

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

Диаграммы состояния двойных сплавов

Методические указания по выполнению
практической работы

Направление подготовки
23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы

Саратов 2016

Диаграммы состояния двойных сплавов: Методические указания по выполнению работы / Сост. : А.В.Павлов, А.Г.Уфаев; ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова». – Саратов, 2016. – 14 с.

В методических указаниях приведено описание занятия по курсу «Материаловедение». Основная цель – помочь студентам в выполнении всего комплекса лабораторно-практических работ, предусмотренных читаемым курсом лекций.

1. ВИДЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ В СПЛАВАХ

В настоящее время применяются главным образом не чистые металлы, а металлические сплавы.

Сплавом называют вещество, полученное сплавлением двух или более компонентов.

Широкое распространение сплавов объясняется их преимуществами перед металлами: более высокими механическими свойствами, возможностью получения ряда специальных физических свойств, лучшими технологическими свойствами.

Компоненты, входящие в состав металлических сплавов, могут вступать между собой в различные взаимодействия. Рассмотрим три основные формы такого взаимодействия: механическая смесь, твердый раствор, химическое соединение.

1. **Механическая смесь** – образуется в том случае, когда при кристаллизации жидкого сплава из компонентов, условно обозначенных А и В, каждый компонент строит свою кристаллическую решетку.

В результате затвердевший сплав состоит из кристаллов двух компонентов, которые связаны только по границам (рис. 1). Кристаллизация сплавов, как правило, идет в интервале температур. Однако в системе А + В есть такой состав, когда затвердевание обоих компонентов происходит при постоянной температуре, которая значительно ниже температуры кристаллизации каждого компонента.

Механическая смесь, кристаллизующаяся при постоянной температуре, называется эвтектикой. Эвтектика имеет мелкую структуру с чередующимися кристаллами одной и другой фазы (часто пластинчатой формы). Эвтектические сплавы обладают жидкотекучестью, низкой температурой плавления и как следствие – хорошими литейными свойствами.

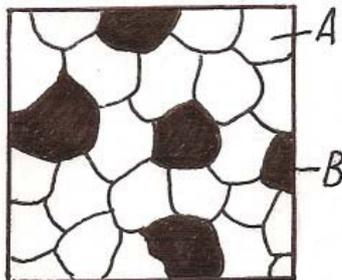


Рис. 1. Микроструктура сплава при образовании механической смеси

2. **Твердый раствор** – образуется в том случае, когда при кристаллизации жидкого сплава только один из компонентов строит свою кристаллическую решетку, а атомы другого компонента располагаются в этой кристаллической решетке.

Компонент, строящий свою кристаллическую решетку, называется растворителем, а второй компонент – растворенным.

Существуют три типа твердых растворов: растворы внедрения, растворы замещения и растворы вычитания. Растворы вычитания встречаются редко, а поэтому рассматриваться не будут.

Твердые растворы внедрения – это растворы, у которых атомы растворенного элемента размещаются в кристаллической решетке между атомами растворителя (рис. 2), при этом возникают искажения и напряжения в кристаллической решетке.

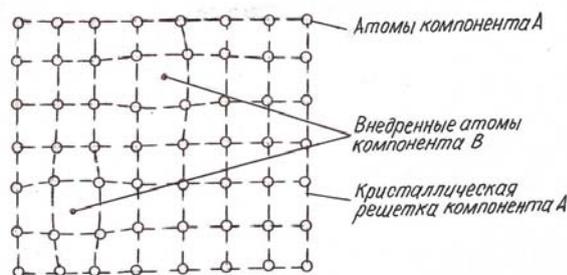


Рис. 2. Схема раствора внедрения А(В)

Твердые растворы замещения – атомы растворенного элемента замещают атомы растворителя в узлах кристаллической решетки (рис. 3).

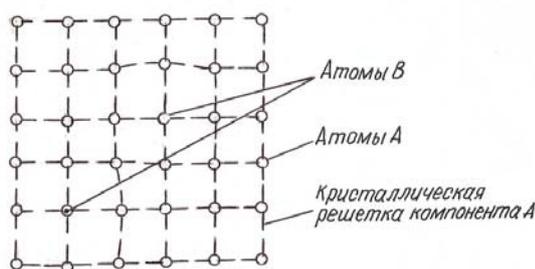


Рис. 3. Схема раствора замещения А(В)

Твердые растворы могут быть неограниченными и ограниченными. В первом случае любое количество атомов А может быть заменено соответствующим количеством атомов В, во втором – только определенная часть атомов компонента А может быть заменена атомами В.

Атомы примеси замещения могут быть больше или меньше атомов растворителя, поэтому в кристаллической решетке возникают искажения и напряжения. Таким образом, как в случае раствора внедрения, так и замещения, возникающие напряжения затрудняют перемещение дислокаций, что повышает прочность и твердость сплава. Твердые растворы принято обозначать строчными буквами греческого алфавита: α , β , γ и т.д. Например, твердый раствор никеля в меди Cu (Ni) – α -раствор.

3. Химическое соединение – образуется в том случае, когда при затвердевании сплава строится новая кристаллическая решетка, не похожая на решетку ни того, ни другого элемента.

Атомы компонентов А и В занимают определенные узлы и находятся в соотношении, которое выражается химической формулой A_nB_m (например, химическое соединение Fe и C – Fe_3C , Al и Cu – $CuAl_3$). Атомы в химическом соединении прочно связаны друг с другом, кристаллическая решетка, как правило, сложная, что не допускает смещения одной части кристалла относительно другой. Все это обуславливает высокую твердость и хрупкость химических соединений.

2. ПРОСТЕЙШИЕ ВИДЫ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ

Диаграмма – это графическое изображение состояния сплава в зависимости от его концентрации и температуры.

Диаграммы строятся для условий равновесия, которые создаются при очень медленном охлаждении или нагревании сплавов, когда ни один процесс не затормаживается, все превращения идут до конца.

Диаграмма строится экспериментально по критическим точкам. Критические точки – это температуры, при которых в сплавах происходит какое-либо превращение (например,

затвердевание, расплавление, аллотропическое превращение, распад твердого раствора и т.д.).

Критические точки находят термическим или каким-либо другим методом. При термическом анализе для каждого сплава данной системы строят кривую охлаждения. Все превращения при охлаждении сопровождаются тепловым эффектом (выделением или поглощением тепла), что приводит или к температурным остановкам, или к перегибам кривой охлаждения сплава, находящегося в жидком состоянии (рис. 4).

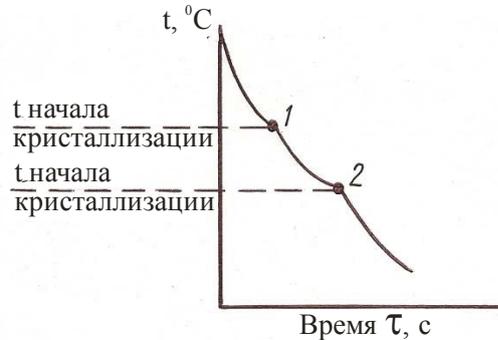


Рис. 4. Кривая охлаждения сплава, где компоненты дают твердый раствор α (20 % В, 80 % А – см. рис. 5):
1, 2 – критические точки

Полученные на отдельных кривых охлаждения критические точки наносятся на обобщенный график в координатах концентрация – температура. Соединяя однотипные точки, получаем диаграмму состояния сплава (рис. 5).

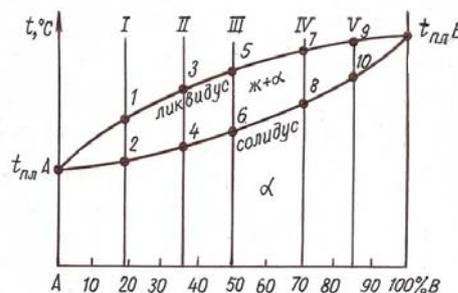


Рис. 5. Линии диаграммы, построенные по критическим точкам (ликвидус и солидус)

Например, в сплавах I, II, III, IV, V были найдены критические точки. Соединяя точки начала кристаллизации (1, 3, 5, 7, 9), получаем линию ликвидус – начала кристаллизации. Соединяя точки конца кристаллизации (2, 4, 6, 8), получаем линию солидус – конца кристаллизации. Таким образом, зная температуру плавления чистых компонентов А и В, получим диаграмму для случая неограниченной растворимости.

Рассмотрим 4 типа простейших диаграмм.

Диаграмма состояния I типа – случай образования механической смеси с эвтектикой (рис. 6).

$$Q_B = \frac{ac \cdot 100\%}{ab} = \frac{25 \cdot 100\%}{50} = 50\%.$$

Значит, 50 % сплава затвердело.

Разберем, пользуясь правилом отрезков, диаграмму состояния I типа. Сначала рассмотрим кристаллизацию сплава II (рис. 7). В критической т. *S* из жидкого расплава начинают выделяться сразу два типа кристаллов – А и В (концы коноды *MN* упираются в эти фазы). Механическая смесь двух кристаллов, образующаяся при постоянной температуре, является эвтектикой. Таким образом, в т. *S* вся жидкость превращается в эвтектику (при постоянной температуре). Кривая охлаждения этого сплава представлена на рис. 8.

