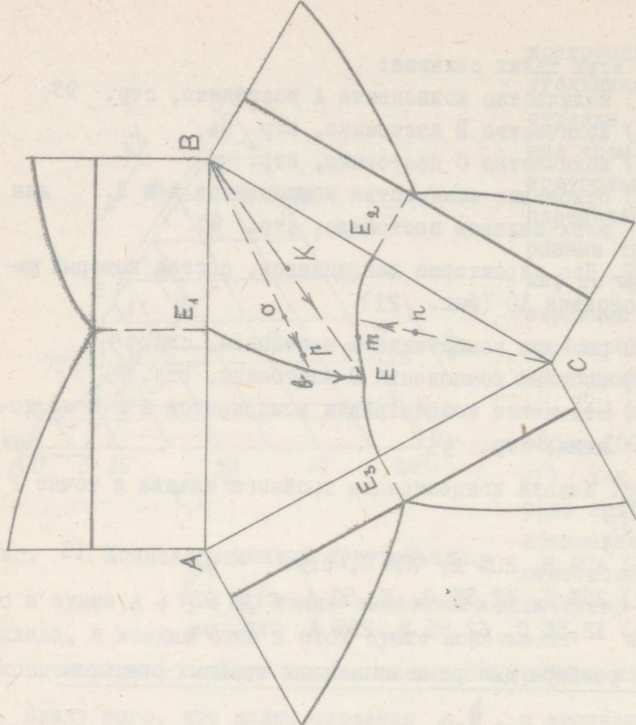
Методика разбора диаграмм состояния тройных сплавов.

На фиг. 22 приведена пространственная диаграмма тройного сплава, когда компоненты не растворимы в твердом состоянии и образуют тройную эвтектику.

Рассмотрим процесс кристаллизации сплава состава в точке О фиг. 22. При понижении температуры до значения  $O$ , лежащей на поверхности ликвидус  $EE_1VE_2$ , начинается кристаллизация компонента В. Состав жидкой фазы изменяется по мере понижения температуры по линии  $VE_1$ , находящейся на поверхности ликвидус. При достижении температуры, соответствующей точке  $E_1$ , очевидно начинается одновременная кристаллизация как компонента А, так и компонента В, так как эта точка находится на линии  $EE_1$ , принадлежащей как поверхности ликвидуса, примыкающей к ребру А, так и к ребру В призмы. Одновременное выделение компонентов А и В дает в структуре двойную эвтектику (А + В). Число степеней сво-



Фиг. 22. Пространственное изображение диаграммы состояния тройной системы. Компоненты нерастворимы в твердом состоянии и образуют тройную эвтектику.



Фиг. 23. Проекция диаграммы состояния трехкомпонентной системы. Компоненты нерастворимы в твердом состоянии и образуют тройную эвтектику (Боковые поверхности развернуты на плоскость чертежа).

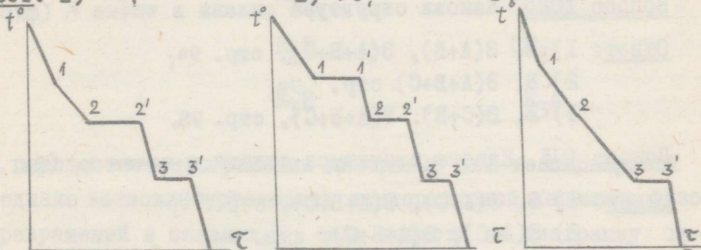
боды при выделении двойной эвтектики равно  $C=3-3+1=1$ , поэтому процесс идет не при постоянной температуре, как это было в двойных сплавах, а в интервале температур. Состав двойной эвтектики по мере понижения температуры изменяется по линии  $\beta E$ . При достижении температуры в точке  $E$  происходит выделение тройной эвтектики состава  $(A+B+C)$ .

Вопрос 99. Происходит ли образование тройной эвтектики при постоянной или при переменной температуре?

- Ответ: 1) при постоянной, стр. 94;  
2) при переменной, стр. 95.

Вопрос 100. Какова кривая охлаждения сплава  $O$  фиг. 22?

- Ответ: 1) 95; 2) 96; 3) 96.



Пространственное изображение диаграммы состояния тройных сплавов сложно и далеко не всегда позволяет наглядно проследить процессы превращения в сплавах при охлаждении, поэтому разработана упрощенная методика изучения тройных систем.

На фиг. 23 приведены проекции линий пересечения поверхностей тройной диаграммы, изображенной на фиг. 22, на концентрационную плоскость.

Линии  $EE_1, EE_2, EE_3$  представляют собой проекции линий пересечения трех поверхностей ликвидусов. В точке  $O$  показан рассмотренный ранее сплав. Отсюда видим, что состав сплава находится в области  $BEV_2$ , представляющей проекцию поверхности ликвидуса, примыкающей к вершине  $B$  треугольника. Поэтому процесс кристаллизации начинается выделением компонента  $B$ . Состав жидкой фазы изменяется по продолжению линии

ВО. При достижении температуры в точке  $\delta$  начинается кристаллизация двойной эвтектики А+В. При кристаллизации двойной эвтектики состав жидкой фазы изменяется по линии  $E_1E$ . При достижении состава в точке Е происходит окончательная кристаллизация с выделением тройной эвтектики (А+В+С). Структура сплава после кристаллизации состоит из кристаллов А, двойной эвтектики (А+В) и тройной эвтектики (А+В+С).

Вопрос 101. Из каких структурных составляющих будет состоять структура сплава  $\eta$  после кристаллизации (фиг 23)?

- Ответ: 1) А, (В+С), Э (А+В+С) стр. 96;  
2) С, Э(В+С), Э(А+С+В), стр. 93;  
3) С, Э(А+С), Э(А+В+С), стр. 93.

Вопрос 102. Какова структура сплава в точке  $\kappa$  (фиг 23)?

- Ответ: 1) В, Э(А+В), Э(А+В+С), стр. 94;  
2) В, Э(А+В+С) стр. 94;  
3) В, Э(С+В), Э(А+В+С), стр. 93.

Вопрос 103. Какова структура сплава в точке  $\mu$  (фиг.23)?

- Ответ: 1) В, Э(А+С), Э(А+В+С), стр. 95;  
2) Э(А+С), Э(А+В+С), стр. 95;  
3) Э(А+В+С), стр. 96.

На основе вышесказанного можно прийти к следующему правилу по разбору процессов структурообразования тройных сплавов: в сплавах, находящихся в областях  $AE_1EE_3$ ,  $BE_1EE_2$  и  $CE_3EE_2$ , кристаллизация начинается с выделением соответственно компонента А, В и С, состав выделяющейся двойной эвтектики определяется направлением линии, проведенной через точку состава сплава и соответствующую вершину треугольника. Процесс кристаллизации заканчивается выделением тройной эвтектики.

Сплавы, лежащие на линии, соединяющей вершину треугольника и точку тройной эвтектики, не имеют по составу в структуре двойных эвтектик. Сплавы, находящиеся на линиях двойных эвтектик, не имеют в структуре самостоятельных кристаллов А, В или С. Сплав состава в точке Е кристаллизуется в тройную эвтектику.

Исходя из вышеизложенного, заполните таблицу структур типовых тройных сплавов в виде нижеследующей таблицы. Ответ посмотрите на стр. 97.

Положе- ние точ- ки в области	Структура	Положе- ние точ- ки на линии	Структура	Положе- ние точ- ки на линии	Струк- тура
$E_1BE$		$BE$		$E_1B$	
$E_2BE$		$AE$		$AE_1$	
$E_2CE$		$EC$		$BE_2$	
$E_3CE$		$E_1E$		$E_2C$	
$E_3AE$		$E_2E$		$CE_3$	
$E_1AE$		$E_3E$		$E_3A$	

На плоскостном изображении диаграммы нет температурной оси, однако возможно установить температурный характер фазовых превращений в сплавах, если нанести на диаграмму линии одинаковые температуры (изотермы), т.е. линии, которые представляют собой проекции линии пересечения горизонтальных плоскостей с поверхностями диаграммы. На фиг. 24 приведена диаграмма  $Pb-Sn-Bi$  с подобными изотермами.

Вопрос 104. При каких температурах происходит кристаллизация сплава в точке 0 (фиг. 24 ).

- Ответ: происходит выделение при температурах между
- 1) 200-180° С кристаллов  $Sn$ , 150-100° С - звт. ( $Sn+Pb$ ), 96° С - э( $Pb+Sn+Bi$ ), стр. 97;
  - 2) 180-150° С, кристаллов  $Sn$ , 150-100° С звт( $Sn+Pb$ ), 96° С э( $Pb+Bi+Sn$ ), стр. 96;
  - 3) установить температуры невозможно, стр. 96.

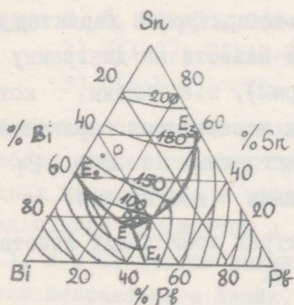
К тройным системам применимо правило отрезков для определения количества фаз. Так количество жидкой фазы в точке  $p$

(фиг. 23) равно отношению  $\frac{BO}{rB}$ , количество твердой фазы равно  $\frac{PO}{rB}$ .

