

669

Р64

МОСКОВСКИЙ
МЕХАНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ПРАКТИКУМ
ПО
ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ
СПЛАВОВ

КАНД. ТЕХН. НАУК, ДОЦ. А.Н. РОЗАНОВ

II. П Р О Ц Е С С Ы
ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ И НАГРЕВАНИИ
СТАЛИ И ЧУГУНА

/ДИАГРАММА ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД/



О Г Л А В Л Е Н И Е

Стр.

В в е д е н и е 1

В О П Р О С Ы

Чистое железо 5

Диаграмма железо-углерод /цементит/ 6

Области диаграммы железо-углерод 6

Фазы системы железо-углерод 7

Процессы, происходящие при охлаждении 8

Процессы, происходящие при нагреве 9

Структура стали и чугуна 10

Химический состав фаз 10

Определение количественного соотношения фаз и структурных составляющих 12

Применение правила фаз 13

П Р И М Е Р Ы О Т В Е Т О В Н А В О П Р О С Ы

Ответ на вопрос 21 14

Ответ на вопрос 25 14

Ответ на вопрос 29 16

Ответ на вопрос 30 16

Ответ на вопрос 32 18

Ответ на вопрос 36 21

Ответ на вопрос 42 22

Ствет на вопрос 43 23

Ответ на вопрос 48 24

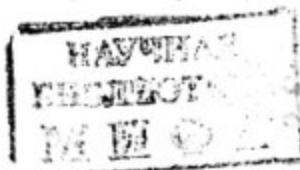
Ответ на вопрос 50 24

	Стр.
Ответ на вопрос 55	25
Ответ на вопрос 77	25
Ответ на вопрос 84	26
Ответ на вопрос 86	26
Ответ на вопрос 83	26

654

Всего - 1 мз.
ФРК - 1 мз 784583

65
B



В В Е Д Е Н И Е

Диаграмма железо-углерод является одной из наиболее важных диаграмм состояния технических сплавов.

Механические и физические свойства сплавов, широко применяемых в промышленности зависят не только от химического состава, но и от структуры, которая формируется в процессе их охлаждения. Поэтому весьма важно иметь необходимые представления о процессах, происходящих при нагреве и охлаждении стали и чугуна.

Всякая термическая обработка стали и чугуна включает нагрев этих сплавов. Результаты термической обработки в значительной мере зависят от того, до какой температуры был нагрет сплав, какие процессы происходили при нагреве, какие фазы существовали при этой температуре, каков их химический состав и т.д.

Для того чтобы управлять процессами термической обработки необходимо понимать значение линий диаграммы, знать состав фаз, их весовое соотношение и т.д.

Все вышесказанное говорит о необходимости тщательного изучения диаграммы состояния железо-углерод всеми, кто будет работать с металлами.

Из опыта преподавания известно, что очень часто после изучения диаграммы железо-углерод, а также и других разделов металловедения студенты затрудняются дать исчерпывающий ответ на тот или иной вопрос, хотя им кажется, что они все хорошо усвоили и могут ответить на любой вопрос.

Чтобы помочь студентам в самостоятельной работе над

материалом, нами составлено около 100 вопросов по диаграмме железо-углерод, которые охватывают все основное и необходимое для наилучшего освоения этой диаграммы.

В конце пособия даются примерные ответы на некоторые вопросы, показывающие студенту, как именно надо отвечать на поставленный вопрос.

Данное пособие предназначается для самостоятельной работы студентов и преследует цель лучшего изучения наиболее важной диаграммы состояния путем упражнений и самопроверки знаний, полученных на лекциях и при работе над учебниками. К работе с данным пособием следует приступить после изучения диаграммы железо-углерод.

Диаграмма железо-углерод впервые была построена несколько десятков лет тому назад.

Выдающийся русский ученый Д.К.Чернов в 1868 г. первым установил наличие критических точек в стали. Это произошло за 20 лет до того, как французский инженер Осмонд определил критические точки стали с помощью термоэлектрического пирометра, и за 30 лет до опубликования английским исследователем Аустеном первой диаграммы состояния железо-углеродистых сплавов.