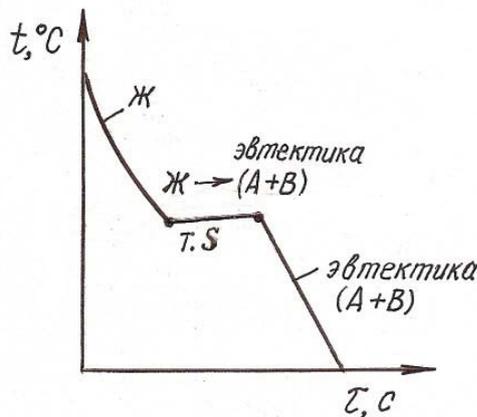


Рис. 8. Кривая кристаллизации сплава II (эвтектического)

Разберем кристаллизацию сплава I (заэвтектического). В критической точке 1 (см. рис. 7) из жидкого расплава начинают выделяться кристаллы компонента В. При охлаждении от т. 1 до т. 2 состав жидкой фазы изменяется по кривой 1–*S*. При подходе к критической т. 2 количество незатвердевшего сплава (жидкости) соответствует отрезку 2–*N*, а количество твердой фазы (кристаллов В) – отрезку 2–*S*. Состав жидкой фазы соответствует т. *S* – эвтектической. Таким образом, в т. 2 происходит затвердевание жидкости эвтектического состава с образованием эвтектики (А + В). Ниже т. 2 сплав состоит из смеси кристаллов В + эвтектика (А + В). Таким же образом разберем кристаллизацию сплава III (доэвтектического). Конец коноды *q* (рис. 9) показывает, что в т. 3 из жидкости начинают выделяться кристаллы компонента А. Состав жидкой фазы при охлаждении от т. 3 до т. 4 изменяется по кривой 3–*S*. В т. 3 оставшаяся жидкость, приняв эвтектический состав, превратится в эвтектику (А + В).

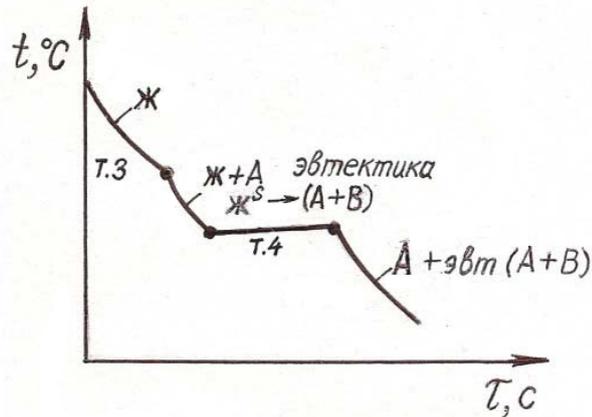


Рис. 9. Кривая охлаждения сплава III (доэвтектического)

Диаграмма состояния II типа – случай неограниченной растворимости компонентов друг в друге (рис. 10).

Оба компонента неограниченно растворимы в жидком и твердом состояниях и не образуют химических соединений.

Компоненты – А и В, фазы – жидкость, твердый раствор α .

Неограниченная растворимость будет иметь место при следующих условиях:

1) компоненты имеют один тип кристаллической решетки (изоморфны) с небольшим различием в параметрах;

2) компоненты находятся близко в таблице Менделеева и имеют близкие атомные размеры.

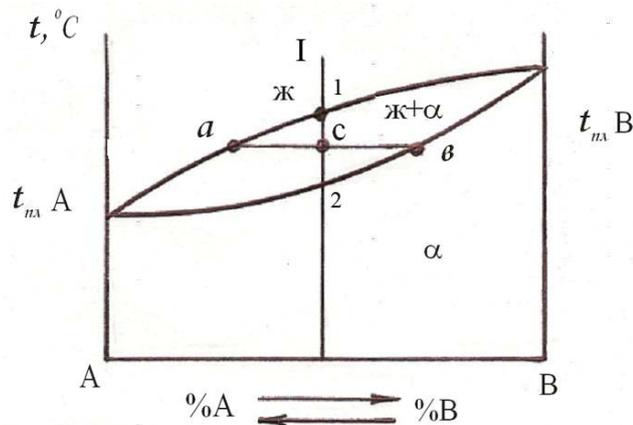


Рис. 10. Диаграмма состояния II типа

В этом случае атомы как бы взаимозаменяемы в кристаллической решетке. Заменяя атомы одного компонента на атомы другого в кристаллической решетке получают непрерывный ряд твердых растворов. Когда будут заменены все атомы первого компонента, получится чистый второй компонент. Твердые растворы, как уже упоминалось, обозначают α , β , γ и т.д. (см. рис. 10). Выше линии ликвидус – жидкость, ниже линии солидус – твердый раствор α . Между линиями ликвидус и солидус – двухфазная область, состоящая из ж + α (смотри концы коноды ab). Количество жидкой фазы в сплаве I при температуре в $t. c$ соответствует отрезку $c-b$. При снижении температуры до $t. 2$ отрезок $c-b$ обращается в ноль, следовательно, при подходе к линии

солидус затвердевают остатки жидкости. Кривая кристаллизации твердого раствора не имеет ступенек (рис. 11).

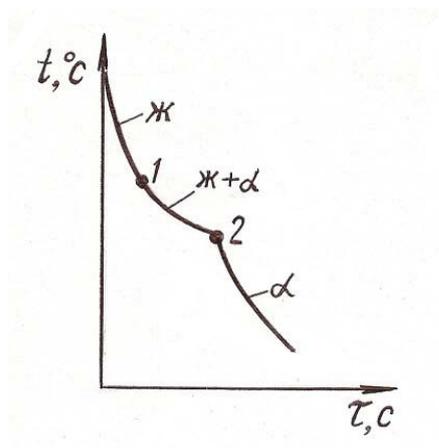


Рис. 11. Кривая охлаждения сплава I на диаграмме состояния II типа

Диаграмма состояния III типа – случай ограниченной растворимости компонентов.

Оба компонента неограниченно растворимы в жидком состоянии, ограниченно в твердом состоянии и не образуют химических соединений.

Компоненты – А и В, фазы – жидкость, твердый раствор α , твердый раствор β .

Случаи неограниченной растворимости очень редки, чаще встречается ограниченная растворимость. На том месте диаграммы, где есть растворимость, будет участок диаграммы состояния II типа.

Существует несколько вариантов диаграмм состояния III типа.

Первый вариант приведен на рис. 12.

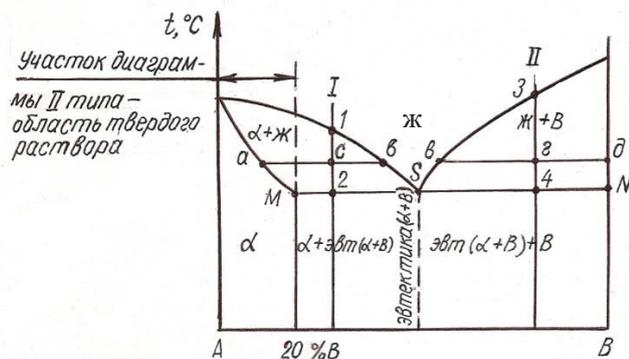


Рис. 12. Диаграмма состояния III типа с не изменяющейся растворимостью

На том участке, где имеет место диаграмма состояния II типа (указан на рис. 12), будет происходить кристаллизация твердого раствора α . В т. S в сплаве кристаллизуется эвтектика, которая состоит из кристаллов α и В (на эти фазы указывают концы коноды MN).

При кристаллизации сплава I в т. 1 (см. рис. 12) из жидкости начинают выделяться кристаллы твердого раствора α . При охлаждении до т. 2 состав жидкой фазы изменяется по кривой 1-S, в т. 2 оставшаяся жидкость состава т. S превращается в эвтектику ($\alpha + B$).

Кристаллизация сплава II начинается в т. 3 с выделением кристаллов В. Оставшаяся жидкость в т. 4, приняв состав т. S, превращается в эвтектику ($\alpha + B$).

Второй вариант диаграммы III типа приведен на рис. 13.

В первом варианте растворимость составляет 20 % и не изменяется с повышением температуры, во втором – растворимость повышается с возрастанием температуры в зависимости от содержания компонента В (от 10 до 30 %).

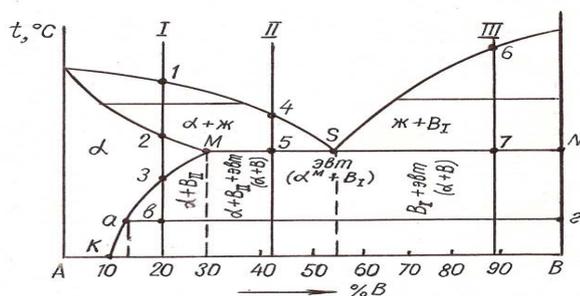


Рис. 13. Диаграмма состояния III типа с изменяющейся растворимостью

Разберем кристаллизацию сплава, содержащего 20 % В. Выше линии ликвидус на диаграмме находится область расплава – жидкость. На участке диаграммы, где линии ликвидус и солидус образуют часть диаграммы II типа, кристаллизуется твердый раствор α . Между т. 1 и 2, исходя из правила отрезков, находится $\alpha + ж$. В т. 2 жидкость закристаллизовывается в α , который содержит 20 % В. Ниже т. 3 растворимость компонента В в растворе α снижается. Значит, ниже т. 3 из раствора α должна выделяться фаза, богатая компонентом В. Эту фазу определяем, пользуясь правилом отрезков. Конец коноды 2 показывает, что в т. 6 существуют зерна B_{II} . Кристаллы B_{II} называют вторичными, т.к. они выделяются из α -раствора. В отличие от B_{II} кристаллы B_I выделяются из жидкой фазы.

Рассмотрим кристаллизацию эвтектического сплава (56 % В). В т. S жидкость кристаллизуется при постоянной температуре с получением эвтектики ($\alpha + B_I$) – см. коноду MN. Ниже т. S состав кристаллов α изменяется, т.к. растворимость падает, и из α -раствора выделяются кристаллы B_{II} (обычно в виде сетки по границам зерен α -раствора). Таким образом, при комнатной температуре сплав будет состоять из $\alpha + B_{II} + B_I$, т.е. из α , содержащего 10 % B_{II} , и кристаллов B_I .

При кристаллизации доэвтектического сплава II в т. 4 из жидкости начинают выделяться кристаллы α -раствора. В т. 5 оставшаяся жидкость кристаллизуется с образованием эвтектики. В результате после затвердевания в т. 5 сплав включает в себя $\alpha^M + \text{эвт} (\alpha^M + B_I)$. С понижением температуры из α -раствора (состав т. M – 30 %) начинают выделяться кристаллы B_{II} . При комнатной температуре сплав состоит из $\alpha + \text{эвт} (\alpha + B_{II} + B_I)$. Кристаллизация сплава III: в т. 6 из жидкости начинают выделяться кристаллы B_I . В т. 7 оставшаяся жидкость состава т. S кристаллизуется в эвтектику. Ниже т. 7 сплав состоит из $B_I + \text{эвт} (\alpha + B_{II} + B_I)$.