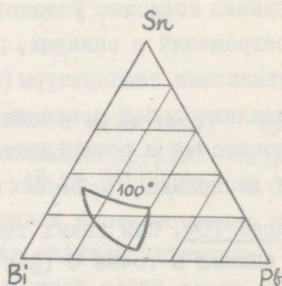
Упрощенные методы изучения многокомпонентных систем

В тройных системах, как и в двойных системах могут образоваться химические соединения, твердые растворы, происходить полиморфные превращения и т.д., что в значительной степени усложняет вид диаграммы, и построение таких диаграмм. Так как диаграммы состояния многокомпонентных систем еще сложнее, упрощенные методы изучения сложных сплавов являются весьма важными.

Для разрешения проблемы пользуются горизонтальными и вертикальными сечениями пространственных моделей. Принцип построения горизонтальных сечений должен быть ясен из вышеприведенного построения изотерм на фиг. 24. Горизонтальное сечение диаграммы  $Pb-Sn-Bi$  изотермической плоскостью при  $100^{\circ}C$  приведено на фиг. 25.



Фиг. 24. Диаграмма состояния  $Pb-Sn-Bi$

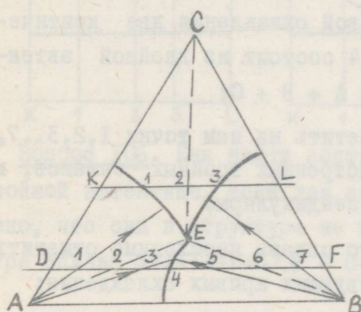


Фиг. 25. Горизонтальное сечение диаграммы  $Pb-Sn-Bi$  плоскостью при  $100^{\circ}C$ .

Часто строятся сечения диаграмм вертикальными плоскостями, главным образом параллельными одной из сторон концентрационного треугольника. Принцип построения таких сечений аналогичен построению диаграмм состояния двойных сплавов, т.е. при-

готовавляют ряд сплавов определенного состава и строят для них кривые охлаждения. По полученным критическим точкам строится диаграмма (сечение).

Для того чтобы показать, как выглядит такое сечение, можно идти и в обратном направлении: по имеющейся тройной диаграмме построить вертикальное сечение. Пусть, например, требуется построить сечение  $DF$  тройной диаграммы, представленной на фиг. 26. Для этого необходимо:



Фиг. 26. К построению вертикального сечения тройного сплава.

а), знать, что сплавы состава  $D$  и  $F$ , находящиеся на сторонах треугольника, являются двойными из системы компонентов  $A$  и  $C$  (сплав  $D$ ) и  $B$  и  $C$  (сплав  $F$ ). При кристаллизации сплава  $D$  вначале выделяются кристаллы компонента  $A$ , затем двойная эвтектика  $A + C$ . При кристаллизации сплава  $F$  соответственно кристаллы компонента  $B$  и двойная эвтектика  $B + C$ . На кривых охлаждения (см. кривые охлаждения на стр. 66) имеют

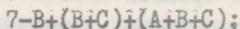
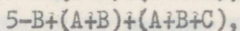
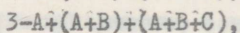
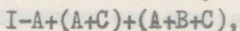
место две критические точки;

б) соединить точки  $A$  и  $B$  с точкой тройной эвтектики  $E$ ; на линиях  $AE$  и  $BE$  находящиеся сплавы (2 и 6) не имеют в структуре двойных эвтектик. При кристаллизации сплава 2 вначале выделяются кристаллы компонента  $A$ , затем тройная эвтектика  $A + B + C$ . При кристаллизации сплава 6 соответственно кристаллы  $B$  и тройная эвтектика  $A + B + C$ . На кривых охлаждения две критические точки;

в) взять сплавы в точках 1, 3, 5 и 7, которые являются типичными в данной системе, давая при кристаллизации чистый компонент, двойную эвтектику и тройную эвтектику (три

критические точки на кривых охлаждения), но все они отличаются друг от друга либо по качеству выделяющегося первичного компонента, либо характером двойной эвтектики.

Структуры этих сплавов следующие:

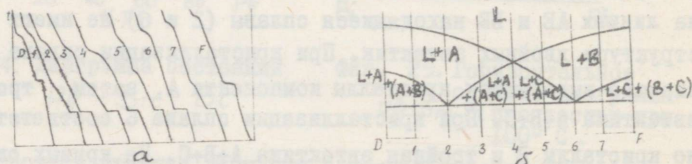


г) знать, что кристаллизация сплавов, состав которых находится на линиях двойной эвтектики (сплав 4), начинается выделением двойной эвтектики и заканчивается кристаллизацией тройной эвтектики (на кривой охлаждения две критические точки). Структура сплава 4 состоит из двойной эвтектики  $A + B$  и тройной эвтектики  $A + B + C$ ;

д) взять отрезок  $D - F$ , отметить на нем точки 1, 2, 3..7, соответствующие составам рассмотренных тройных сплавов, и восстановить из этих точек перпендикуляры;

е) на перпендикуляре каждого сплава необходимо отметить критические точки из соответствующих кривых охлаждения;

ж) полученные системы однородных точек, соответствующих однотипным превращениям в сплавах при кристаллизации, необходимо соединить линиями, в результате чего и получим вертикальное сечение тройной системы (фиг. 27).

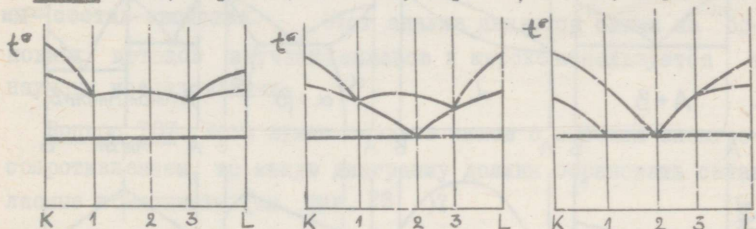


Фиг. 27. Кривые охлаждения сплавов а и вертикальное сечение диаграммы б.

По построенному сечению можно судить, при каких температурах какие фазовые превращения имеют место у всех сплавов, находящихся на линии  $DF$  тройной диаграммы (фиг. 26). На фиг. 27 приведены также фазы и структуры для этих сплавов.

**Вопрос 105.** Как выглядит вертикальное сечение  $KL$  диаграммы на фиг. 26?

**Ответ:** 1) стр. 93; 2) стр. 93; 3) стр. 93.

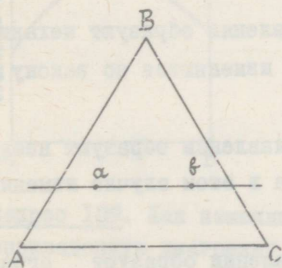


**Вопрос 106.** Как найти состав сплава, соответствующий тройной эвтектике, если для сплавов состава  $a$  и  $b$  установлено, что они в структуре не имеют двойной эвтектики (структура сплава  $a - A + (A+B+C)$ ,  $b - C + (A+B+C)$ ).

**Ответ:** 1) только опытным путем, стр. 94;

2) нужно провести линии через  $A$  и  $a$  и  $C$  и  $b$ ; на пересечении этих линий находится сплав, по составу соответствующий тройной эвтектике, стр. 94;

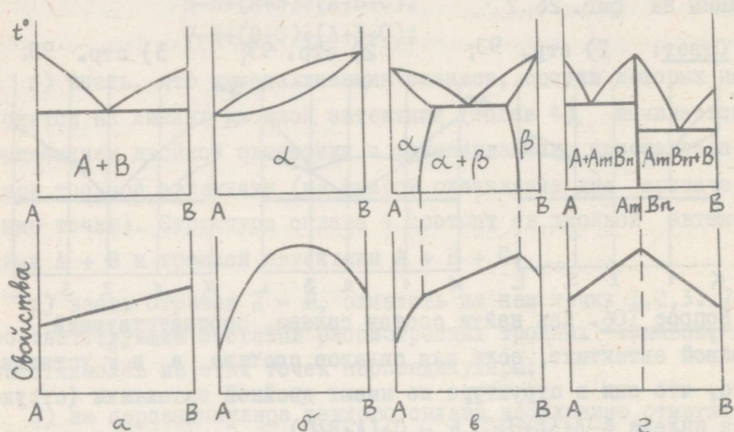
3) нужно провести отрезки через  $A - a$  и  $B - b$  и проделать то же, что в ответе 2, стр. 95.



Связь между свойствами сплавов и диаграммами состояния

Вид диаграммы состояния зависит от того, какие фазы образовали компоненты при сплавлении. Свойства сплавов также за-

висят от характера образованных фаз, поэтому между диаграммами состояния и свойствами сплавов существует определенная связь. На фиг. 28 приведены четыре основных типа диаграмм состояния и закономерности изменения свойств у этих сплавов в зависимости от состава.



Фиг. 28. Зависимость свойств сплава от вида диаграммы состояния (по Н.С.Курнакову).

**Случай первый:** компоненты при сплавлении образуют механическую смесь. В этом случае свойства изменяются по закону прямой линии (аддитивно).

**Случай второй:** компоненты при сплавлении образуют неограниченные твердые растворы. Свойства в этом случае изменяются по криволинейному закону.

**Случай третий:** компоненты при сплавлении образуют ограниченные твердые растворы. Тогда в той части, где имеют место однофазные области твердых растворов, свойства изменяются по закону кривой линии, в двухфазной области по закону прямой линии.

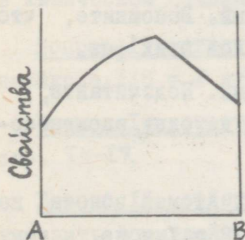
Случай четвертый: компоненты при сплавлении образуют химические соединения. В этом случае составу химического соединения соответствует максимум или минимум на кривой изменения свойств. Эта точка перелома, соответствующая химическому соединению, называется сингулярной точкой.