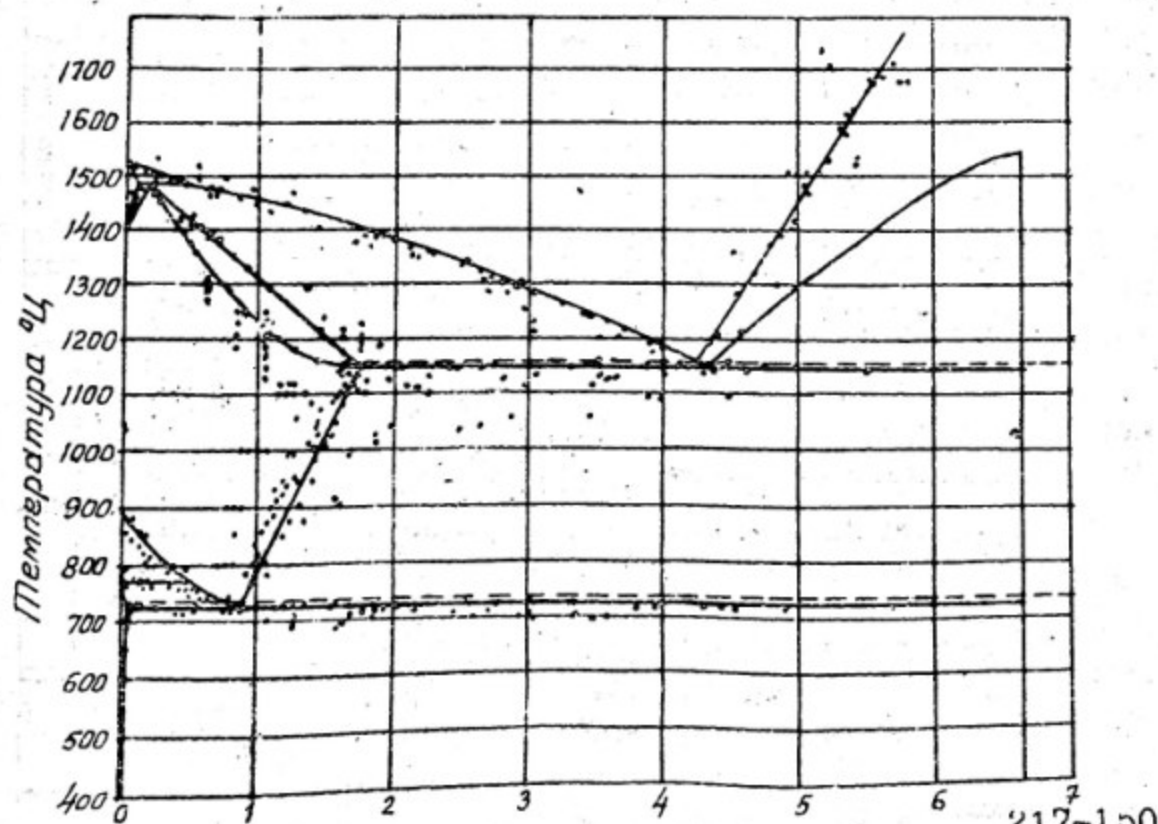
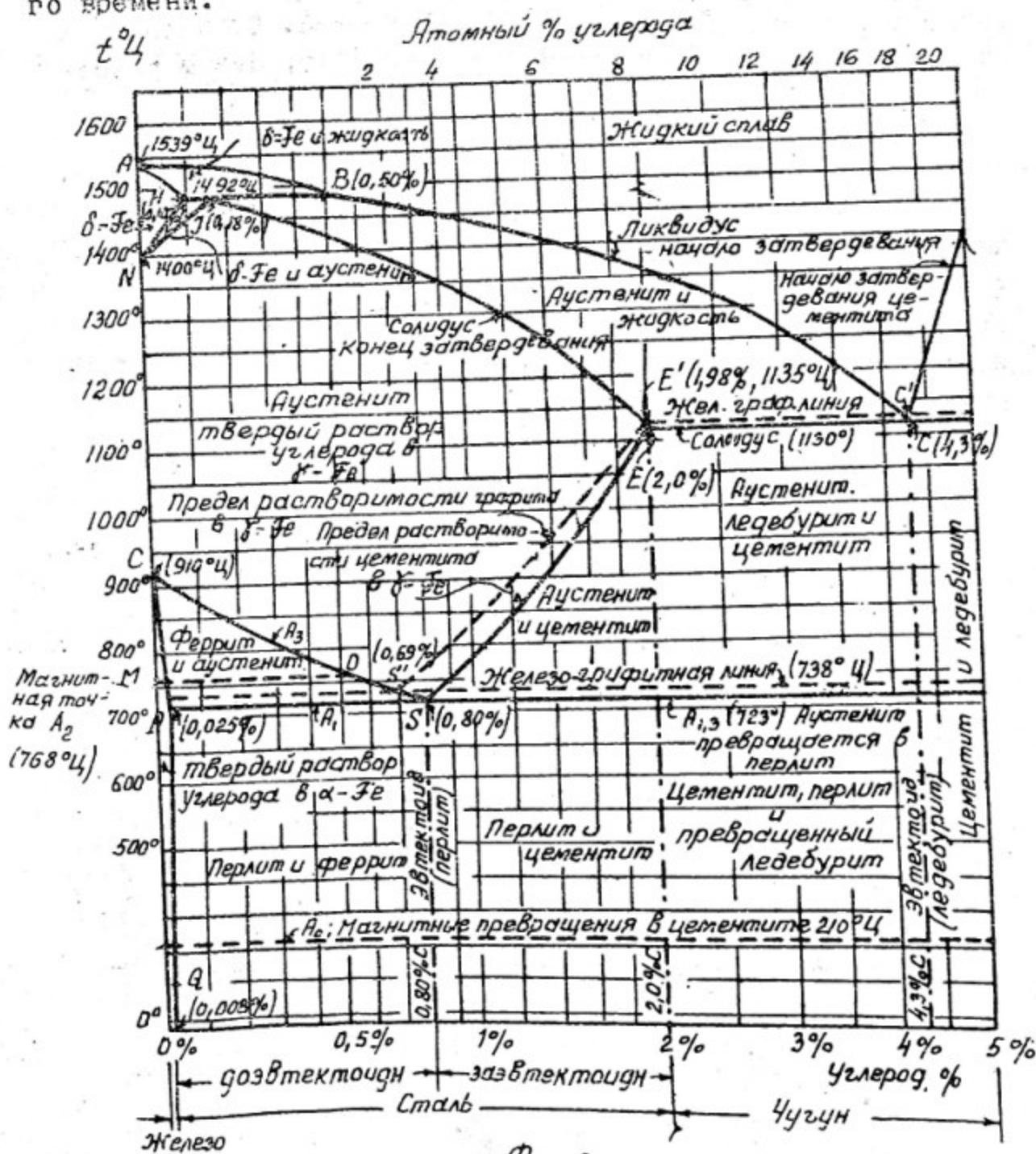


Fig. 1

Большой вклад в изучение железо-углеродистых сплавов внесли русские ученые П.П.Аносов, А.А.Ржевотарский и др., а также советские ученые А.А.Байков, Н.С.Курняков, С.С.Штейнберг, Н.П.Чижевский и др.

В результате многочисленных исследований был внесен целый ряд изменений и уточнений в диаграмму состояния железо-углерод /фиг.1/.

Уточнение этой диаграммы продолжается и до настоящего времени.



Фиг. 2

Так, в 1946 г. была опубликована новая диаграмма железо-углерод /фиг.2/, несколько отличающаяся от прежней. Подобные изменения, надо полагать, будут вноситься и в дальнейшем. Однако для облегчения расчетов, в пособии приводится диаграмма с цифровыми данными, соответствующими данным в ныне существующих учебниках по металлургии.

Ниже рассматривается диаграмма состояния железо-цементит, т.е. метастабильная диаграмма. Стабильная же диаграмма, т.е. диаграмма железо-графит, будет разобрана в другом пособии.

В О П Р О С Ы

ЧИСТОЕ ЖЕЛЕЗО

1. В каких модификациях встречается чистое железо ?
2. Какие кристаллические решетки имеет железо ?
3. Каков параметр кристаллических решеток железа ?
4. Каково строение /схематическое/ кристаллических решеток альфа- и гамма-железа ?
5. Какое число атомов железа принадлежит одной элементарной ячейке в α -железе и γ -железе ?
6. Подсчитать плотность α -железа и γ -железа при 906°C по формуле:

$$\rho = \frac{n \cdot A \cdot 1,64 \cdot 10^{-24}}{a^3},$$

где n - число атомов в элементарной ячейке;

$1,64 \cdot 10^{-24}$ - вес атома водорода в граммах;

a - параметр решетки^{х/};

A - атомный вес железа.

Определить, в какой модификации железо является наиболее плотным.