Третий вариант диаграммы состояния III типа представлен на рис. 14, а, б.

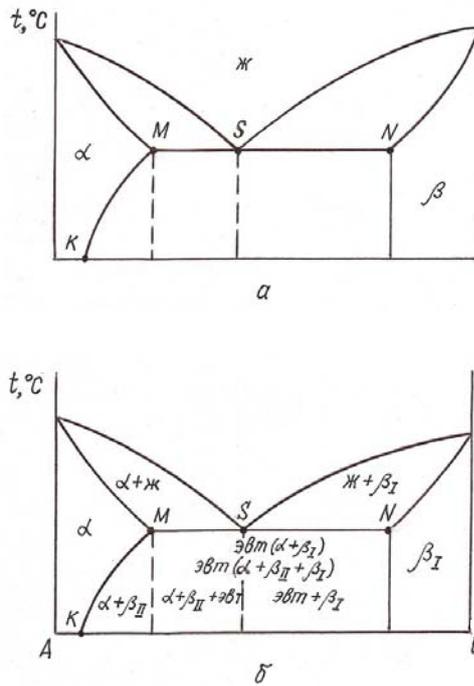


Рис. 14. Диаграмма состояния III типа:

а – заполнены только однофазные области;

б – заполнены одно- и двухфазные области

Заполняем диаграмму, начиная с однофазных областей: α – раствор В в А; β – раствор А в В и жидкость. Остальные области двухфазные, поэтому заполняем их, пользуясь правилом отрезков (рис. 14, б): в т. S образуется эвтектика из $\alpha^M + \beta^N$.

С понижением температуры из α -раствора выделяются кристаллы β_{II} , т.к. растворимость падает по кривой MK . Заполненная диаграмма представлена на рис. 14, б.

Диаграмма состояния IV типа – случай устойчивого химического соединения.

В ряде случаев при определенном содержании компонентов может образовываться химическое соединение A_nB_m .

Если компоненты вступают в химическое соединение, то на диаграмме появляется новое вещество и диаграмма разбивается на две (рис. 15). На каждом из этих участков могут быть диаграммы I, II или III типа. Например, один из вариантов диаграммы IV типа представлен на рис. 16.

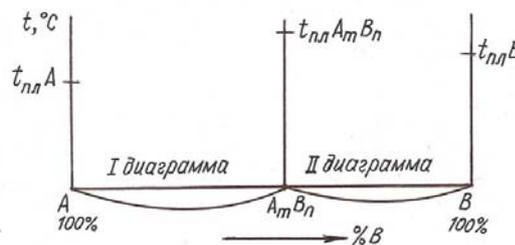


Рис. 15. Начало построения диаграммы IV типа

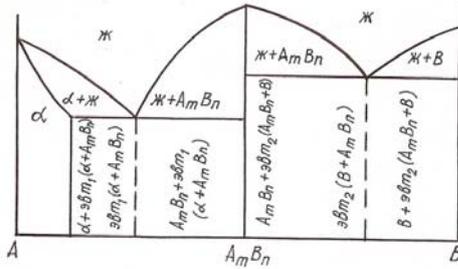


Рис. 16. Диаграмма IV типа

Сначала заполняем однофазные области (ж) и (α), затем определяем эвтектики (эвт 1 и эвт 2). Остальные области заполняем, пользуясь правилом отрезков.

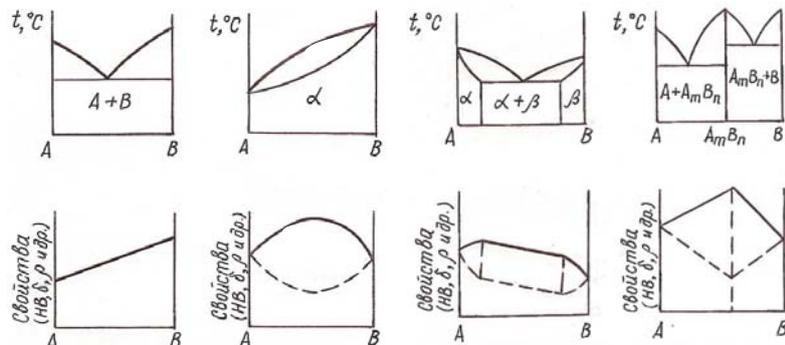
3. СВЯЗЬ МЕЖДУ СВОЙСТВАМИ СПЛАВОВ И ТИПОМ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ (ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ ЗАКОН Н.С. КУРНАКОВА)

Свойства сплавов зависят от структуры. О структуре сплавов можно судить по диаграмме состояния. Русский ученый Н.С. Курнаков установил связь свойств сплавов с диаграммой состояния. На рис. 17 приведены 4 основных типа диаграмм и соответствующие им диаграммы состав – свойства.

Рассмотрим несколько характерных случаев:

1. Если при кристаллизации сплавов системы (A + B) образуется механическая смесь компонентов, то свойства сплавов с изменением состава изменяются по закону прямой линии (аддитивно). Новых свойств, отсутствующих у чистых компонентов, в этом случае получить нельзя. Например, если у компонента A прочность НВ 80, а у компонента B – НВ 250, то можно определить прочность любого сплава – рис. 17.

Возьмем сплав 30 % A + 70 % B и определим по диаграмме его твердость, которая



составит НВ 200 (рис. 18).

Рис. 17. Диаграммы состояния и соответствующие им диаграммы состав – свойства (по Н.С. Курнакову)

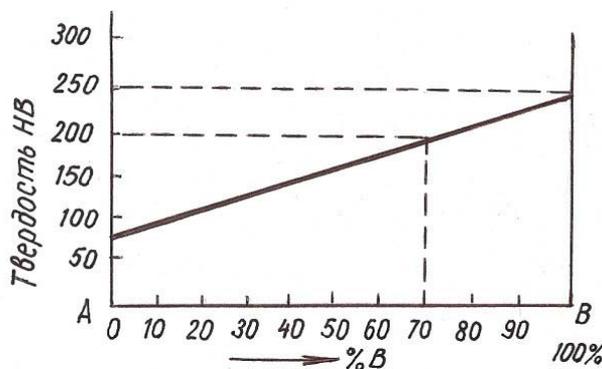


Рис. 18. Зависимость твердости сплавов от состава (в случае образования механической смеси компонентов)

2. Если при кристаллизации сплавов системы (A + B) образуются твердые растворы (неограниченная растворимость), то свойства изменяются по криволинейному закону с

максимумом или минимумом (см. диаграмму II типа на рис. 17). В системе этих сплавов можно получить новые свойства, отсутствующие у чистых компонентов. Через максимум проходят такие свойства, как твердость, прочность, электросопротивление и др., а через минимум – пластичность, вязкость, электропроводность и т.д.

3. Если при кристаллизации сплавов системы (A + B) каждый компонент ограниченно растворяется в другом (диаграмма III типа), то в той части, где имеют место однофазные области твердых растворов, свойства изменяются по закону кривой линии. В той части, где сплавы состоят из смеси твердых растворов, свойства изменяются аддитивно (см. диаграмму III типа на рис. 17).

4. Если компоненты при кристаллизации сплава образуют химическое соединение, то составу химического соединения A_mB_n соответствует ярко выраженный максимум или минимум на кривой изменения свойств (см. диаграмму IV типа на рис. 17). Эта точка перелома называется сингулярной точкой. Таким образом, в случае образования химического соединения получается как бы новое вещество, совершенно не похожее по свойствам на компоненты, из которых оно состоит.

Знание перечисленных закономерностей облегчает создание сплавов с заданными свойствами. Кроме того, использование этих закономерностей облегчает построение диаграмм состояния для неизученных систем, так как, зная характер изменения свойств при изменении состава, можно установить, в какое взаимодействие вступают компоненты.

Контрольные вопросы

1. Какие вы знаете виды взаимодействия компонентов в сплавах?
2. Как взаимодействуют компоненты при образовании механической смеси?
3. Как взаимодействуют компоненты при образовании твердого раствора?
4. Как взаимодействуют компоненты при образовании химического соединения?
5. Какие виды твердых растворов вы знаете?
6. Что такое эвтектика?
7. Изобразите диаграмму первого типа и объясните на ней правило отрезков.
8. Изобразите диаграмму третьего типа с неизменяющейся ограниченной растворимостью.
9. Изобразите диаграмму третьего типа с изменяющейся ограниченной растворимостью.
10. Изобразите диаграмму четвертого типа.
11. Как изменяются свойства при образовании диаграммы первого типа?
12. Как изменяются свойства при образовании диаграммы второго типа?
13. Как изменяются свойства при образовании диаграммы третьего типа?
14. Как изменяются свойства при образовании диаграммы четвертого типа?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуляев, А. П. *Металловедение: учебник для вузов* / А. П. Гуляев. – М. : *Металлургия*, 1986. – 544 с.

2. *Лахтин, Ю. М.* Материаловедение : учебник для вузов / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьев. – М. : Машиностроение, 1990. – 528 с.
3. Диаграммы состояния двойных металлических систем : в 3 т. / под общ. ред. Н. П. Лякишева. – М. : Машиностроение, 1996–1997.
4. *Травин, О. В.* Материаловедение / О. В. Травин, Н. Т. Травина. – М. : Metallurgy, 1989. – 384 с.
5. Материаловедение / Б. Н. Арзамасов [и др.]; МГТУ им Н.Э. Баумана. – М., 2002. – 648 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Виды взаимодействия компонентов в сплавах.....	3
2. Простейшие типы диаграмм состояния сплавов.....	4
3. Связь между свойствами сплавов и типами диаграмм состояния...12	
Контрольные вопросы.....	13
Список литературы.....	14

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

Изучение микроструктуры сплавов

Методические указания по выполнению
практических работ

Направление подготовки

23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы

Саратов 2016

Изучение микроструктуры сплавов на основе железа: Методические указания по выполнению работ/ Сост. : А.А. Аникин, В.А. Хотинский, А.В.Павлов, А.Г. Уфаев; ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова». – Саратов, 2016. – 22 с.