В основу физико-химического анализа металлов, разработанного Н.С. Курнаковым был положен метод изучения изменения свойств в зависимости от состава и построения диаграммы—состав—свойства. Этот анализ является одним из основных методов изучения сплавов и широко используется в научных исследованиях.

Вопрос 107. Если нужно создать сплав с высоким электро-сопротивлением, то какую диаграмму должны образовать сплавливаемые компоненты (см. фиг. 28 )?

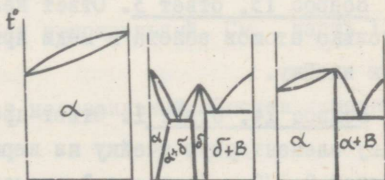
Ответ: 1) а, стр. 95; 2) б, стр. 96;  
3) в, стр. 96.

Вопрос 108. Характер изменения свойств от состава сплава приведен на фигуре слева. Как должна выглядеть диаграмма состояния в этом случае?

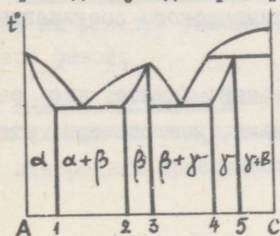


Ответ:

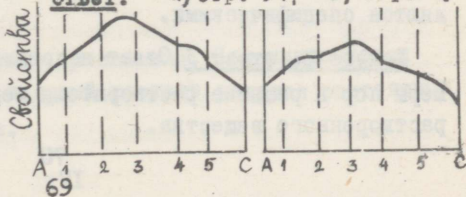
1, стр. 93; 2, стр. 93; 3, стр. 93.



Вопрос 109. Как изменятся свойства, если сплав имеет нижеприведенную диаграмму состояния?



Ответ: 1, стр. 94; 2, стр. 94.



Вопрос 1, ответ 1. Ответ неправильный, прочитайте внимательно о строении твердых растворов.

Вопрос 2, ответ 2. Ответ неправильный. Учтите, что размеры пор в решетке растворителя меньше, чем размеры атомов растворенного вещества.

Вопрос 4, ответ 2. Ответ правильный. В этом случае физические и химические свойства элементов близки.

Вопрос 6, ответ 3. Ответ неправильный. Растворы внедрения никогда не могут иметь неограниченную растворимость.

Вопрос 7, ответ 2. Ответ неправильный, см. часть первая, стр. 7-9.

Вопрос 8, ответ 3. Ответ неправильный. Формула такого соединения была бы  $\text{Na}_2\text{Cl}_3$ .

Вопрос 9, ответ 1. Ответ неправильный. Прочитайте еще раз о строении кристаллов этих фаз.

Вопрос 11, ответ 3. Ответ правильный.

Вопрос 12, ответ 1. Ответ неправильный. Вспомните, что является характерным в строении кристаллов этих фаз.

Вопрос 13, ответ 3. Ответ неправильный. Подсчитайте, сколько атомов золота и меди приходится на одну элементарную ячейку.

Вопрос 14, ответ 1. Ответ правильный. Атомов золота на одну элементарную ячейку из вершин  $8 \cdot 1/8 = 1$  и из двух граней  $2 \cdot 1/2 = 1$ , всего 2, атомов меди  $4 \cdot 1/2 = 2$ .

Вопрос 15, ответ 3. Ответ неправильный. Свойства упорядоченного твердого раствора, как и химического соединения, являются специфическими.

Вопрос 2, ответ 3. Ответ неправильный. Учтите, что размеры пор в решетке растворителя меньше, чем размеры атомов растворенного вещества.

Вопрос 3, ответ 2. Ответ правильный.

Вопрос 4, ответ 1. Ответ неправильный. В этом случае свойства сильно различаются, и элементы склонны к образованию химических соединений.

Вопрос 5, ответ 2. Ответ правильный. Не соблюдено первое условие, необходимое для образования неограниченных твердых растворов.

Вопрос 6, ответ 1. Ответ неправильный. Углерод в состоянии размещаться в порах решетки железа, кроме того свойства углерода и железа сильно различны (IV и V группы в периодической системе), Fe и C имеют различные типы кристаллических решеток.

Вопрос 7, ответ 3. Ответ неправильный. См. часть I, стр. 7-9.

Вопрос 8, ответ 2. Ответ неправильный. Химическое соединение должно было бы иметь формулу  $NaCl_5$ .

Вопрос 12, ответ 2. Ответ правильный. В обычных твердых растворах тип решетки одного из компонентов сплава; в химическом соединении новый тип решетки.

Вопрос 13, ответ 2. Ответ правильный. В элементарной ячейке  $8 \cdot 1/8 = 1$  атом золота и  $6 \cdot 1/2 = 3$  атома меди.

Вопрос 14, ответ 2. Ответ неправильный. См. часть I, стр. 14-17.

Вопрос 15, ответ 2. Ответ неправильный. Состав можно выразить формулой.

Вопрос 16, ответ 3. Ответ правильный.

Вопрос 18, ответ 2. Ответ неправильный. Проверьте, выполнены ли все три условия, чтобы каждый кристаллит считать новой фазой.

Вопрос 1, ответ 2. Ответ правильный. Под микроскопом как чистый металл, так и твердый раствор кажутся состоящими из однородных кристаллов.

Вопрос 2, ответ I. Ответ правильный. Атомы растворенного вещества больше размеров пор в кристаллической решетке растворителя, поэтому кристаллическая решетка твердого раствора имеет большие значения параметров, чем параметры решетки чистого растворителя.

Вопрос 3, ответ I. Ответ неправильный. Подумайте, как может осуществляться плавно переход одного вещества в другое, если типы кристаллических решеток разные?

Вопрос 4, ответ 3. Ответ неправильный. Если элементы в отдаленных группах, то их физические и химические свойства сильно отличаются и в этом случае неограниченные растворы не образуются.

Вопрос 5, ответ I. Ответ неправильный. Прочитайте еще раз условия, необходимые для образования твердых растворов.

Вопрос 6, ответ 4. Ответ правильный.

Вопрос 7, ответ 4. Ответ неправильный. См. часть I, стр. I-9.

Вопрос 8, ответ I. Ответ правильный. На I атом  $Cl$  приходится I атом  $Na$ .

Вопрос 9, ответ 3. Ответ неправильный. Прочитайте внимательно вопрос.

Вопрос 10, ответ I. Ответ правильный. Всегда можно добиться при травлении шлифа различной окраски различных составляющих структуры.

Вопрос II, ответ 2. Ответ неправильный. В механическую смесь входят и кристаллы компонента А.

Вопрос 6, ответ 2. Ответ неправильный. Ввиду малого размера атомов углерода они могут поместиться в порах решетки железа.

Вопрос 7, ответ I. Ответ правильный. В этом случае металл отдает свои валентные электроны неметаллу. Атом металла превращается в положительно заряженный ион, неметалла -

- в отрицательно заряженный ион. Между ними возникает сила электростатического притяжения, что характерно для ионного типа связи.

Вопрос 9, ответ 2. Ответ правильный. В твердом растворе тип решетки растворителя, в химическом соединении новый тип решетки.

Вопрос 10, ответ 2. Ответ неправильный.

Вопрос 11, ответ 1. Ответ неправильный. В механическую смесь входят и кристаллы компонента B.

Вопрос 12, ответ 3. Ответ неправильный.

Вопрос 13, ответ 1. Ответ неправильный. Подсчитайте, сколько атомов золота и меди приходится на одну элементарную ячейку.

Вопрос 14, ответ 3. Ответ неправильный. См. часть I, стр. 14-17.

Вопрос 15, ответ 1. Ответ правильный.

Вопрос 16, ответ 2. Ответ неправильный. Посмотрите еще раз, что называется электронной концентрацией.

Вопрос 17, ответ 2. Ответ правильный.

Вопрос 18, ответ 1. Ответ правильный. Хотя поликристаллическая медь и состоит из множества кристаллов, свойства каждого из них одинаковы.

Вопрос 16, ответ 1. Ответ неправильный. Электронная концентрация-это отношение числа валентных электронов к числу атомов в соединении.

Вопрос 17, ответ 1. Ответ неправильный. Проверьте, отвечают ли лед и вода трем требованиям, чтобы их считать различными фазами.

Вопрос 19, ответ 1. Ответ правильный. Ни форма, ни размеры частей системы не являются признаком, чтобы за этот счет считать их самостоятельными фазами.

Вопрос 21, ответ 3. Ответ неправильный. Ведь в уравнение  $C = k - \phi + 1$  входит число фаз.

Вопрос 22, ответ 3. Ответ правильный при  $\phi = 3$ ,  $C = 0$ , т.е. 3- предельное количество фаз в двойном сплаве, которые должны сосуществовать при строго постоянных условиях ( $t^\circ$ , концентрация).

Вопрос 23, ответ 4. Ответ правильный.

Вопрос 25, ответ 2. Ответ правильный. Необходимы два измерения: для температуры и концентрации сплава.

Вопрос 27, ответ 3. Ответ правильный. Так как при кристаллизации выделяется скрытая теплота кристаллизации, то скорость охлаждения должна уменьшаться.

Вопрос 30, ответ 1. Ответ неправильный. В процессе кристаллизации сплава имеем одну степень свободы, если мы изменяем произвольно одну переменную (температуру) то другая переменная (концентрация) должна зависеть от значения независимой переменной, т.е. измениться.