7. Как будет изменяться объем железа при нагреве и охлаждении в интервале $20-1535^\circ\text{C}$?
8. Определить, на сколько элементарных ячеек γ -железа

^{х/} Параметр решетки $Fe\alpha = 2,89 \text{ \AA}$

— — — — — $Fe\gamma = 3,64 \text{ \AA}$

приходится один атом углерода в аустените с 1,7% С; 0,9% С; 0,3% С.

Вычислить по формуле:

$$N = \frac{A \cdot 12}{B \cdot C \cdot 56},$$

где A - весовой процент железа в сплаве;

B - весовой процент углерода в сплаве;

C - число атомов в элементарной ячейке железа;

12 и 56 - соответственно атомные веса углерода и железа.

9. Определить, на сколько элементарных ячеек α -железа приходится один атом углерода в феррите с 0,04% С; 0,006% С /см. формулу в вопросе № 8/.
10. Показать графически, как изменяется параметр решетки чистого железа при нагреве от 20 до 1535°C.

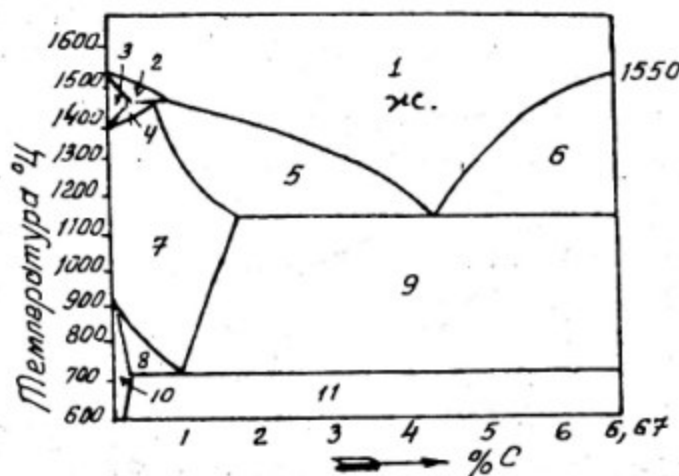
ДИАГРАММА ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД /ЦЕМЕНТИТ/

11. В какое взаимодействие вступает железо с углеродом?
12. Какая линия диаграммы железо-углерод является линией начала затвердевания /ликвидус/ ?
13. Какая линия диаграммы железо-углерод является линией конца затвердевания /солидус/ ?

ОБЛАСТИ ДИАГРАММЫ ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД

14. В каких областях диаграммы присутствует твердый раствор углерода в железе с объемноцентрированной решеткой /соответствующие области заштриховать, см. фиг.3/ ?
15. В каких областях диаграммы присутствует аустенит /соответствующие области диаграммы заштриховать/ ?
16. В каких областях присутствует цементит /соответствующие области диаграммы заштриховать/ ?

17. В каких областях присутствует перлит /соответствующие области заштриховать/ ?



Фиг. 3

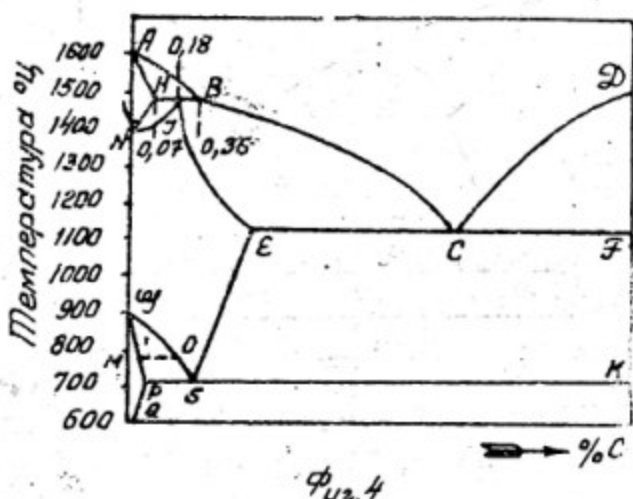
18. В каких областях присутствует ледебурит /соответствующие области заштриховать/ ?
19. В каких областях присутствует одна фаза /соответствующие области заштриховать/ ?
20. В каких областях диаграммы железо-углерод сплавов ферро-магнитны /соответствующие области заштриховать/ ?

ФАЗЫ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД

- ✓21. Сколько фаз присутствует в сплавах в каждой области диаграммы железо-углерод /см.фиг.3/ и в каких пределах может изменяться их состав ?
22. Сколько фаз присутствует в сплавах на горизонтальных линиях диаграммы железо-углерод и каков их состав ?
23. Сколько фаз в стали, в белом чугуна при 20°C ?
24. Как будет изменяться число фаз при 800°C в сплавах от 0 до 6,37% C ?

ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ

- ✓ 25. Какие процессы происходят или начинают происходить на каждой линии диаграммы железо-углерод при охлаждении сплавов /фиг.4/ ?



34. Какие структурные изменения происходят в стали с 0,1% С при охлаждении /эти изменения показать охематическими рисунками/ ?
35. Какие структурные изменения происходят в стали с 1,2% С при охлаждении /эти изменения показать схематическими рисунками/ ?
- ✓36. Какие структурные изменения происходят в сплаве с 5% С при охлаждении /эти изменения показать схематическими рисунками/ ?
37. Какие структурные изменения происходят в сплаве с 5% С при охлаждении /эти изменения показать схематическими рисунками/ ?
38. Как изменяется объем стали с 0,5% С при охлаждении от 1000 до 600°Ц /эти изменения показать графически/ ?
39. Из каких фаз при охлаждении может выделяться:
а) цементит, б) твердый раствор углерода в железе с объемно-центрированной решеткой ?
40. В каких областях диаграммы железо-углерод при охлаждении сплавов выделяется цементит ?
41. Как будут изменяться магнитные свойства стали с 0,3% С при охлаждении от 900°Ц ?

ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ ПРИ НАГРЕВЕ

- ✓42. Какие процессы происходят на линиях диаграммы железо-углерод при нагреве ?
- ✓43. Что происходит в сплавах по мере прохождения ими при нагреве отдельных областей диаграммы ?
44. Какая из двух сталей с 0,01% С или с 1,7% С имеет более низкую температуру плавления ?
45. Какой железоуглеродистый сплав самый легкоплавкий ?
46. В каких областях происходит плавление аустенита /область заштриховать/ ?