Методические указания по выполнению работ составлены в соответствии с программой дисциплины и предназначены для студентов. В методических указаниях занятий по курсу «Материаловедение», изложено содержание работ, приведены краткие теоретические сведения; даны объем и порядок выполнения работ, а также методические указания по выполнению и составлению отчетов и организации работы в лаборатории. Основная цель – помочь студентам в выполнении всего комплекса лабораторно-практических работ, предусмотренных читаемым курсом лекций.

РАБОТА № 1
ИЗУЧЕНИЕ ДИАГРАММЫ Fe-Fe₃C.
МИКРОАНАЛИЗ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ
В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ
Основные положения

Стали и чугуны - это сплавы железа с углеродом, причем в стали содержание углерода не превышает обычно 2%, а чугуны имеют от 2 до 5%.

Железо - металл, обладающий интересным свойством - аллотропией. С изменением температуры в твердом состоянии происходит самопроизвольная перестройка кристаллической решетки. При аллотропическом превращении резко изменяются свойства железа (механические, физические, технологические). От комнатной до 911 °С железо имеет объемно-центрированную кубическую решетку - ОЦК (рис. 3) с параметром a , равным 2,88 Å. Железо, имеющее такое кристаллическое строение, обозначается Fe_α. При температуре 911 °С ОЦК решетки перестраивается в гранецентрированную кубическую решетку (ГНК) - такое железо называется Fe_γ, с параметром $a = 3,64$ Å (рис. 1).

Углерод по-разному растворяется в α - Fe и в γ - Fe. В Fe_α углерод теоретически раствориться не может, так как пора в кристаллической решетке Fe_α слишком мала (углерод дает твердые растворы внедрения). Но из-за наличия дефектов кристаллического строения растворимость наблюдается, но очень маленькая.

Твердый раствор углерода в Fe_α называется ферритом. При 0 °С в феррите растворяется 0,006-0,008% С; с повышением температуры растворимость увеличивается. Наибольшая растворимость наблюдается при температуре 727 °С и составляет 0,02% С. Феррит мягкий (НВ = 80-90), пластичный ($\delta = 50\%$, $\psi = 70-80\%$), вязкий ($a_H = 25$ кгм/см²), сравнительно непрочный (предел прочности при растяжении $\sigma_B = 25$ кгс/мм²).

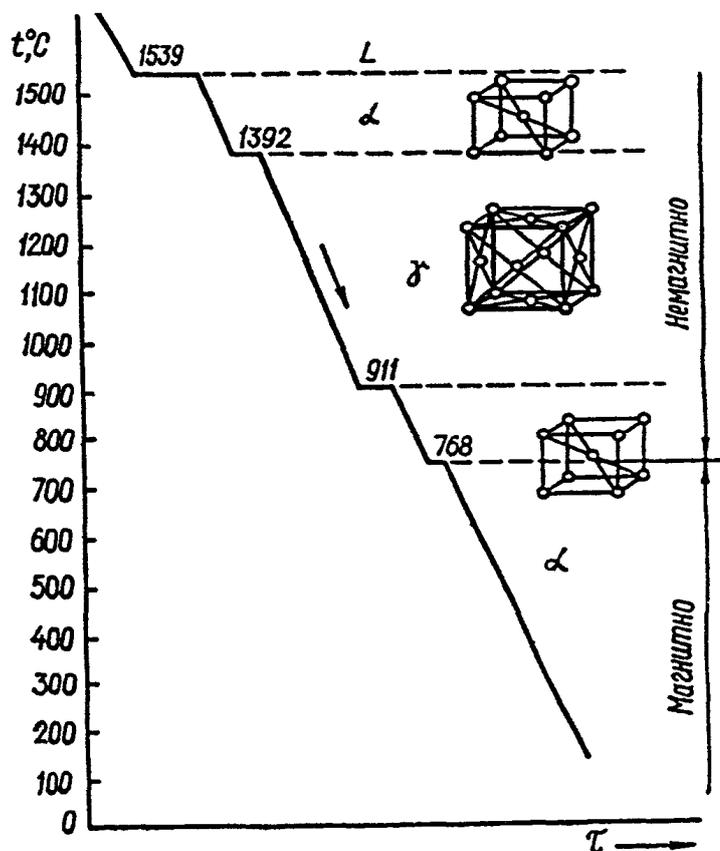


Рис. 1. Кривая охлаждения железа

Твердый раствор углерода в Fe_γ называется аустенитом. Межатомные поры в решетке (ГЦК) Fe_γ в 2 раза больше, чем в решетке Fe_α (ОЦК), поэтому растворимость

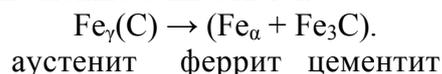
углерода в аустените достаточно велика, причем изменяется с повышением температуры. Наибольшая растворимость - 2,14% С наблюдается при температуре 1147°. С понижением температуры растворимость уменьшается и при температуре 727 °С составляет 0,8% С. Аустенит обладает очень высокой пластичностью, вязкостью, невысоким пределом текучести, поэтому сталь в аустенитном состоянии хорошо куется, штампуется. Твердость аустенита несколько выше, чем у феррита (НВ 160-200).

Аустенит в железо-углеродистых нелегированных сплавах - высоко-температурная фаза. Связано это с тем, что Fe неустойчиво при пониженных температурах. Углерод является стабилизатором Fe_γ, но даже при максимальном растворении γ углерода - железо неустойчиво ниже температуры 727°, поэтому ниже этой температуры аустенита не наблюдается.

Железо с углеродом вступает также и в химическое взаимодействие, в результате получается карбид железа - цементит Fe₃C, содержащий 6,67% С. Он очень хрупок, тверд (НВ = 800), температура плавления 1660 °С. Цементит, выделяющийся из жидкости при первичной кристаллизации, называется первичным (Ц_I); Ц_{II} выделяется из аустенита при вторичной кристаллизации, когда растворимость углерода в Fe_γ уменьшается с понижением температуры; из феррита выделяется Ц_{III} также при уменьшении растворимости.

В чугунах при охлаждении расплава наблюдается эвтектическое превращение. Чистая эвтектика получается при температуре 1147 °С и концентрации углерода 4,3%. При этих условиях из жидкого расплава одновременно выделяются кристаллы аустенита и цементита первичного. Полученная измельченная механическая смесь аустенита и цементита (эвтектика) названа *ледебуритом*.

В твердом состоянии в железо-углеродистых сплавах наблюдается эвтектоидное превращение. В сплаве с содержанием углерода 0,6% при охлаждении из аустенитного состояния, (температура превращения 727 °С) получается чистая эвтектоидная смесь - перлит, который представляет собой мелкую смесь феррита и цементита. Это превращение связано с аллотропическим превращением железа Fe_γ в Fe_α. При изменении кристаллической решетки резко падает растворимость углерода в железе, поэтому углерод выделяется из твердого раствора, но не в чистом виде, а в химически связанном состоянии (Ц_{II}). Эвтектоидное превращение можно записать так:



Включения, цементита могут быть пластинчатыми, и зернистыми, мелкими и крупным. Форма и размер цементитных включений оказывают большое влияние на механические свойства перлита: пластичность выше, а прочность и твердость несколько ниже у зернистого перлита по сравнению с пластинчатым. Измельченность цементитных включений как в зернистом, так и пластинчатом перлите приводит к повышению прочности и твердости. Таким образом, механические свойства перлита могут колебаться в широких пределах: δ от 15 до 20%, σ_в от 55 до 80 кгс/мм², НВ от 150 до 250, причем большим показателям твердости и прочности соответствует пониженная пластичность.

Ледебуритная эвтектика, состоящая при высокой температуре из аустенита и цементита, при охлаждении ниже 727 °С испытывает превращение: аустенит ледебурита превращается в перлит. Превращенный ледебурит - смесь цементита и перлита, причем основу составляет цементит, а перлит располагается в виде стерженьков. Механические свойства ледебурита близки к свойствам цементита: он очень тверд и хрупок.

Диаграмма железо - углерод (точнее, железо - цементит) представлена на рис. 2. Это диаграмма равновесия, т. е. фазы, структуры, критические точки, нанесенные на эту диаграмму, наблюдаются в сталях и чугунах в условиях очень медленного охлаждения (или нагревания), когда процессы, приводящие к минимальному запасу свободной энергии, не затормаживаются и идут до конца. Равновесные структуры, как правило, мягче, пластичнее, но менее прочны, чем неравновесные. Критические точки в

сплавах - это температуры, при которых наблюдается какое-либо превращение. Линии диаграммы составлены из критических точек.

Рассмотрим на диаграмме, какие превращения протекают в сталях и чугунах при очень медленном охлаждении из расплавленного состояния. Диаграмма состоит как бы из двух частей - стальная часть до 2,14% углерода, а остальная часть - чугунная.

Линия AC (ликвидус) - означает начало первичной кристаллизации, при этом из жидкого расплава начинают выделяться кристаллы аустенита.

Линия AE - конец кристаллизации аустенита (линия солидус).

Линия CD (также линия ликвидус) - начало кристаллизации C_II из жидкости.

Линия ECF - эвтектическая линия. Жидкость, не затвердевшая до этой температуры, будет превращаться при 1147 °C в эвтектику - ледебурит.