Вопрос 19, ответ 3. Ответ неправильный. Прочитайте внимательно, что такое фаза. Является ли форма и размер частей системы признаком, по которому можно их отнести к отдельным фазам?

Вопрос 20, ответ 2. Ответ неправильный. Прочитайте еще раз предшествующий вопросу материал.

Вопрос 21, ответ 2. Ответ неправильный. Подставьте различные значения  $\phi$  в формулу  $C = k - \phi + 1$  и посмотрите, как изменяется  $C$ .

Вопрос 23, ответ 3. Ответ неправильный. В этом случае  $C = 1$ .

Вопрос 25, ответ 3. Ответ неправильный. Независимых переменных два - температура и концентрация одного из компонентов.

Вопрос 27, ответ 2. Ответ неправильный. Посмотрите часть I, стр. 19 - 21.

Вопрос 29, ответ 3. Ответ правильный.

Вопрос 31, ответ 2. Ответ неправильный. Кристаллы сплава  $\alpha'$  начинают плавиться при температуре  $t_4$  (фиг. 8).

Вопрос 33, ответ 3. Ответ правильный.

Вопрос 34, ответ 3. Ответ неправильный. Это состав жидкой фазы при температуре  $t_2$ .

Вопрос 38, ответ 3. Ответ неправильный. При комнатной температуре диффузионные процессы, необходимые для выравнивания состава, протекают настолько медленно, что устранение неоднородности состава исключается.

Вопрос 39, ответ 2. Ответ правильный. Большая концентрационная неоднородность у этих сплавов требует проведения диффузионного отжига.

Вопрос 19, ответ 2. Ответ неправильный. Посмотрите внимательно, что такое фаза.

Вопрос 20, ответ 1. Ответ неправильный. Если уравнений, например, -2, а неизвестных -3, то как найти, сколько неизвестным можно задавать произвольные значения?

Вопрос 22, ответ 1. Ответ неправильный. Очевидно при  $\phi_{\text{тих}} C$  должно равняться 0.

Вопрос 24, ответ 1. Ответ неправильный. Подсчитайте, чему равняется число степеней свободы при кристаллизации чистого вещества.

Вопрос 26, ответ 2. Ответ правильный.

Вопрос 28, ответ 2. Ответ правильный.

Вопрос 33, ответ 1. Ответ неправильный. Точке  $\alpha'$  соответствовал состав жидкости до кристаллизации.

Вопрос 35, ответ 2. Ответ правильный. Для сплава  $\alpha$  концентрационная неоднородность (ликвация), если вообще не было бы диффузии, выразилась бы в  $\sim 20\%$ . Для сплава  $\delta \sim 35\%$ . Естественно, что после охлаждения сплава  $\alpha$  диффузия в более полной мере выровнила состав разных кристаллов, чем в сплаве  $\delta$ .

Вопрос 36, ответ I. Ответ неправильный. При образовании кристалла образуются в начале центры кристаллов, которые затем по мере понижения температуры обрастают новыми порциями вещества. Исходя из фиг. 8 посмотрите состав кристалла, образовавшегося при высоких и более низких температурах.

Вопрос 38, ответ I. Ответ правильный. Для устранения неоднородности состава нужно создать условия, ускоряющие диффузионные процессы. Это достигается нагревом до высоких температур, до так называемого отжига.

Вопрос 20, ответ 3. Ответ правильный.

Вопрос 21, ответ I. Ответ правильный.

Вопрос 22, ответ 2. Ответ неправильный. При  $\phi = 2$ , число степеней свободы  $S = I$ , а не 0.

Вопрос 22, ответ 4. Ответ неправильный при  $\phi = 4$ ,  $S = 2 - 4 + I = -1$ , это - бессмыслица.

Вопрос 23, ответ 2. Ответ неправильный. При этом число степеней свободы должно быть равно 2.

Вопрос 25, ответ I. Ответ неправильный. Сколько независимых переменных характеризуют двойной сплав?

Вопрос 27, ответ I. Ответ неправильный. Посмотрите еще раз, на чем основан термический метод построения диаграмм состояния.

Вопрос 29, ответ 2. Ответ неправильный.  $\alpha$  фаза устойчива ниже линии солидус.

Вопрос 31, ответ 2. Ответ правильный. Плавиться при температуре  $t'$  начинают кристаллы, состав которых находится при этой температуре на линии солидус (линия, характеризующая конец кристаллизации при охлаждении и начало расплавления при нагреве).

Вопрос 33, ответ 2. Ответ неправильный. Точке  $d$  соответствует состав кристаллов при температуре  $K$  данного сплава.

Вопрос 35, ответ I. Ответ неправильный. Посмотрите, для какого из сплавов изменения концентрации кристаллов в начале и в конце кристаллизации больше.

Вопрос 37, ответ 2. Ответ неправильный. Кристаллизация начинается с корковых зон слитка.

Вопрос 23, ответ I. Ответ неправильный. При этом число степеней свободы должно быть равно I.

Вопрос 24, ответ 2. Ответ правильный. При кристаллизации однокомпонентной системы имеем  $\phi = 2$ ,  $K = I$  и  $C = I - 2 + I = 0$ . Значит, температура кристаллизации должна быть постоянной.

Вопрос 26, ответ 3. Ответ неправильный.  $A = 0$  в точке В фиг. 5.

Вопрос 28, ответ I. Ответ неправильный. В этом случае процесс охлаждения протекал бы ускоренно.

Вопрос 30, ответ 2. Ответ правильный.

Вопрос 32, ответ 2. Ответ правильный. В самом деле, если из жидкой фазы, соответствующей в момент кристаллизации составу рассматриваемого сплава выпадает все время изменяющаяся по составу твердая фаза, то состав жидкости при кристаллизации также должен непрерывно изменяться.

Вопрос 34, ответ 2. Ответ неправильный. Таков состав кристаллов, выпавших при температуре  $t_1$ , когда диффузионные процессы не произошли совершенно.

Вопрос 36, ответ 2. Ответ правильный. Пусть для какого-то кристалла были условия роста во всем интервале температур кристаллизации от 1 до 2 (см. фиг. 8). Очевидно, центральная часть равноосного кристалла или оси первого порядка дендрита богаты высокотемпературным компонентом (состав

близкий  $\beta'$ ). При более низких температурах образовавшиеся наружные зоны кристаллов (или оси 2,3 и т.д. порядков) более бедны высокотемпературным компонентом.

Вопрос 26, ответ I. Ответ неправильный. Концентрация компонента А отсчитывается от точки В к А.

Вопрос 32, ответ I. Ответ неправильный. Если меняется состав кристаллов, то состав жидкой фазы не может сохраняться прежним.

Вопрос 34, ответ I. Ответ правильный. Если диффузионные процессы выравнивали состав кристаллов, образовавшихся при различных температурах, то после охлаждения все кристаллы должны иметь состав, соответствующий составу исходного сплава, т.е. а.

Вопрос 37, ответ I. Ответ правильный. Кристаллизация слитка начинается с образования корки, которая образуется при повышенных температурах кристаллизации. Поэтому корковая зона богата высокотемпературным компонентом. Средние зоны образуются при более низких температурах и поэтому бедны высокотемпературным компонентом.

Вопрос 38, ответ 2. Ответ неправильный. Чем ниже температура, тем хуже протекает диффузия, необходимая для выравнивания состава.

Вопрос 39, ответ I. Ответ неправильный. Неоднородность состава в этих сплавах сравнительно мала, и можно ожидать, что она устранится за счет тепла самой отливки. Поэтому диффузионный отжиг для подобных сплавов ненужен.

Вопрос 40, ответ 3. Ответ неправильный. Посмотрите материал на стр. 25, как определяется концентрация фаз.

Вопрос 43, ответ I. Ответ неправильный. Твердые фазы существуют ниже линии солидус.

Вопрос 44, ответ 3. Ответ неправильный. Это состав жидкой фазы. Посмотрите материал на стр. 22-25.

Вопрос 46, ответ 2. Ответ неправильный. Вспомните, какова природа линии ликвидус и солидус на диаграммах.

Вопрос 49, ответ 2. Ответ неправильный. СЕ и ЕД — линии ликвидус в сплавах.

Вопрос 50, ответ 3. Ответ неправильный. Чтобы  $C=0$ , нужно, чтобы  $\phi=3$ , чего в этой области нет.

Вопрос 51, ответ 3. Ответ правильный. При  $t_2$  могут существовать 3 фазы:  $\alpha$ , L и  $\beta$ .

Вопрос 53, ответ I. Ответ неправильный. Жидкость и  $\alpha$ -фаза находятся в области СВЕ, причем кристаллизующейся фазой является жидкость.

Вопрос 55, ответ 2. Ответ правильный. Нами при разборе сплава IV было установлено, что в области КРНН могут существовать лишь  $\alpha$  и  $\beta$  фазы. Причем  $\beta$ , высококонцентрационная относительно В компонента фаза, выделяясь из раствора, в состоянии поглотить избыток атомов В в составе сплава.

Вопрос 57, ответ I. Ответ неправильный. Термин "первичный", "вторичный" характеризует лишь условия образования фазы.

Вопрос 59, ответ 3. Ответ неправильный. В области СВЕ  $\beta$  фазы нет.