47. В каких областях происходит растворение цементита в твердом железе /области заштриховать/ ?
- ✓48. Какие процессы происходят в стали с 0,1% С при нагреве ?
49. Какие процессы происходят в стали с 1,3% С при нагреве /показать схематически структурные изменения/ ?
- ✓50. Какие процессы происходят в белом чугуна с 3% С при нагреве /показать схематически структурные изменения/ ?
51. Какие процессы происходят в белом чугуна с 5% С при нагреве ?
52. В каких сплавах при нагреве происходит процесс превращения перлита в аустенит /см.фиг.3/ ?
53. Как изменяется объем стали при нагреве и охлаждении во время превращения перлита в аустенит и аустенита в перлит ?
54. Как изменяется число фаз в сплаве с 2% С при нагреве от 600 до 1800°С ?

СТРУКТУРА СТАЛИ И ЧУГУНА

- ✓55. Какие виды структур наблюдаются в железоуглеродистых сплавах, охлажденных до комнатной температуры ?
56. Какова структура стали с 0,5% С и стали с 1,3% С при 20° ?
57. Какова структура белого чугуна с 3% С и чугуна с 4,5% С при 20° ?

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ФАЗ

58. Какова максимальная растворимость ^{углерода} в γ -железе ?

59. В каких сплавах и при каких температурах аустенит может содержать 0,4% С ?
60. Какова максимальная растворимость углерода в α -железе ?
61. Каков химический состав фаз при температуре эвтектоидной кристаллизации ?
62. Каково содержание углерода в аустените при 1000°C в сплаве с 2% С ?
63. Каково содержание углерода в аустените при 1000°C в сплаве с 0,2% С ?
64. Каково содержание углерода в аустените /для разных сплавов/ при температуре 800°C ?
65. Каково содержание углерода в аустените /для разных сплавов/ при температуре 1200°C ?
66. Сколько процентов углерода содержится в цементите ? Произвести подсчет, пользуясь химической формулой цементита.
67. Каков химический состав феррита при температуре 600°C ?
68. Каков химический состав фаз во всех сплавах при 1000°C ?
69. Как будет изменяться химический состав фаз при 800°C в сплавах с содержанием углерода от 0 до 6,67% С ?
70. Как будет изменяться содержание углерода в аустените в сплаве с 0,5% С при охлаждении от 1000°C до эвтектоидной температуры /ответ представить графически/ ?
71. Как изменяется содержание углерода в аустените в сплаве с 1,3% С при охлаждении сплава от 1100°C до эвтектоидной температуры /ответ представить графически/ ?
72. Как изменяется химический состав аустенита в сплаве с 2% С при охлаждении сплава от эвтектической до эвтектоидной температуры ?

73. Как изменяется химический состав всех имевшихся фаз в сплаве с 2% С при нагреве от 600 до 1600°С ?
74. Вычислить, сколько процентов цементита приходится на 1% углерода ?
75. Сколько процентов перлита приходится на 0,1% С ?
76. Сколько процентов углерода в стали, если структура ее состоит из 20% феррита и 80% перлита ?

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННОГО СООТНОШЕНИЯ ФАЗ И СТРУКТУРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

- ✓ 77. Вычислить количество аустенита и цементита /в процентах в ледебурите при эвтектической температуре/.
78. Определить, при каком содержании углерода в сплаве будет по 50% феррита и цементита.
79. Определить, при каком содержании углерода в сплаве будет по 50% феррита и перлита.
80. Определить, при каком содержании углерода в сплаве будет по 50% перлита и цементита ?
81. Вычислить в процентах количество всего цементита в стали с 1,7% С.
82. Вычислить в процентах количество вторичного цементита в стали с 1,7% С.
83. Определить, при каком содержании углерода в сплаве будет 70% феррита и 30% аустенита при 750° /расчет произвести по диаграмме на фиг.10/.
- ✓ 84. Определить, при каком содержании углерода в сплаве будет 30% феррита и 70% аустенита при 750° /расчет произвести по диаграмме на фиг.10/.
85. Вычислить в процентах количество третичного цементита в сплаве с 0,04% С.
86. Определить процентное содержание феррита и цементита в перлите.

87. Определить процентное содержание феррита и цементита в ледебурите.
- ✓ 88. Определить, как изменяется количество феррита, перлита и ледебурита в зависимости от содержания углерода в сплавах при 20°C.
89. Определить, как изменяется количество: 1) цементита^{х/}, 2) цементита третичного, 3) цементита вторичного, 4) цементита первичного /цементит ледебурита также относится к первичному цементиту/ в зависимости от содержания углерода в сплавах железо-углерод при 20°C.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРАВИЛА ФАЗ

90. Сколько степеней свободы имеет система во время плавления ледебурита ?
91. Сколько степеней свободы имеет система во время превращения перлита в аустенит ?
92. Сколько степеней свободы имеет система во время превращения γ -железа в α -железо ?
93. Сколько степеней свободы имеет система при выделении вторичного цементита ?

х/ Имеется в виду общее количество всех структурных видов цементита.

ПРИМЕРЫ ОТВЕТОВ НА ВОПРОСЫ

ОТВЕТ НА ВОПРОС 21^х/

В области 1 /см.фиг.3/ - одна жидкая фаза: раствор углерода и железа.

В области 2 - две фазы: жидкий раствор и твердый раствор углерода в α - / δ /-железе.

В области 3 - одна фаза: твердый раствор углерода в α - / δ /-железе.

В области 4 - две фазы: твердый раствор альфа и аустенит.

В области 5 - две фазы: жидкий раствор и аустенит.

В области 6 - две фазы: жидкий раствор и первичный цементит.

В области 7 - одна фаза: аустенит.

В области 8 - две фазы: аустенит и феррит.

В области 9 - две фазы: аустенит и цементит.

В области 10 - одна фаза: феррит.

В области 11 - две фазы: феррит и цементит.

ОТВЕТ НА ВОПРОС 25

Линия AB /см.фиг.4/ - начало выделения кристаллов твердого раствора углерода в α - / δ /-железе.

Линия BC - начало выделения кристаллов твердого раствора углерода в γ -железе /аустенита/ из жидкого раствора.

Линия CD - начало выделения первичного цементита из жидкого раствора.

Линия AN - конец выделения кристаллов твердого раствора углерода в α - / δ /-железе.

Линия HJB - перитектическая линия. На этой линии происходит перитектическая реакция. Кристаллы твер-

х/ Ответ дается только на первую часть вопроса.

дого раствора углерода в α - δ - железе с 0,07% C /точка H / реагируя с жидким раствором с 0,36% C /точка B /, образуют кристаллы твердого раствора углерода в γ - железе гамма /аустенит/ с 0,18% C /точка J/.