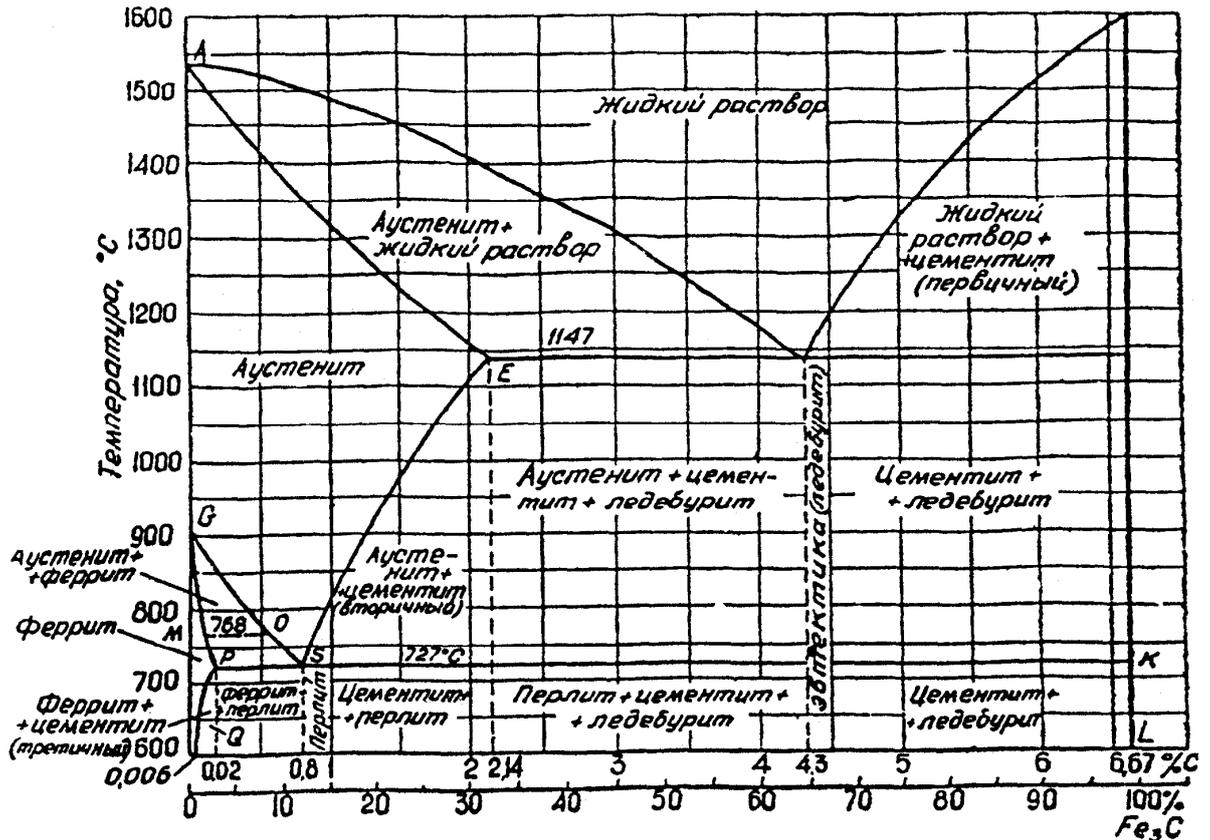


Рис. 2. Упрощенная диаграмма Fe - Fe₃C

Линия ES - линия ограничения растворимости углерода в аустените, ниже нее из аустенита выделяется избыток углерода в виде C_II .

Линия GS - начало аллотропического превращения Fe_γ в Fe_α (начало выделения феррита из аустенита).

Линия PSK - проходит через всю диаграмму, это линия эвтектоидного превращения аустенита в перлит. Ниже этой линии в равновесных условиях нельзя наблюдать аустенита, а выше этой линии - перлита.

В зависимости от структуры стали чугуны подразделяются на следующие группы.

Стали:

- доэвтектоидные (до 0,8% C);
- эвтектоидные (0,8% C);
- заэвтектоидные (свыше 0,8% C).

Чугуны:

- доэвтектические (до 4,8% C);
- эвтектические (4,3% C);

в) заэвтектические (свыше 4,3%С).

Изучение микроструктуры стали в равновесном состоянии.

Феррит под микроскопом выглядит как светлые зерна, обычно полиэдрической формы (рис. 3). Игольчатый феррит может появиться в перегретой стали, такая структура более хрупкая, поэтому нежелательна и устраняется термообработкой. Цементит при травлении раствором азотной кислоты - также светлый, но блестящий, в стали располагается по границам зерен, а в чугунах выглядит в виде светлых полей. Пластинчатый перлит под микроскопом темный, так как состоит из выступающих в результате травления пластинок цементита и находящихся в углублениях между ними, а поэтому затененных пластинок феррита. В эвтектоидной или заэвтектоидной сталях под оптическим микроскопом даже при небольших увеличениях хорошо видна пластинчатая структура перлита (рис. 4). Зернистый перлит выглядит светлым, т. к. зерна цементита не создают такой тени после травления, как пластинки.

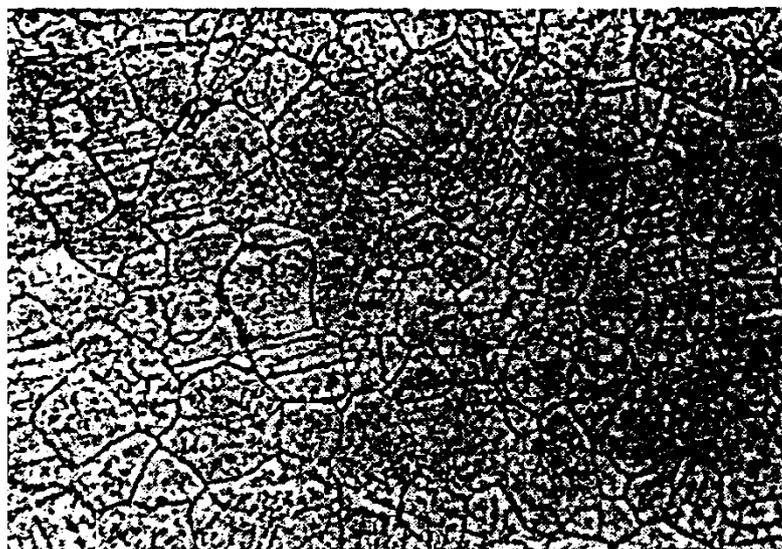


Рис.3. Феррит (X450)

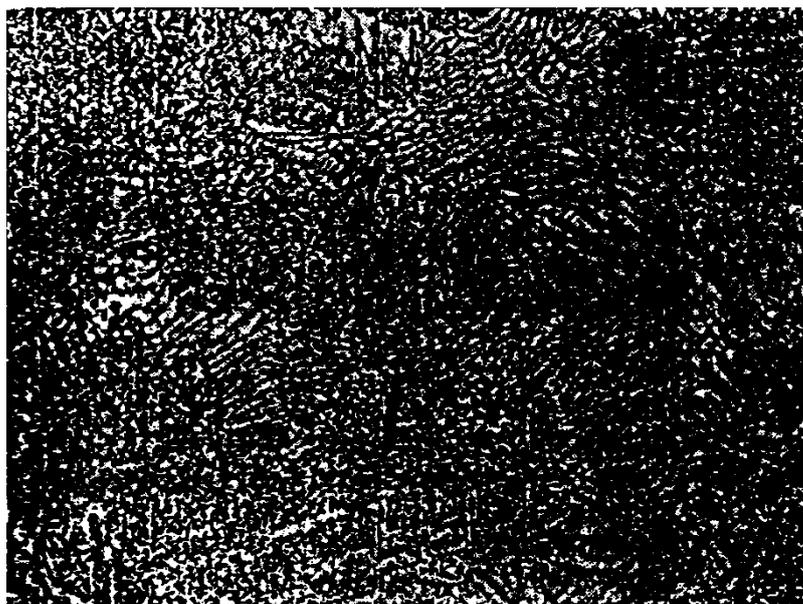


Рис. 4. Пластинчатый перлит (X800)

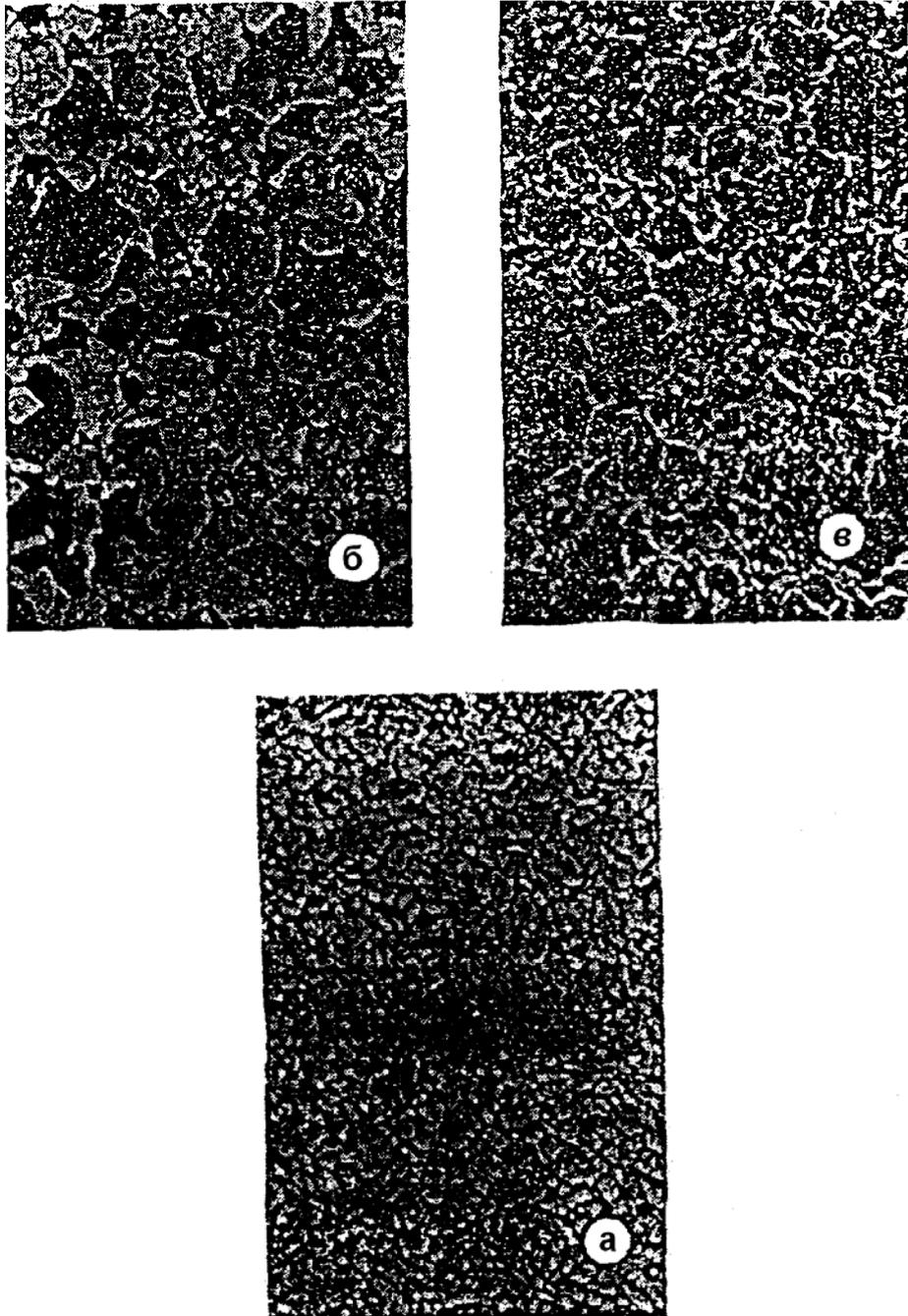


Рис.5. Микроструктура доэвтектоидной стали (X300):
а) сталь с 0,25% С; б) сталь с 0,45% С; в) сталь с 0,6% С

Структура доэвтектоидной стали показана на рис. 5. Чем больше в стали углерода, тем больше перлита.