Вопрос 4I, ответ . Количество жидкой фазы в точке к  $L_k = \frac{k\alpha}{\alpha\alpha}$ , в точке n  $L_n = \frac{n\beta}{m\beta}$ . Количество твердой фазы в точке к  $\alpha_k = \frac{ek}{\alpha\alpha}$ , в точке n  $\alpha_n = \frac{np}{m\beta}$ .

Вопрос 42, ответ I. Ответ неправильный. Посмотрите материал на стр. 22.

Вопрос 45, ответ 2. Ответ неправильный. Посмотрите материал на стр. 28-30.

Вопрос 48, ответ  $\alpha$  - кристаллы при температуре  $t_1$ , имеют состав, определяемый проекцией точки e на концентрационную ось.  $\beta$  - точки p на эту же ось.

Вопрос 50, ответ I. Ответ правильный.  $C = K - \Phi + I$ ,  
 $K = 2$ ,  $\Phi = 2$ ,  $C = I$ .

Вопрос 52, ответ I. Ответ неправильный. Вы не знаете правила фаз. Посмотрите материал на стр. 14-18.

Вопрос 54, ответ 2. Ответ неправильный. Прочитайте материал на стр. 33.

Вопрос 56, ответ 3. Ответ неправильный. Прочитайте материал на стр. 24-25.

Вопрос 59, ответ I. Ответ правильный.

Вопрос 61, ответ 2. Ответ правильный. При постоянной температуре кристаллизуется большое количество жидкой фазы и поэтому на кривой охлаждения должна образоваться площадка за счет выделения большого количества скрытой теплоты кристаллизации.

Вопрос 40, ответ I. Ответ правильный.

Вопрос 43, ответ 2. Ответ неправильный. Жидкая фаза существует выше линии ликвидус.

Вопрос 45, ответ I. Ответ правильный.

Вопрос 47, ответ I. Ответ неправильный. Рассмотрите состав фаз сплава У1 при разных температурах между точками  $A_6$  и  $L_6$ . Посмотрите материал на стр. 23-25.

Вопрос 50, ответ 2. Ответ неправильный. Посмотрите материал на стр. 14-18.

Вопрос 52, ответ 3. Ответ правильный. Действительно при  $t_2$  имеем 2 компонента и три фазы  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $L$ , откуда  $C = 2 - 3 + I = 0$ . Это означает, что кристаллизация эвтектики должна происходить при постоянной температуре и постоянном составе фаз.

Вопрос 54, ответ 3. Ответ неправильный. Посмотрите стр. 33.

Вопрос 56, ответ I. Ответ неправильный. Область KFHN-двухфазная, и в ней определение состава фаз  $\alpha$  и  $\beta$  происходит по правилу, приведенному на стр. 25.

Вопрос 58, ответ I. Ответ неправильный. Посмотрите материал на стр. 28-30, как определяется количество фаз.

Вопрос 60, ответ I. Ответ неправильный. Посмотрите материал на стр. 24-25.

Вопрос 62, ответ I. Ответ неправильный. Кроме  $\alpha$  кристаллов будет структурная составляющая, образовавшаяся при температуре  $2_3$ .

Вопрос 63, ответ 3. Ответ неправильный. Это состав жидкой фазы при температуре  $2_3$ .

Вопрос 40, ответ 2. Ответ неправильный. Посмотрите материал на стр. 25, как определяется концентрация фаз.

Вопрос 42, ответ 3. Ответ неправильный. Эти фазы имеют место между линиями ликвидус и солидус.

Вопрос 43, ответ 3. Ответ правильный.

Вопрос 44, ответ 2. Ответ правильный.

Вопрос 45, ответ 3. Ответ неправильный. Посмотрите материал на стр. 28-30.

Вопрос 47, ответ 2. Ответ правильный. Состав твердой фазы меняется по линии DN диаграммы.

Вопрос 49, ответ 3. Ответ правильный.

Вопрос 51, ответ 2. Ответ неправильный. Во-первых, состав  $\alpha$  и  $\beta$  кристаллов определен неправильно, во-вторых, кроме  $\alpha$  и  $\beta$  кристаллов при  $t_2$  могут быть и другие фазы.

Вопрос 52, ответ 2. Ответ неправильный. Посмотрите, сколько фаз и компонентов при  $t_2$  и используйте формулу  $C = K - F + I$ .

Вопрос 54, ответ I. Ответ правильный.

Вопрос 56, ответ 2. Ответ правильный. Нужно через интeресующуюся точку провести коноду, и точки пересечения ее с линиями диаграмм, спроектированные на концентрационную ось, дадут нам состав фаз.

Вопрос 58, ответ 2. Ответ правильный.

Вопрос 61, ответ 1. Ответ неправильный. Сравните количество жидкости, которое кристаллизуется у сплава I при температуре  $2$  и сплава III при температуре  $2_3$ .

Вопрос 63, ответ 1. Ответ неправильный. Посмотрите материал на стр. 24-25.

Вопрос 42, ответ 2. Ответ правильный.

Вопрос 44, ответ 1. Ответ неправильный. Посмотрите на стр. 22-25, как определяется концентрация фаз.

Вопрос 46, ответ 1. Ответ правильный.

Вопрос 49, ответ 1. Ответ неправильный. По линии DE изменяется состав жидкой фазы, т.к. это линия ликвидус.

Вопрос 51, ответ 1. Ответ не охватывает все фазы, которые могут быть при этой температуре в равновесии.

Вопрос 53, ответ 3,4. Ответ неправильный. В области CEF нет  $\beta$  кристаллов.

Вопрос 55, ответ 3. Ответ неправильный.  $\alpha$  фаза уже существует, так что выделяться она не может.

Вопрос 57, ответ 2. Ответ правильный. Никакой разницы в физической природе первичных и вторичных кристаллов нет.

Вопрос 59, ответ 2. Ответ неправильный. Жидкая фаза кристаллизуется, а не выкристаллизовывается.

Вопрос 60, ответ 2. Ответ правильный.

Вопрос 62, ответ 2. Ответ неправильный. Фазовый состав сплава действительно  $\alpha$  и  $\beta$ , но структура иная. Посмотрите, что происходит при температурах  $1_3-2_3$  и при  $2_3$  у этого сплава.

Вопрос 63, ответ 2. Ответ правильный.

Вопрос 64, ответ При температурах  $1_5 - 2_5$  из жидкости выделяются  $\beta$  кристаллы, состав которых изменяется по линии  $DH$  (фиг.10), состав жидкости - по линии  $DE$ . При температуре  $2_5$  состав жидкости соответствует  $E'$ , а количество  $\frac{2_5H}{EH}$ . Эта жидкость кристаллизуется в эвтектику  $\varepsilon(\alpha + \beta)$ . После кристаллизации структура сплава состоит из  $\beta + \varepsilon(\alpha + \beta)$ , которая сохранится до комнатной температуры, т.к.  $\alpha$  кристаллов не выделяется (HH-вертикальная линия).

Вопрос 53, ответ 2. Ответ правильный. Уже при разборе сплава I мы установили, что в поле  $SEF$  твердой фазой являются  $\alpha$  кристаллы.

Вопрос 55, ответ I. Ответ неправильный. Посмотрите по диаграмме, какие фазы могут существовать в области  $KFHN$ .

Вопрос 56, ответ 4. Ответ неправильный. Так определяется количество, а не состав (концентрация) фаз.

Вопрос 58, ответ 3. Ответ неправильный. Так определяется количество  $\alpha$  кристаллов.

Вопрос 60, ответ 3. Ответ неправильный. Так определяется количество, а не состав фаз.

Вопрос 62, ответ 3. Ответ правильный. При температурах  $1-2_3$  образовались первичные кристаллы  $\alpha$ , при температуре  $2_3$  - эвтектика  $\varepsilon(\alpha + \beta)$ .

Вопрос 65, ответ I. Ответ неправильный. Если допустить, что подобная диаграмма существует, то это значило бы, что при  $t_1$  существуют L фаза состава точки E и  $\alpha$  фаза этого же состава. Естественно, что одна и та же фаза при одинаковых условиях в разных агрегатных состояниях существовать не может.

Вопрос 67, ответ I. Ответ неправильный. Сплав I не пересекает линию  $DE$ .

Вопрос 68, ответ 4. Ответ неправильный. Результат получается больше I, что бессмысленно, так как все количество сплава принимается равным I. См. стр. 28-30.

Вопрос 69, ответ 3. Ответ неправильный. Состав жидкой фазы ввиду выделившихся кристаллов A в интервале температур 1-2 не мог оставаться равным исходному составу сплава.

Вопрос 65, ответ 4. Ответ правильный. При таком ходе линии сплав эвтектического состава  $L_E \rightarrow \alpha + \beta$ . Это происходит при постоянной температуре, и образующиеся фазы имеют определенный состав, что и требуется по правилу фаз, так как число степеней свободы системы при эвтектическом превращении равно нулю.

Вопрос 68, ответ 3. Ответ правильный.

Вопрос 70, ответ 1,2. Ответ неправильный. Жидкая фаза состава E не может перейти в кристаллы компонента A или B.

Вопрос 75, ответ 1. Ответ неправильный. Жидкая фаза при температуре  $t_1$ , имеет состав  $D'$ ,  $\alpha$  кристаллы - состав  $G'$ , следовательно жидкость не могла превратиться в  $\alpha$  кристаллы.

Вопрос 76, ответ 1. Ответ неправильный. Используйте правило фаз для определения числа степеней свободы, стр. 16-18.