Линия *NN* - начало превращения твердого раствора α/δ в твердый раствор гамма.

Линия *NJ* - конец превращения твердого раствора α/δ в твердый раствор гамма.

Линия *JE* - конец выделения кристаллов твердого раствора γ /аустенит/.

Линия *ECF* - эвтектическая линия. На этой линии образуется эвтектика /ледебурит/ с 4,3% C, состоящая из кристаллов аустенита с 1,7% C /точка E / и цементита.

Линия *GS* - начало выделения кристаллов парамагнитного феррита из аустенита.

Линия *OS* - начало выделения кристаллов ферромагнитного твердого раствора углерода в α - железе /феррита/ из аустенита.

Линия *MO* - магнитное превращение железа. Парамагнитное железо α превращается в ферромагнитное железо α .

Линия *ES* - начало выделения кристаллов вторичного цементита из аустенита.

Линия *PSK* - распад аустенита, содержащего 0,8% C в перлит, т.е. в эвтектоид, состоящий из феррита и цементита.

Линия *PQ* - начало выделения третичного цементита из феррита.

При температуре 210°C /а по другим данным - при 220°C / при охлаждении происходит магнитное превращение цементита: парамагнитный цементит превращается в ферромагнитный.

ОТВЕТ НА ВОПРОС 29

Область 1/см.фиг.3/ - охлаждения жидкого раствора.
 Область 2 - выделение кристаллов твердого раствора $\alpha/\delta/$ из жидкого раствора.

Область 3 - охлаждение твердого раствора $\alpha/\delta/$.
 Область 4 - превращение твердого раствора $\alpha/\delta/$ в аустенит.

Область 5 - выделение кристаллов аустенита из жидкого раствора.

Область 6 - выделение первичных кристаллов цемента из жидкого раствора.

Область 7 - охлаждение кристаллов аустенита /фазовых превращений не происходит/.

Область 8 - выделение кристаллов феррита из аустенита.

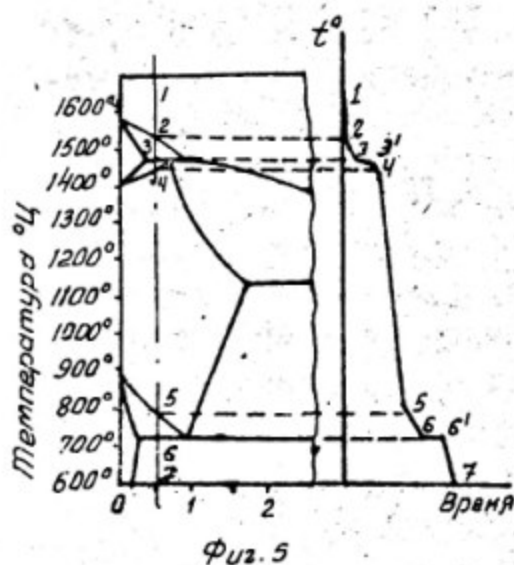
Область 9 - выделение кристаллов вторичного цемента из аустенита.

Область 10 - охлаждение кристаллов феррита.

Область 11 - выделение кристаллов третичного цемента из феррита.

ОТВЕТ НА ВОПРОС 30

При охлаждении данной стали будут происходить следующие процессы /см.схематическую кривую охлаждения для стали с 0,1% C, показанную на фиг.5/.



От точки 1 до 2 - охлаждение жидкого раствора. В точке 2 - начало выделения кристаллов твердого раствора $\alpha/\delta/$. В температурном интервале 2-3 - выделение кристаллов твердого раствора $\alpha/\delta/$ из жидкого раствора, при этом количество

жидкой фазы уменьшается, а твердой увеличивается. Химический состав обеих фаз изменяется в сторону большего содержания углерода. В жидкой фазе содержание углерода увеличивается от 0,1% до 0,36%.

В интервале времени 3-3' происходит перитектическая реакция. Твердый раствор $\alpha/\delta/$ взаимодействует с жидким раствором и образует аустенит, при этом уменьшается количество твердого раствора α и жидкого раствора, а количество аустенита увеличивается. Состав фаз и температура при этом не изменяются. Процесс продолжается до тех пор, пока не прореагирует вся жидкая фаза.

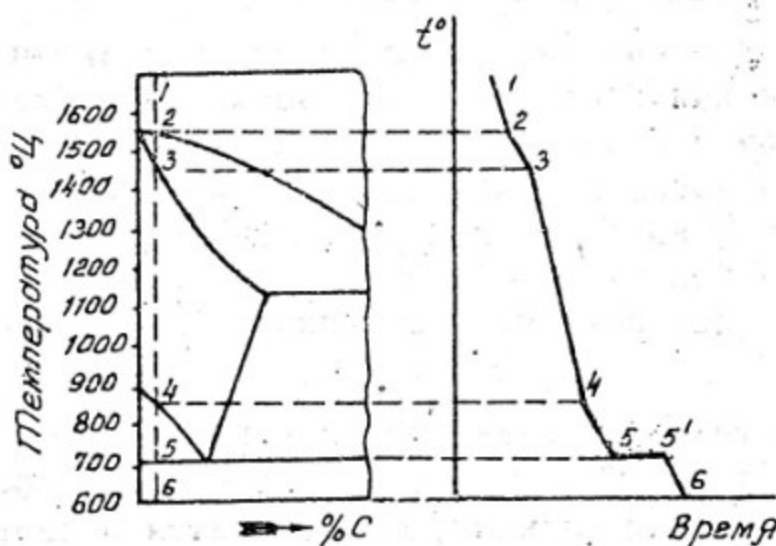
В интервале температур 3-4 твердый раствор $\alpha/\delta/$, оставшийся сверх того количества, которое было затрачено на перитектическую реакцию, превращается в твердый раствор γ -аустенит. Количество раствора α при этом уменьшается, а аустенита увеличивается. Состав твердого раствора α и аустенита изменяется в сторону уменьшения содержания углерода.

В интервале температур 4-5 происходит охлаждение аустенита.

В интервале температур 5-6 выделяется феррит из аустенита. Количество аустенита уменьшается, а феррита увеличивается. Содержание углерода в феррите увеличивается до 0,04%, а в аустените - до 0,8%. При температуре 768° Ц железо становится ферромагнитным.