В заэвтектоидной стали цементит в равновесной структуре располагается в виде сетки по границам зерен (рис. 6).

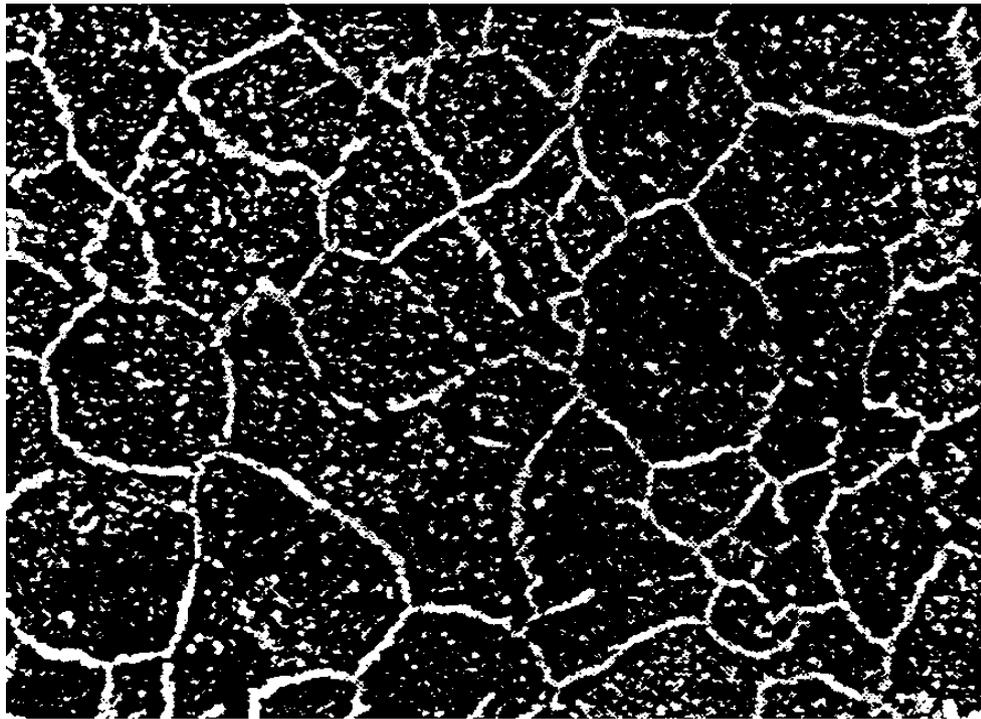


Рис. 6. Микроструктура заэвтектоидной стали (X300)

По качеству стали подразделяются на обыкновенного качества, качественные и высококачественные.

Рассмотрим, как пример, качественные углеродистые стали. Эти стали имеют точный химический состав и пониженное содержание вредных примесей. По назначению они делятся на конструкционные (машиностроительные) и инструментальные. Конструкционные качественные стали изготавливаются следующих марок: 05кп, 08кп, 10кп, 15кп, 20кп, 25кп, 30кп, 35кп, 40кп, 45кп, 50кп, 55кп, 60кп, 65кп, 70кп, 75кп, 80кп, 85кп (цифра означает сотые доли среднего процента углерода, кп - кипящая сталь, остальные - спокойные).

Инструментальные стали содержат повышенное количество углерода, в марке ставится буква «У» и цифра, означающая десятые доли среднего процента углерода: У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13. Свыше 1,3% С нелегированные стали не выплавляют из-за сильного снижения механических свойств вследствие хрупкости. По микроструктуре можно определить процентное содержание углерода, что используется на практике. Например, если в структуре площадь феррита занимает 40%, а площадь перлита 60%, то можно составить такую пропорцию:

$$\begin{aligned} 100\% \text{ П} &- 0,8\% \text{ С} \\ 60\% \text{ П} &- x\% \text{ С} \\ x &= \frac{60 \cdot 0,8}{100} = 0,48\% \text{ С} \end{aligned}$$

Углеродом, содержащимся в феррите, пренебрегаем. Таким образом, весь углерод в доэвтектоидной стали находится в перлите и составляет в нашем случае 0,48%. Если известно, что это сталь качественная, можно указать и марку стали - сталь 50. Для заэвтектоидной стали трудно определить площадь, занимаемую сеткой Ц_{II}, поэтому возможна большая погрешность при определении процентного содержания углерода.

Задание и методические указания

1. Изучить фазы и структуры на диаграмме Fe-Fe₃C. Знать определения Ф, П, А, Ц, Л и их механические свойства.
2. Уметь по памяти чертить диаграмму Fe-Fe₃C, выучить условные обозначения линий диаграммы, температуры и концентрации основных линий и точек на диаграмме.

3. Уметь устно разбирать кристаллизацию из жидкого состояния до комнатной температуры любого сплава на диаграмме.

4. Изучить классификацию углеродистых сталей по структуре в отожженном состоянии, а также маркировку и классификацию качественных, углеродистых сталей.

5. Зарисовать в квадратах $40 \times 40 \text{ мм}^2$ микроструктуру нескольких образцов качественной стали (схематично), указав увеличение микроскопа. На каждой микроструктуре указать стрелками структурные составляющие, а потом определить и подписать, к какой группе по структуре и назначению относится каждая сталь.

6. В образцах доэвтектоидной и эвтектоидной стали определить процентное содержание углерода и марку стали.

7. В эвтектоидной стали ориентировочно охарактеризовать структуру перлита.

Вопросы по теоретическому материалу для отчета

1. Какие аллотропические модификации железа Вы знаете?

2. Что такое феррит? Сколько углерода содержит? Каковы его механические свойства?

3. Что такое аустенит? Сколько углерода содержит? Каковы его механические свойства?

4. Что такое цементит? Сколько углерода содержит? Каковы его механические свойства?

5. Что такое перлит? Сколько содержит углерода? Каковы его механические свойства?

6. Что такое ледебурит? Сколько углерода содержит? Каковы его механические свойства?

7. Уметь изображать на память диаграмму Fe-Fe₃C. Знать превращения, которые протекают на каждой линии диаграммы.

8. Как классифицируются углеродистые стали?

9. Как маркируются качественные углеродистые стали?

10. Уметь устно разбирать превращения в каждом сплаве по диаграмме.

ОБОРУДОВАНИЕ

1. Образцы сталей и чугунов, с подготовленными микрошлифами.

2. Микроскопы МИМ-7, ММУ-3, ММУ-1.

РАБОТА № 2 МИКРОАНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ЧУГУНОВ

Чугунами называются сплавы железа с углеродом, содержащие не менее 2% углерода. Углерод может быть в чугунах в свободном состоянии в виде так называемого графита или в связанном состоянии в виде цементита, т.е. карбида железа (Fe₃C). Возможно присутствие углерода в обеих разновидностях. Различают следующие виды чугунов: белые, серые, высокопрочные, ковкие. Названия белые и серые связаны с цветом излома отливки чугуна.

В белом чугуне весь углерод находится в связанном состоянии; т.е. в виде цементита, имеющего белый цвет. Кристаллизация белых чугунов идет в соответствии с диаграммой железо - цемент (в правой части, содержащей более 2% углерода). По микроструктуре различают белые, доэвтектические, эвтектические и заэвтектические чугуны. В доэвтектических чугунах на линии AC из жидкости выделяется аустенит, в результате дальнейшего охлаждения при постоянной эвтектической температуре 1147° оставшаяся

жидкость превращается в эвтектику, называемую ледебуритом. Последний состоит из аустенита и первичного цементита. При дальнейшем охлаждении (ниже 1147°) из аустенита, как свободного, так и входящего в ледебурит, выделяется вторичный цементит. При температуре 727°, содержание углерода в аустените снижается до 0,8%, и он превращается в перлит. Ниже 727° никаких структурных превращений уже не наблюдается. Таким образом, при нормальной температуре микроструктура доэвтектического чугуна состоит из вторичного цементита, перлита и ледебурита. Часто этот ледебурит называют превращенным. Дело в том, что в момент образования ледебурит состоит из аустенита и первичного цементита. После происходящих превращений микроструктура (ниже 727°) состоит из вторичного цементита, перлита и первичного цементита. Микроструктура эвтектического чугуна (4,3% углерода) состоит из превращенного ледебурита. Наконец, у заэвтектического чугуна (более 4,3% углерода) микроструктура содержит первичный цементит и превращенный ледебурит. Микроструктуры чугунов указанных трех типов представлены на рис. 8.