Вопрос 78, ответ 1. Ответ неправильный. В области MNOR могут существовать только две фазы, одной из которых является жидкая фаза L, другой должен быть твердый раствор. Если предположить, что это твердый раствор  $\alpha$ , то нельзя обосновать образование  $\beta$  фазы правее точки O. Если же предположить, что это твердый раствор  $\beta$ , то нельзя обосновать образование  $\alpha$  фазы левее точки  $\mu$ . Поэтому подобная диаграмма не может соответствовать действительности.

Вопрос 80, ответ I. Ответ неправильный. Это кривая охлаждения при образовании твердых растворов; кроме того кристаллы химического соединения могут образоваться, когда состав сплава соответствует  $A_m B_n$

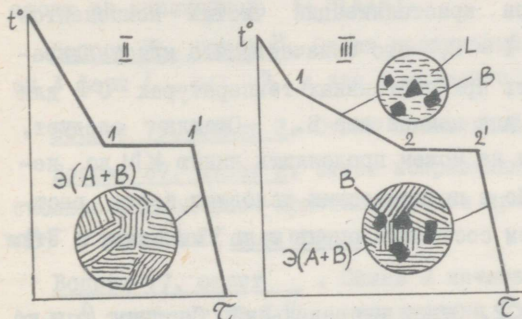
Вопрос 66, ответ I. Ответ правильный.

Вопрос 68, ответ 2. Ответ неправильный. Так определяется количество твердой фазы.

Вопрос 70, ответ 3. Ответ правильный.

Вопрос 72, ответ . Кривые охлаждения сплава II и III.

Структура сплава II  $\exists(A+B)$  структура сплава III  $B+\exists(A+B)$ .



Вопрос 71, ответ 3. Ответ неправильный. Это кривая охлаждения сплава, образующего при кристаллизации твердый раствор. Неверны и структуры  $\alpha$  и  $\beta$ —это твердые растворы. В нашем случае растворимости в твердом состоянии нет.

Вопрос 74, ответ 3. Ответ правильный. При температуре 2 имеем фазы L, A, B, тогда  $C = 2 - 3 + 1 = 0$ .

Вопрос 75, ответ 3. Ответ правильный.  $\alpha$  кристаллы, имеющие промежуточный состав между L и  $\beta$  фазами, могли образоваться только в результате взаимодействия L и  $\beta$ .

Вопрос 78, ответ 4. Ответ правильный. Подобная диаграмма возможна. Во всех частях ее применимо правило фаз,

Вопрос 80, ответ 3. Ответ неправильный. Кривая охлаждения нарисована правильно, но структура не соответствует действительности. Посмотрите, какая фаза выделяется в интервале температур I-2.

Вопрос 66, ответ 2. Ответ неправильный.

Вопрос 68, ответ I. Ответ неправильный. Проекция точки E характеризует состав жидкой фазы, а не ее количество; посмотрите материал на стр. 24-25, 28-30.

Вопрос 71, ответ I. Ответ неправильный. Кристаллизация началась уже при температуре I. Неправильно определена и структура сплава.

Вопрос 73, ответ . Если бы линия KN пересекала температурные оси, то это означало бы, что компоненты A и B кристаллизовались в интервале температур SK и DN соответственно. Но при кристаллизации чистых компонентов имеем  $C = I - 2 + I = 0$ , что означает, что кристаллизация должна протекать при постоянных температурах C для компонента A и D для компонента B. Отсюда следует, что теоретически мы не можем продолжить линию KN до пересечения с осью. Но в практических условиях, когда растворимость в твердом состоянии очень мала, мы можем с этим не считаться.

Вопрос 75, ответ 2. Ответ неправильный. Составы  $\beta$  и  $\alpha$  кристаллов разные, поэтому  $\beta$  не может превратиться в  $\alpha$  кристаллы.

Вопрос 78, ответ 3. Ответ неправильный. При температуре  $\kappa_1$  должны иметь один и тот же состав K как  $\alpha$  кристаллы, так и жидкая фаза, что невозможно.

Вопрос 80, ответ 4. Ответ правильный.

Вопрос 65, ответ 3. Ответ неправильный. Если рассмотреть сплав I, то при  $\kappa_1$  у него могут существовать в равновесии 4 фазы  $\alpha$ , B и жидкости состава  $E_1$  и  $E_2$ . В этом случае  $C = K - \Phi + I = 2 - 4 + I = -I$ , что бессмысленно.

Вопрос 67, ответ 2. Ответ правильный.

Вопрос 74, ответ I. Ответ неправильный.

Вопрос 71, ответ 2. Ответ правильный. При температуре I начинается кристаллизация. Так как количество кристаллов A увеличивается от точки I до 2 постепенно, то и скрытая теплота кристаллизации выделяется постепенно, и кривая охлаждения идет более полого. При эвтектическом превращении сразу кристаллизуется много жидкой фазы ( $\frac{K2}{KE}$ ) в силу чего выделяется сразу много скрытой теплоты кристаллизации, на кривой охлаждения образуется площадка. При температурах I-2 выделялись кристаллы A, при температуре 2 образовалась эвтектика, поэтому структура сплава состоит из кристаллов A + Э(A+B).

Вопрос 76, ответ 2. Ответ правильный. Действительно имеем 3 фазы L,  $\alpha$ ,  $\beta$  и два компонента A и B,  $C = 2 - 3 + 1 = 0$ .

Вопрос 79, ответ 2. Ответ правильный.

Вопрос 87, ответ 2. Ответ неправильный. Определите, сколько жидкой фазы кристаллизуется при температуре линии DF у сплава IV и у сплава V.

Вопрос 77, ответ . Сплав III начинает кристаллизоваться при температуре I'' выделением  $\beta$  кристаллов. Состав жидкой фазы при температуре 2''' будет D',  $\beta$  кристаллов F', т.е. опять соответствующий составу фаз при перитектическом превращении. Количество  $\beta$  кристаллов =  $\frac{DG}{DF}$ , а жидкой фазы -  $\frac{GF}{DF}$ . По сравнению с количеством фаз, необходимым для образования только  $\alpha$  фазы при перитектическом превращении, имеем избыток  $\beta$  и недостаток жидкой фазы. При перитектическом превращении часть  $\beta$  фазы прореагирует с жидкостью и образует  $\alpha$  фазу ( $L_D + \beta_F \rightarrow \alpha$ ). Неиспользованная  $\beta$  фаза окажется дополнительной фазой при температуре ниже D', и область JGFH есть область  $\alpha + \beta$  фаз.

Вопрос 78, ответ 2. Ответ неправильный, при температуре  $t_1$  по этой диаграмме должны находиться в равновесии фазы L состава K,  $\alpha$  состава M,  $\alpha$ -состава N и  $\beta$  состава R, т.е. 4 фазы. Это означает, что число степеней свободы при  $t_1$ ,  $C = 2 - 4 + 1 = -1$ , что бессмысленно.

Вопрос 80, ответ 2. Ответ неправильный. Так охлаждается эвтектический сплав.

Вопрос 87, ответ I. Ответ правильный. У сплава IV кристаллизуется в точке G больше жидкой фазы ( $\frac{CF}{DF}$ ), чем у сплава V ( $\frac{OF}{DF}$ ).

Вопрос 65, ответ 2. Ответ неправильный. Если рассматривать сплав состава E, который при кристаллизации должен превратиться в смесь двух твердых фаз  $\alpha$  и  $\beta$ , то при температуре  $t_2$  имеем три фазы, каждая из которых должна иметь определенный состав, так как при превращении  $L \rightarrow \alpha + \beta$  число степеней свободы системы равно 0. Если же рассмотреть сплав I или III, то по этой диаграмме они при температуре  $t_2$  имеют двухфазное состояние (сплав I  $\alpha + L$ , сплав III  $\beta + \alpha$ ), что не согласуется с состоянием сплава I, состоящим при  $t_2$  из фаз  $L + \alpha + \beta$ . Очевидно линия эвтектического превращения должна быть горизонтальна.

Вопрос 67, ответ 3. Ответ неправильный. Так как при кристаллизации в интервале температур I-2 выделяется из жидкой фазы компонент A, то состав жидкой фазы не может оставаться неизменным.

Вопрос 69, ответ I. Ответ неправильный. Состав жидкой фазы изменяется по линии ликвидус, см. стр. 24-25.

Вопрос 74, ответ I. Ответ неправильный.

Вопрос 76, ответ 3. Ответ неправильный. Подсчитайте C по формуле  $C = K - \phi + I$ .

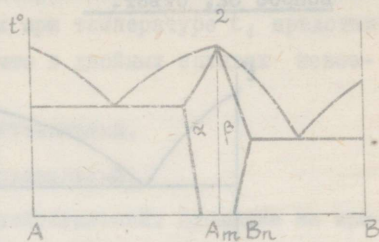
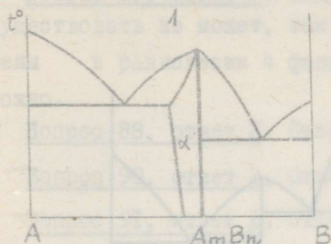
Вопрос 79, ответ I. Ответ неправильный. См. материал на стр. 8-9.

Вопрос 84, ответ 4. Ответ неправильный. Прочитайте материал на стр. 28-30.

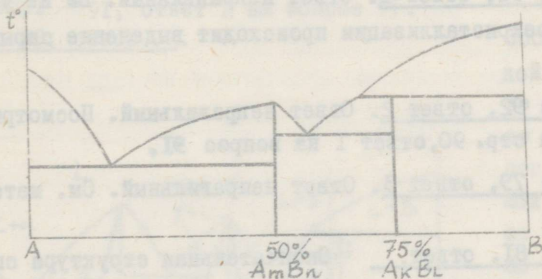
Вопрос 85, ответ I. Ответ правильный.