В интервале времени 6-6' при постоянной температуре происходит полный распад аустенита на две фазы - феррит и цементит и образуется эвтектоид, называемый перлитом. Состав фаз при этом не изменяется. В интервале температур 6-7 происходит выделение третичного цементита из феррита. Количество феррита при этом уменьшается, а количество цементита увеличивается. Состав феррита изменяется в сторону уменьшения углерода - от 0,04% С при 723° до 0,006% при 20°. Помимо этого, в данном интервале температур при 210-220° Ц цементит становится ферромагнитным.

Разбирая процессы, проходящие в стали с 0,1% С, по упрощенной диаграмме железо-углерод^{х/}, получим следующее их изменение /фиг.6/.



Фиг. 6

От точки 1 до точки 2 происходит охлаждение жидкого раствора.

В интервале температур 2-3 выделяются кристаллы аустенита из жидкого раствора.

В интервале температур 3-4 - охлаждение аустенита.

В интервале температур 4-5 выделяется феррит из аустенита.

В интервале времени 5-5' аустенит распадается на ферритоцементитную эвтектоидную смесь, называемую перлитом.

В интервале температур 5'-6 охлаждение стали происходит без фазовых превращений.

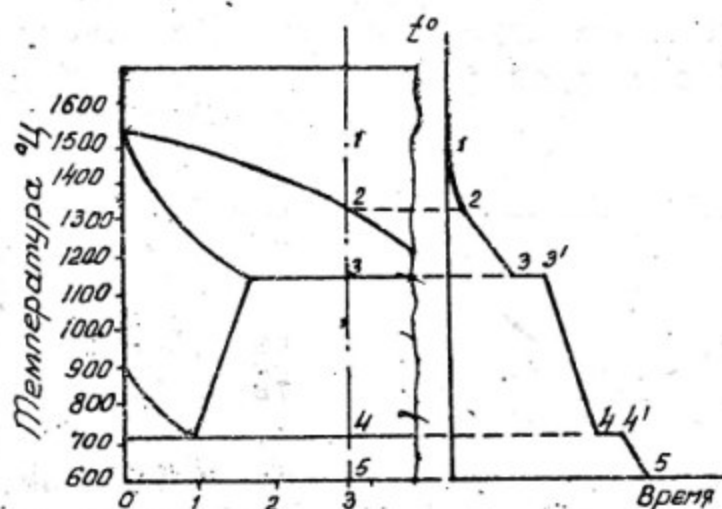
Аналогичные процессы будут происходить и во всех других доэвтектоидных сталях.

ОТВЕТ НА ВОПРОС 32

При охлаждении сплава 3% С происходят следующие процессы /см.схематическую кривую охлаждения на фиг.7/. От точки 1 до точки 2 - охлаждение жидкого сплава. В интервале температур 2-3 - выделение кристаллов аустенита из жидкого раствора; при этом увеличивается количество кристаллов аустенита и уменьшается количество

^{х/} Не учитывается область перитектического превращения и изменение растворимости углерода в феррите.

будет 1,7% С, а в жидком растворе - 4,3% С. В интервале времени 3-3' из жидкого раствора с 4,3%С образуется эвтектика, состоящая из аустенита и цементита и называемая ле-

 $\Phi_{42.7}$

называемая ле-

эт полностью, а

устенита /из
вторичный цемен

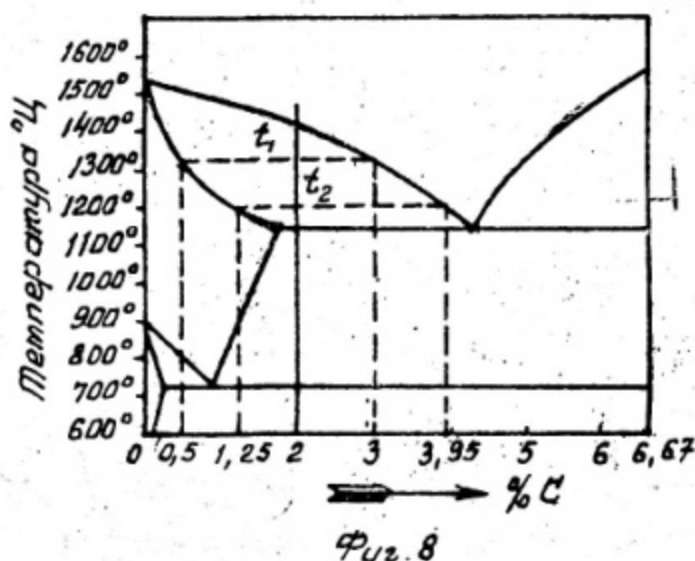
еличивается, а
а изменяется

от 1,7% до 0,8
цит распад аус

дкую смесь, со-
аемую перлитом.

содержания углерода/ вызывает иногда недоумение^{х/}, но как будет показано ниже, содержание углерода в сплаве при этом остается неизменным.

Так, в сплаве с 2% С /аналогичное рассуждение может быть приведено и для других сплавов/ при температуре t_1 /фиг.8/ в твердой фазе содержится 0,5% С, а



в жидкой фазе - 3,0% С; при t_2 в жидкой фазе содержание углерода увеличивалось до 3,95%, а в твердой - до 1,25%. Однако весовое соотношение фаз при охлаждении от t_1 до t_2 изменилось так, что жидкой фазы, имеющей большое содержание углерода, стало меньше,

а твердой фазы, имеющей невысокое содержание углерода, стало больше.

При этом содержание углерода в сплаве не изменилось и осталось равным 2%, что видно из следующего расчета.

Дано сплава 100 г. При температуре t_2 , согласно правилу отрезков, имеется 72,2 г твердой фазы и 27,8 г жидкой фазы. Тогда углерода в жидкой фазе будет:

$$\frac{3,95 \cdot 27,8}{100} = 1,098 \text{ г,}$$

а в твердой фазе:

$$\frac{1,25 \cdot 72,2}{100} = 0,902 \text{ г.}$$

х/ Так как кажется, что содержание углерода в сплаве при этом должно увеличиваться.

Во всем сплаве углерода будет столько, сколько его содержится в твердой и жидкой фазах вместе, т.е.

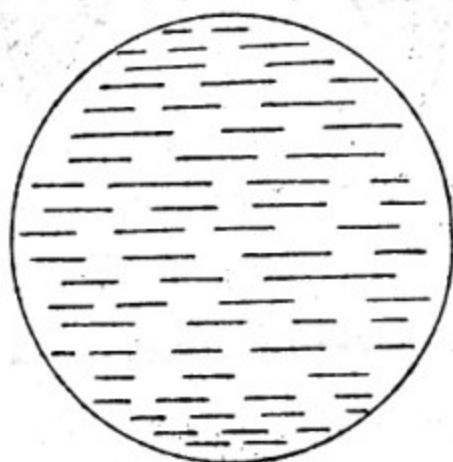
$$1,098 + 0,902 = 2,0 \text{ г.}, \text{ или } 2\%.$$

Аналогичный расчет может быть проведен для любой заданной температуры и при любом заданном составе сплава.