Белые чугуны отличаются высокой твердостью, и износоустойчивостью, но вместе с тем и большой хрупкостью. Отметим также очень плохую обрабатываемость резанием. Все эти качества связаны с присутствием большого количества цементита. Белые чугуны из-за указанных свойств имеют малое применение. В основном применяют только доэвтектический чугун, содержащий меньшие количества цементита, структура чугуна в отливках зависит в первую очередь от *химического состава* и *скорости кристаллизации*. Одни химические элементы способствуют выделению углерода в виде графита (графитизаторы, а другие - выделению углерода в виде цементита (отбеливающие). *Активные графитизаторы*: Si, C, Cu, Al, Ni; *отбеливающие элементы*: Mn, S, Cr. *Медленная скорость охлаждения при затвердевании отливки способствует процессу графитизации, а ускоренная приводит, к отбелу*. Чаще используют так называемые отбеленные отливки, у которых на определенную глубину с поверхности имеется структура белого чугуна, а сердцевина представляет собой серый чугун (в структуре наблюдается графит). Отливки из таких, чугунов отличаются меньшей хрупкостью, но их поверхность обладает повышенной твердостью и износоустойчивостью. Примером подобных чугунов являются чугуны для вагонных колес с отбеленным ободом, для лемехов плутов с отбеленным носом и лезвием, некоторых прокатных валков, мукомольных валков и т.д.

Отливки из белого чугуна могут быть также полуфабрикатом, из которых путем отжига (томления) получают ковкий чугун (см. ниже).

В *серых* чугунах углерод присутствует главным образом в свободном состоянии в виде графита.

В обычном сером чугуне этот графит имеет пластинчатую (чешуйчатую) форму, хорошо виден на нетравленном шлифе (рис. 9, а). После травления реактивом выявляется структура металлической основы. Она может быть ферритной, феррито-перлитной или перлитной (рис. 9 б, в, г). Другими словами, такие структуры соответствуют доэвтектоидной и эвтектоидной сталям. Другую часть структуры серого чугуна - графит - называют неметаллической частью. В ферритном чугуне весь углерод находится в виде графита. В других чугунах содержится углерод также и в виде цементита, входящего в перлит. Иногда серый чугун называют «смесью» стали и графита. Графит имеет почти нулевую прочность, поэтому пластинки графита играют роль надрезов, ослабляющих металлическую основу структуры.

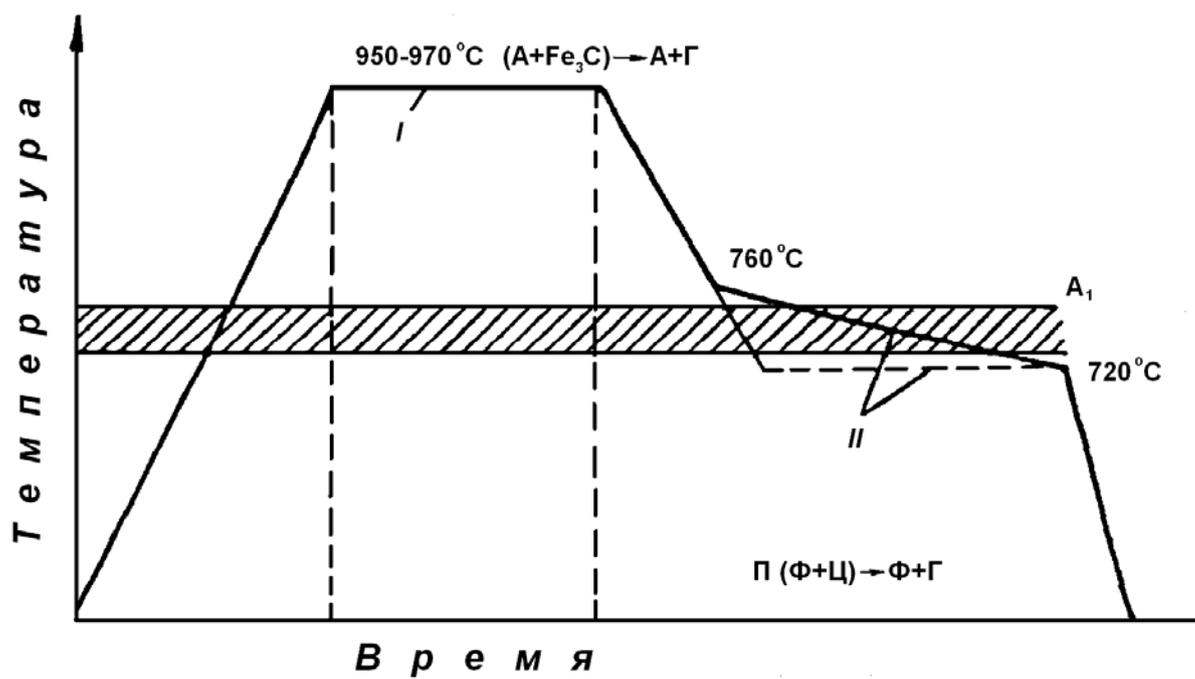


Рис. 7. Режим отжига ковкого чугуна

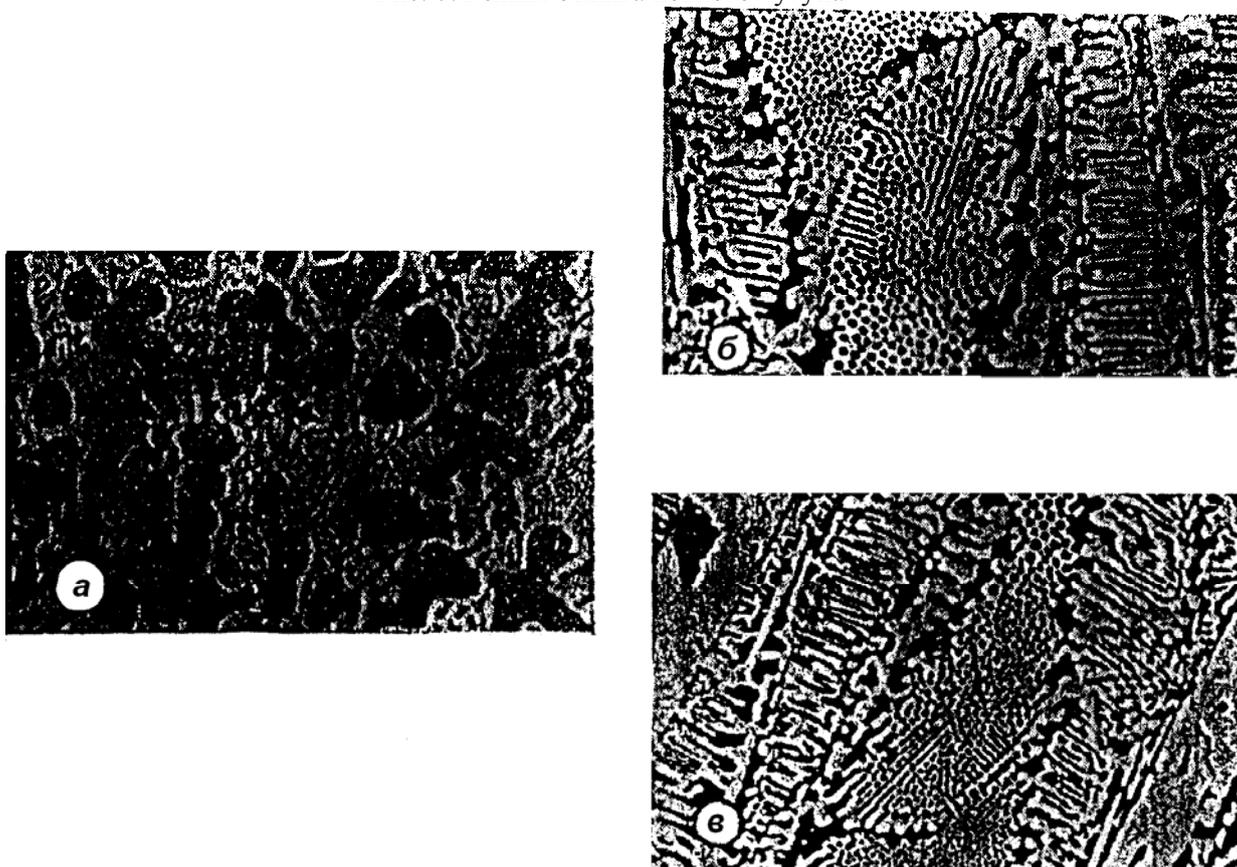


Рис. 8. Микроструктура белых чугунов: а) доэвтектический (П+Л+Ц_{II}); б) эвтектический (ледобурит), X450; в) заэвтектический (Л+Ц_I), X300

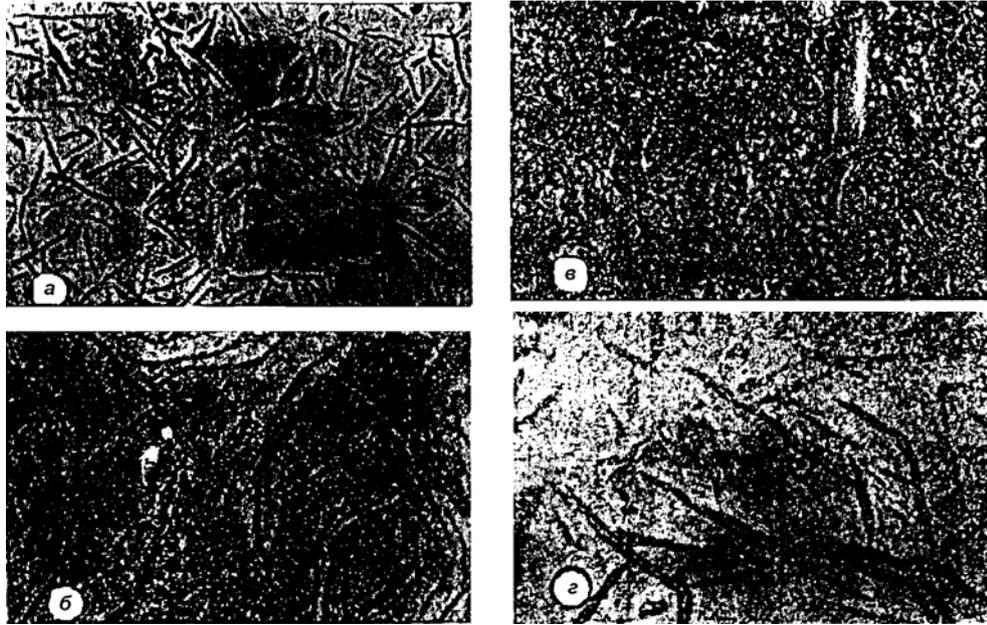


Рис. 9. Микроструктура серых чугунов: а) нетравленный (X100);
 б) травленный с феррито-перлитной металлической основой (X300);
 в) травленный с перлитной металлической основой (X300); г) травленный серый чугун с
 ферритной металлической основой (X300)