Вопрос 84, ответ I. Ответ неправильный. Вы забыли принцип определения количества фаз, посмотрите материал на стр. 28-30.

Вопрос 83, ответ .



Вопрос 86, ответ



Вопрос 90, ответ 3. Ответ неправильный. Прочитайте материал ч. I стр. 40-44.

Вопрос 92, ответ 1. Ответ правильный.

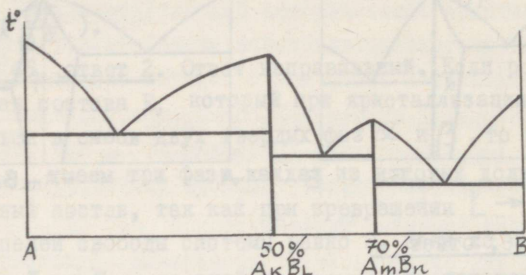
Вопрос 84, ответ 3. Ответ неправильный. Прочитайте внимательно вопрос.

Вопрос 85, ответ 2. Ответ неправильный. По данной диаграмме имеем растворимость компонента А и В в химическом соединении  $A_m B_n$ .

Вопрос 88, ответ 1. Ответ неправильный. При температуре  $G_H$  у сплава  $I_V$  нет жидкой фазы, т.к. кристаллизация жидкости закончилась в точке С.

Вопрос 79, ответ 4. Ответ неправильный. См. материал на стр. 8-9.

Вопрос 82, ответ.



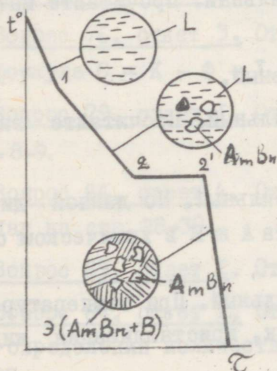
Вопрос 91, ответ 1. Ответ неправильный. Вы не учли, что и при перекристаллизации происходит выделение скрытой теплоты.

Вопрос 92, ответ 2. Ответ неправильный. Посмотрите материал на стр. 90, ответ 1 на вопрос 91.

Вопрос 79, ответ 3. Ответ неправильный. См. материал на стр. 8-9.

Вопрос 81, ответ.  
Кривая охлаждения.

Окончательная структура сплава  $A_mB_n + \exists (A_mB_n + B)$ . Количество эвтектики определяется:  $\frac{2 \cdot F}{EF}$ .



Вопрос 84, ответ 2. Ответ правильный.

Вопрос 85, ответ 3. Ответ неправильный. Такая диаграмма существовать не может, так как при температуре  $t_1$  представлены в равновесии 4 фазы, что в двойных сплавах невозможно.

Вопрос 88, ответ 2. Ответ правильный.

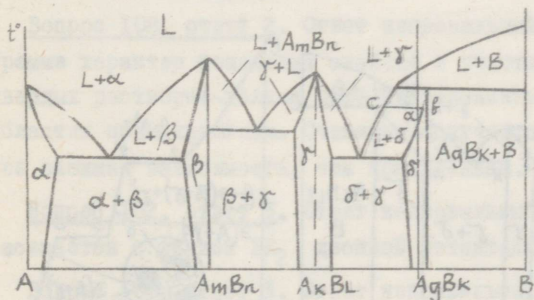
Вопрос 90, ответ 2. Ответ правильный.

Вопрос 91, ответ 2. Ответ неправильный. Площадки на кривых охлаждения могут иметь место только тогда, когда одновременно кристаллизуется значительное количество жидкой фазы, чего у этих сплавов нет.

Вопрос 92, ответ 3. Ответ неправильный. Посмотрите материал на стр. 91, ответ 2 на вопрос 91.

Вопрос 89, ответ \_\_\_\_\_.

Состав твердой фазы  $\delta$ , ее количество  $-\frac{\alpha C}{\beta C}$ , состав жидкой фазы  $C$ , ее количество  $-\frac{\alpha \beta}{\beta C}$ .  
 $C = K - \Phi + I = 2 - 2 + I = I$ .

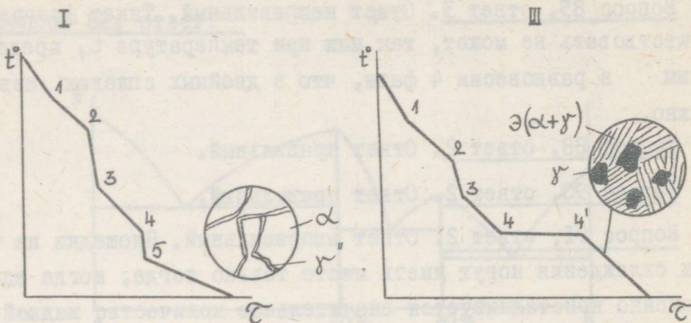


Вопрос 90, ответ I. Ответ неправильный. Смотрите ч. I, стр. 40-44.

Вопрос 91, ответ 3. Ответ правильный.

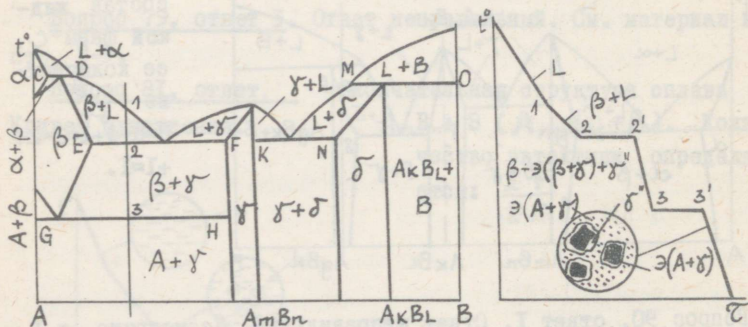
Вопрос 95, ответ 4. Ответ правильный. При максимальном количестве сосуществующих фаз  $C = 0$ , что имеем при  $\phi = 4$  ( $C = 3 - 4 + I = 0$ ).

Кривые охлаждения сплавов



Число степеней свободы в точках: а -  $C = 2 - 2 + I = I$ ;  
 б -  $C = 2 - 2 + I = I$ ;  
 в -  $C = 2 - 3 + I = 0$ .

Разбор диаграммы, приведенной на стр. 56.



при CD и MO - перитектические превращения,  
 при EF и NK - эвтектические превращения,  
 при GH - эвтектоидное превращение.

Вопрос 96, ответ 1. Ответ неправильный. Возьмите несколько точек на линии КН и определите состав сплавов в этих точках, прочитайте еще раз, как определяется концентрация тройных сплавов.

Вопрос 98, ответ 2. Ответ неправильный. Прочитайте внимательно, как определяется концентрация тройных сплавов.

Вопрос 101, ответ 2. Ответ правильный.

Вопрос 105, ответ 1. Ответ неправильный. Сплавы в интервале концентрации между точками 1 и 2, а также 2 и 3 должны иметь три критические точки, (см. материал на стр.65-66), чего нет на сечении.

Вопрос 108, ответ 1. Ответ неправильный. Посмотрите фиг.28.

Вопрос 101, ответ 3. Ответ неправильный. Двойная эвтектика А + С **выпала бы**, если продолжение отрезка  $C_n$  пересекалось бы с линией  $E_3E$ .

Вопрос 105, ответ 2. Ответ правильный.

Вопрос 108, ответ 2. Ответ неправильный. При такой диаграмме характер изменения свойств в участках однофазных твердых растворов должен быть криволинейным, в двухфазных областях прямолинейным. Очевидно получается значительно более сложная зависимость, чем приведенная.

Вопрос 102, ответ 3. Ответ неправильный. Линия ВК не пересекается с линией  $EE_2$  двойной эвтектики В+С.

Вопрос 105, ответ 3. Ответ неправильный. Сплавы в интервалах концентрации 1 - 2 и 2 - 3 должны иметь три критические температуры фазовых превращений. Сплав в точке 2 - две. Как видно, это не отражается на сечении. Прочитайте внимательно, как следует поступить при построении сечений тройных систем.

Вопрос 108, ответ 3. Ответ правильный. На однофазном участке свойства меняются по кривой, в двухфазной области - по закону прямой линии.

Вопрос 95, ответ 3. Ответ неправильный. Если подставить в формулу  $C = K - \Phi + I$ , вместо  $\Phi$  пять, то получим  $C = 3 - 5 + I = -I$ , т.е. число степеней свободы  $-I$ , что бессмысленно.

Вопрос 96, ответ 3. Ответ неправильный. Посмотрите ответ I на этот вопрос.

Вопрос 98, ответ 3. Ответ правильный.

Вопрос 102, ответ 2. Ответ правильный.

Вопрос 106, ответ I. Ответ неправильный. Если установлены точки состава сплавов, у которых нет двойной эвтектики, то можно задачу решить графическим путем. Вспомните, что характерно для состава этих сплавов, см. также фиг. 26.

Вопрос 109, ответ I. Ответ правильный.

Вопрос 95, ответ 2. Ответ неправильный. См. ответ I на этот вопрос.

Вопрос 96, ответ 2. Ответ правильный. Для всех сплавов количество компонента В определяется одним отрезком СН.