ОТВЕТ НА ВОПРОС 36 /см.фиг.7/

В интервале температур 1-2 /фиг.9/ - охлаждение жидкого сплава.

В интервале температур 2-3 /фиг.10/ - выделение кристаллов аустенита.

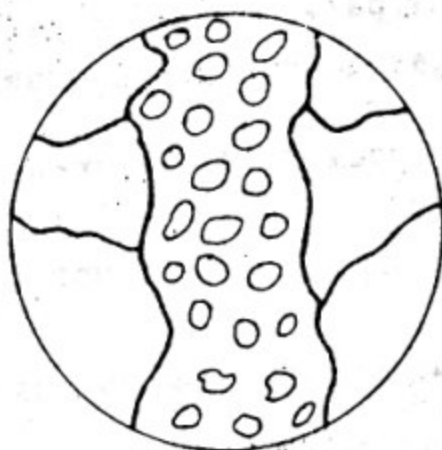


Фиг. 9

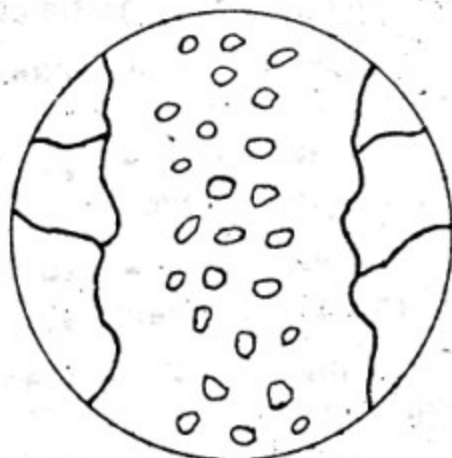


Фиг. 10

В интервале времени 3-3' /температура постоянная /фиг.11/ - образование эвтектики ледебурита /аустенит + цементит.



Фиг. 11



Фиг. 12

В интервале 3'-4 /фиг.12/ выделение цементита вторичного /из аустенита - первичного и эвтектического/.

В интервале времени 4-4' при постоянной температуре - распад аустенита на эвтектоидную смесь - перлит /фиг.13/.

В интервале температур 4'-5 - охлаждение сплава /фиг.14/. По окончании охлаждения структура сплава с



Фиг.13



Фиг.14

3% С будет состоять из перлита, цементита и ледебурита /см.фиг.14/.

ОТВЕТ НА ВОПРОС 42

ОТВЕТ НА ВОПРОС 42

При температуре 210° /220°/ цементит ферромагнитный превращается в цементит парамагнитный.

Линия *PSK* /см.фиг.4/ - превращение перлита в аустенит /при постоянной температуре/.

Линия *GS* - окончание перехода феррита в аустенит.

Линия *MO* - превращение ферромагнитного α -железа в парамагнитное.

Линия *ES* - окончание растворения вторичного цементита в аустените.

Линия *ECF* - плавление ледебурита /при постоянной температуре/.

Линия JE - начало плавления аустенита.
 Линия BC - окончание плавления аустенита.
 Линия NJ - начало превращения аустенита в твердый раствор $\alpha/\delta/$.
 Линия HJB - распад аустенита на твердый раствор $\alpha/\delta/$ с 0,07% C и на жидкий раствор с 0,36% C.
 Линия HA - плавление твердого раствора $\alpha/\delta/$.
 Линия AB - окончание плавления твердого раствора $\alpha/\delta/$.
 Линия CD - окончание плавления первичного цементита.

ОТВЕТ НА ВОПРОС 43.

Область 11 /см.фиг.3/ - растворение третичного цементита в феррите. При очень медленном нагреве происходит сфероидизация пластинчатого цементита и укрупнение сфероидов цементита.

Область 10 - нагрев твердого раствора α /феррита/.

Область 9 - растворение вторичного цементита в аустените.

Область 8 - переход феррита в аустенит.

Область 7 - нагрев кристаллов аустенита. Фазовых превращений при этом не происходит.

Область 6 - растворение первичного цементита в жидком сплаве /плавление первичного цементита/.

Область 5 - растворение аустенита в жидком сплаве /плавление аустенита/.

Область 4 - превращение аустенита в твердый раствор $\alpha/\delta/$.

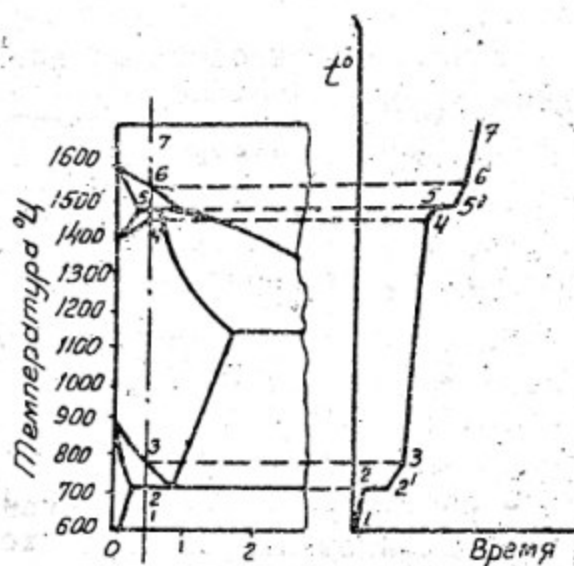
Область 3 - нагрев твердого раствора $\alpha/\delta/$.

Область 2 - плавление твердого раствора $\alpha/\delta/$.

Область 1 - нагрев жидкого раствора.