Вопрос 99, ответ I. Ответ правильный. При кристаллизации тройной эвтектики имеем четыре фазы, кристаллы А, В, С и жидкую фазу, тогда  $C = K - \Phi + I = 3 - 4 + I = 0$ , т.е. как состав, так и температура кристаллизации тройной эвтектики должны быть постоянны.

Вопрос 102, ответ I. Ответ неправильный. Отрезок ВК не пересекается с линией ЕЕ двойной эвтектики А + В.

Вопрос 106, ответ 2. Ответ правильный.

Вопрос 109, ответ 2. Ответ неправильный. Еще раз проверьте, на каких участках происходит изменение свойств по прямолинейному и в каком случае по криволинейному закону.

Вопрос 95, ответ I. Ответ неправильный. В этом случае число степеней свободы равно трем. Максимальному количеству сосуществующих фаз соответствует число степеней свободы, равное нулю.

Вопрос 96, ответ 4. Ответ неправильный. Возьмите несколько сплавов и проверьте, так ли это.

Вопрос 99, ответ 2. Ответ неправильный. Посмотрите, чему равно число степеней свободы при кристаллизации тройной эвтектики.

Вопрос 103, ответ 1. Ответ неправильный. Линия  $BE_2$ , на которой находится состав сплава, принадлежит как поверхности ликвидуса, примыкающей к вершине В, так и к вершине А треугольника.

Вопрос 106, ответ 3. Ответ неправильный. Так следовало бы поступить, если структура сплава состояла бы из  $B + \beta(A + B + C)$ , чего в данном случае нет.

Вопрос 94, ответ 4. Ответ неправильный. Если Вы считаете, что независимыми переменными являются концентрации трех компонентов, то это неверно, так как концентрация одного компонента определяется заданными концентрациями двух других компонентов.

Вопрос 97, ответ 1. Ответ неправильный. Прочитайте еще раз, как определяется состав тройных сплавов по концентрационному треугольнику.

Вопрос 100, ответ 1. Ответ неправильный. По правилу фаз установите, происходит ли кристаллизация двойной эвтектики при постоянной температуре ( $t_2$ )?

Вопрос 103, ответ 2. Ответ правильный.

Вопрос 107, ответ 1. Ответ неправильный. Как видно из диаграммы изменения свойств, ни один из сплавов не обладает свойствами более высокими, чем у одного из компонентов.

Вопрос 94, ответ 2. Ответ неправильный. Если считать давление постоянным, то переменными могут быть концентрации компонентов и температура. Подсчитайте, сколько их?

Вопрос 97, ответ 3. Ответ правильный. Из подобия треугольников  $\frac{\rho}{\rho'} = \frac{A\sigma}{A\cdot\sigma'}$ , также  $\frac{c}{c'} = \frac{A\sigma}{A\sigma'}$ , поэтому  $\frac{\rho}{\rho'} = \frac{c}{c'} = const.$

Вопрос 100, ответ 3. Ответ правильный.

Вопрос 104, ответ 2. Ответ правильный.

Вопрос 107, ответ 2. Ответ правильный. В самом деле при образовании твердых растворов свойства сплавов определенного состава могут весьма сильно отличаться от свойств сплавляемых компонентов.

Вопрос 94, ответ 1. Ответ неправильный. Вы по-видимому не отдаете себе отчет, что является переменным в системах типа сплавов. Посмотрите материал на стр. 14-18.

Вопрос 98, ответ 1. Ответ неправильный. Внимательно прочитайте методику определения состава тройных сплавов.

Вопрос 101, ответ 1. Ответ неправильный. Посмотрите, к какой вершине треугольника примыкает состав сплава  $K$ , и еще раз внимательно прочитайте, как протекает процесс кристаллизации в тройных сплавах.

Вопрос 104, ответ 3. Ответ неправильный. При наличии изотерм на диаграмме можно с определенной точностью установить температуры фазовых превращений.

Вопрос 107, ответ 3. Ответ неправильный. Хотя в этом случае и возможны повышенные свойства, по сравнению с чистыми компонентами, но не в той мере, как это возможно в некоторых других случаях.

Вопрос 94, ответ 3. Ответ правильный. Действительно независимыми переменными являются концентрации двух компонентов и температура.

Вопрос 97, ответ 2. Ответ неправильный. Посмотрите ответ I на этот вопрос.

Вопрос 100, ответ 2. Ответ неправильный. Проверьте, чему равно число степеней свободы при кристаллизации компонента B ( $t_1$ ) и двойной эвтектики A + B ( $t_2$ ).

Вопрос 103, ответ 3. Ответ неправильный. Такому составу имеет сплав состава в точке E.

Положе- ние точ- ки в об- ласти	Структура	Положе- ние точ- ки на линии	Структура	Положе- ние точки на линии	Струк- тура
$E_1BE$	$B+(A+B)+(A+B+C)$	$BE$	$B+(A+B+C)$	$E_1B$	$B+(A+B)$
$E_2$	$B+(B+C)+(A+B+C)$	$AE$	$A+(A+B+C)$	$AE_1$	$A+(A+B)$
$E_2CE$	$C+(B+C)+(A+B+C)$	$EC$	$C+(A+B+C)$	$BE_2$	$B+(B+C)$
$E_3CE$	$C+(A+C)+(A+B+C)$	$E_1E$	$(A+B)+(A+B+C)$	$E_2C$	$C+(B+C)$
$E_3AE$	$A+(A+C)+(A+B+C)$	$E_2E$	$(B+C)+(A+B+C)$	$GE_3$	$C+(C+A)$
$E_1AE$	$A+(A+B)+(A+B+C)$	$E_3E$	$(A+C)+(A+B+C)$	$E_3A$	$A+(A+C)$

Вопрос 104, ответ 1. Ответ неправильный. Посмотрите, между какими изотермами находится состав сплава.

Вопрос 29, ответ 1. Ответ неправильный. Жидкая фаза устойчива выше линии ликвидуса.

Вопрос 69, ответ 2. Ответ правильный.

П р е д и с л о в и е . . . . .	3
СТРОЕНИЕ СПЛАВОВ. . . . .	4
ТВЕРДЫЕ РАСТВОРЫ. . . . .	4
ХИМИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ . . . . .	8
МЕХАНИЧЕСКИЕ СМЕСИ . . . . .	10
ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ФАЗЫ В СПЛАВАХ. . . . .	10
ПРАВИЛО ФАЗ ГИБЕСА . . . . .	14
ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ДВОЙНЫХ СПЛАВОВ . . . . .	19
Определение концентрации фаз при кристаллизации сплавов. . . . .	23
Ликвация в сплавах. . . . .	26
Правило отрезков (правило рычага) для определения количества фаз. . . . .	28
Диаграмма состояния двойного сплава для случая, когда компоненты неограниченно растворимы друг в друге как в жидком, так и в твердом состояниях	30
Диаграмма состояния для сплавов, когда два компонента неограниченно растворимы в жидком и ограниченно растворимы в твердом состоянии.	
Диаграмма с эвтектикой. . . . .	31
Диаграмма состояния для сплавов, образующих смеси из чистых компонентов. . . . .	41
Диаграмма состояния для сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии (Диаграмма с перитектическим превращением . . . . .	44
Диаграмма состояния для сплавов, образующих стойкое химическое соединение. . . . .	47
Диаграмма состояния для сплавов, образующих нестойкое химическое соединение . . . . .	49
Диаграмма состояния для сплавов, испытывающих полиморфные превращения в твердом состоянии . . . . .	52
ТРОЙНЫЕ СПЛАВЫ. . . . .	57
Методика разбора диаграмм состояния тройных сплавов. . . . .	59

Упрощенные методы изучения многокомпонентных систем. . . . .	64
Связь между свойствами сплавов и диаграммами состояния. . . . .	67
ПОЯСНЕНИЯ К ОТВЕТАМ НА ВОПРОСЫ . . . . .	70

ПРАВИЛО ФАЗ УИЛЬЯМСА . . . . .	14
ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ ДВОЙНЫХ СПЛАВОВ . . . . .	19
Определение концентрации фаз при кристаллизации сплавов. . . . .	23
Ликвидус в сплавах. . . . .	26
Правило отрезков (правило рычага) для определения количества фаз. . . . .	28
Диаграмма состояния двойного сплава для случая, когда компоненты неограниченно растворимы друг в друге как в жидком, так и в твердом состоянии	30
Диаграмма состояния для сплавов, когда два компонента неограниченно растворимы в жидком и ограниченно растворимы в твердом состоянии.	
Диаграмма с эвтектикой. . . . .	31
Диаграмма состояния для сплавов, образующих смеси из жидких компонентов. . . . .	41
Диаграмма состояния для сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии (Диаграмма с перитектической реакцией) . . . . .	44
Диаграмма состояния для сплавов, образующих стойкое химическое соединение. . . . .	47
Диаграмма состояния для сплавов, образующих нестойкое химическое соединение . . . . .	49
Диаграмма состояния для сплавов, испытывающих конформные превращения . . . . .	52

Отв. редактор Э.Сепп

ТРОЙНЫЕ СПЛАВЫ. . . . .	
Методика построения диаграммы состояния тройных сплавов. . . . .	59

Сдано в печать 21 января 1969г.  
 Бумага 80x84/16. Печ. л. 6,25. Усл. печ. л. 5,81.  
 Тираж 500. МВ-01137. Зак. №39 Ротапринт ТПИ.  
 Таллин, Пикк ялг 14.  
 Цена 20 коп.

XI

Цена 20 коп.

A-1677

237 788