ОТВЕТ НА ВОПРОС 48

Кривая нагрева приведена на фиг.15



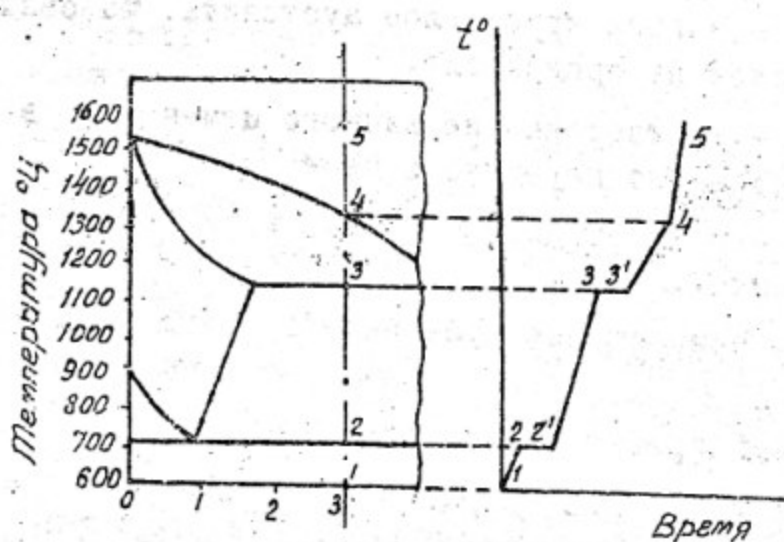
Фиг. 15

В интервале температур 1-2 - растворение третичного цементита в феррите; при температуре 2-2' - превращение перлита в аустенит; 2'-3 - превращение феррита в аустенит; 3-4 - нагрев аустенита, 4-5 - превращение аустенита в твердый раствор α ; 5-5' - распад аустенита на жидкий раствор и твердый раствор α

5'-6 - плавление α - раствора; 6-7 - нагрев жидкого раствора.

ОТВЕТ НА ВОПРОС 50^{x/}

Кривая нагрева приведена на фиг.16.



Фиг. 16

В интервале температур 1-2 - нагрев сплава; при температуре 2-2' - превращение перлита /входящего в состав ледебурита/ в аустенит; 2'-3 - растворение цементита

x/ Ответ дается без приведения структур.

в аустените; 3-3' - плавление ледебурита; 3' -4 - плавление аустенита; 4-5 - нагрев жидкого сплава.

ОТВЕТ НА ВОПРОС 55

Содержание углерода в сплаве, %	С т р у к т у р а
0	Зерна чистого α -железа
0 - 0,006	Ф е р р и т
0,006 - 0,04	Феррит и цементит /третичный/
0,04 - 0,8	Феррит + перлит ^{x/}
0,8	П е р л и т ^{xx/}
0,8-- 1,7	Перлит + цементит /вторичный/
1,7 - 4,3	Перлит + цементит + ледебурит
4,3	Ледебурит
4,3 - 6,67	Ледебурит + цементит /первичный/
6,67	Ц е м е н т и т

ОТВЕТ НА ВОПРОС 77

Аустенита 47,5%
Цементита 52,5%

ОТВЕТ НА ВОПРОС 80

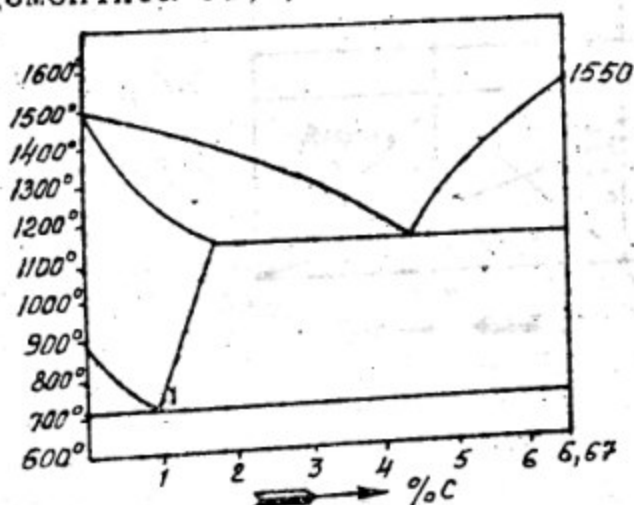
Рассчитывая
по фиг.17, получим
 $\frac{6,67-0,8}{2} + 0,8 = 3,73\% \text{ C.}$

ОТВЕТ НА ВОПРОС 81

Рассчитывая по
фиг.17, получим 25,4%.

ОТВЕТ НА ВОПРОС 82

13,5%.



Фиг. 17

x-/В малоуглеродистых сплавах встречается и структурно-свободный цементит.
xx/По другим данным в перлите содержится 0,83 или 0,9% C.

ОТВЕТ НА ВОПРОС 84

Если считать, что при 750°C аустенит в доэвтектоидной стали содержит $0,6\% \text{ C}$, то отсюда:

$$\frac{0,6 \cdot 70}{100} = 0,42\% \text{ C.}$$

ОТВЕТ НА ВОПРОС 86

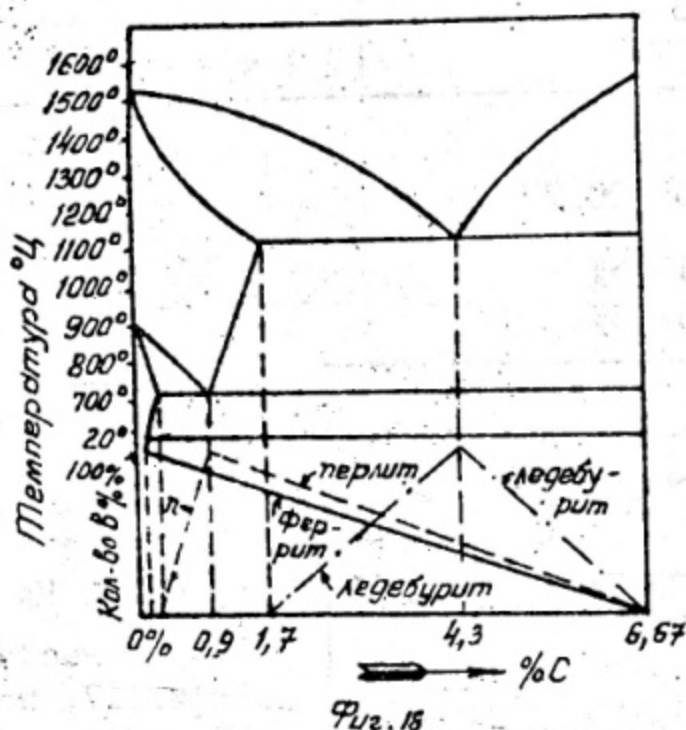
Цементита 12%

Феррита 88%

Содержание углерода в перлите считается равным $0,8\%$.

ОТВЕТ НА ВОПРОС 88

См. фиг. 18



№ Л 86078, 24/П-51г. объем - 1,3 п.л. Стéкл. ММИ
зак. 217, тир. 150, М. Пионерская, 12