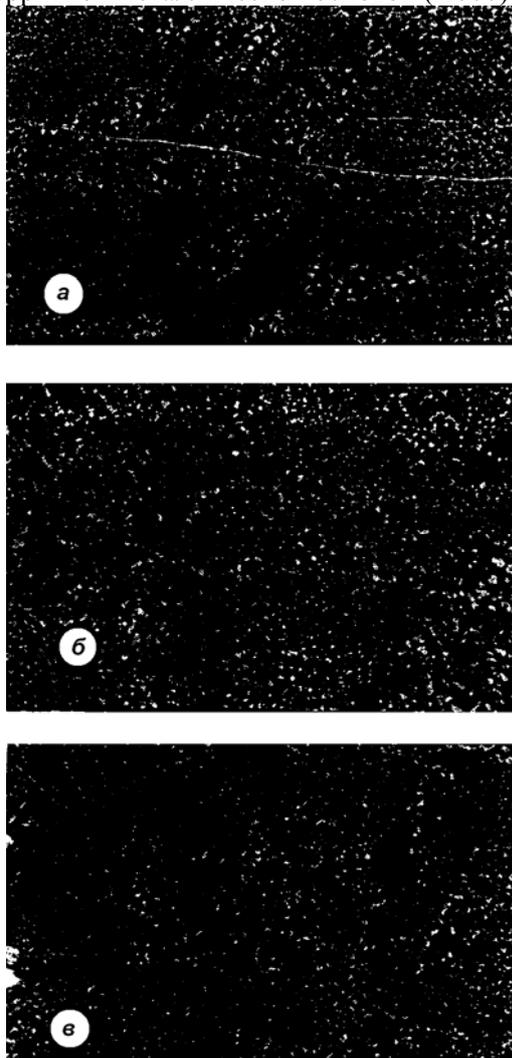


Рис. 10. Микроструктура ковких чугунов: а) нетравленный (X100);
 б) травленный с ферритной металлической основой (X100); в) травленный с феррито-перлитной
 металлической основой (X100)

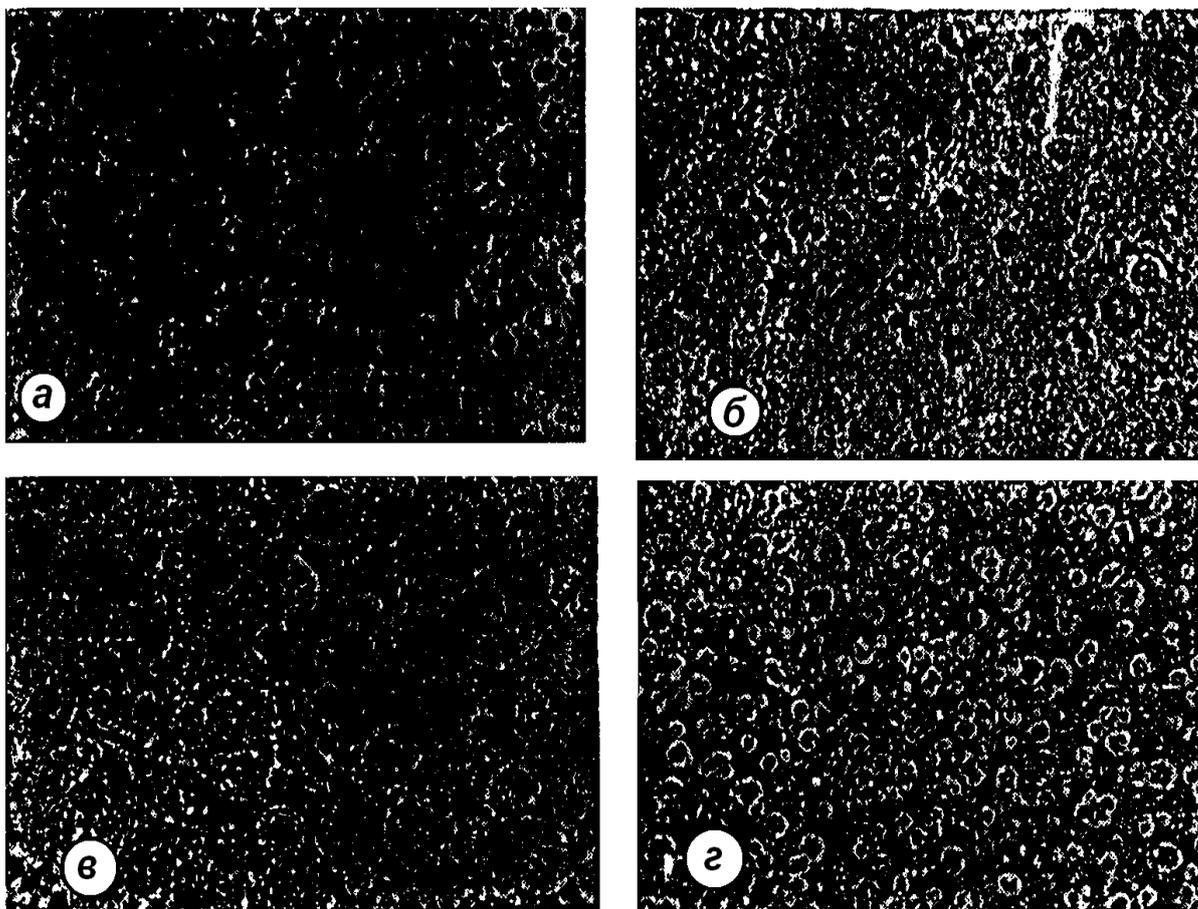


Рис. 11. Микроструктура высокопрочных чугунов: а) нетравленный иттриевый (X100); б) травленный иттриевый с ферритной металлической основой; в) травленный иттриевый с феррито-перлитной металлической основой (X200); г) травленный иттриевый с перлитной металлической основой (только глобулы графита окаймлены ферритом), X100

Наиболее прочен перлитный серый чугун, а относительно более пластичен ферритный. На свойства чугуна большое влияние оказывает не только количество графита, но и его размеры, форма и расположение. Кроме пластинчатого графита, находящегося в обычном чугуне, более благоприятны округлая и хлопьевидная формы (см. ниже «высокопрочные» и «ковкие» чугуны). В сером чугуне желательно, чтобы графит был мелкий (тонкий), равномерно распределенный. Нежелательно наличие скоплений и графитной сетки. В маркировке серых чугунов две цифры указывают предел прочности при растяжении в кгс/мм² (СЧ- σ_B), например, СЧ20. По механическим свойствам обыкновенные серые чугуны значительно уступают ковким и высокопрочным (см. ниже).

Ковкий чугун получается из белого путем отжига (томления). Режим отжига представлен на рис. 7. Для ковких чугунов характерна хлопьевидная форма графита. Различают по структуре металлической основы ковкие чугуны ферритные, феррито-перлитные и перлитные (рис. 10). Более пластичны ковкие чугуны ферритные, а более твердые, и прочные перлитные. Маркируются ковкие чугуны, например, так - КЧ37-12, где первые цифры указывают предел прочности при растяжении в кгс/мм², а вторые - относительное удлинение в %.

Высокопрочный чугун получается путем модифицирования жидкого чугуна магнием (реже церием или иттрием). Высокопрочные чугуны имеют шаровидную (глобулярную) форму графита (рис. 11). Металлическая основа может быть ферритной, феррито-перлитной или перлитной. Принцип маркировки тот же, что и у ковкого чугуна, например, ВЧ60-2. Высокопрочные чугуны имеют наибольшую прочность среди всех чугунов.

Задание и методические указания

1. Просмотреть изломы и микрошлифы чугунов в нетравленном и травленном виде. Определить принадлежность чугунов к одному из классов (белые, серые, ковкие, высокопрочные). Сделать соответствующие зарисовки.
2. Начертить диаграмму железо-цементит. По данным микроисследования определить микроструктуру белых чугунов и отметить на оси абсцисс местоположение исследуемых сплавов. Проследить процесс кристаллизации.
3. По данным микроструктуры серых чугунов в нетравленном виде описать форму, величину и расположение графита. На тех же образцах после травления установить микроструктуру металлической основы и сделать заключение о принадлежности образцов к тому или иному классу (чугуны ферритные, феррито-перлитные, перлитные). Зарисовать структуру чугунов в травленном виде.
4. Рассмотреть структуру ковких чугунов на нетравленных и травленных шлифах. Определить принадлежность к определенной группе (ковкие ферритные, феррито-перлитные и перлитные). По диаграмме (рис. 9) указать режим отжига (томления) белых чугунов для получения рассматриваемых чугунов.
5. Так же, как и в п. 3 и 4 определить микроструктуру высокопрочного чугуна. Описать технологию изготовления.

Вопросы по теоретическому материалу для отчета

1. Что такое ледебурит?
2. Как получают белый чугун и какова его структура?
3. Как получают серый чугун и какова его структура?
4. Каковы механические свойства графита?
5. Как форма, размеры и количество графитных включений влияют на свойства чугунов?
6. Как получают ковкий и высокопрочный чугун, какова структура этих чугунов?
7. Как маркируются чугуны?

ОБОРУДОВАНИЕ

1. Образцы сталей и чугунов, с подготовленными микрошлифами.
2. Микроскопы МИМ-7, ММУ-3, ММУ-1.

РАБОТА № 3 СТРУКТУРА ТЯЖЕЛЫХ ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ Сплавы на медной основе

К этим сплавам относятся латуни (сплавы меди с цинком) и бронзы (сплавы меди со всеми другими элементами, кроме цинка).

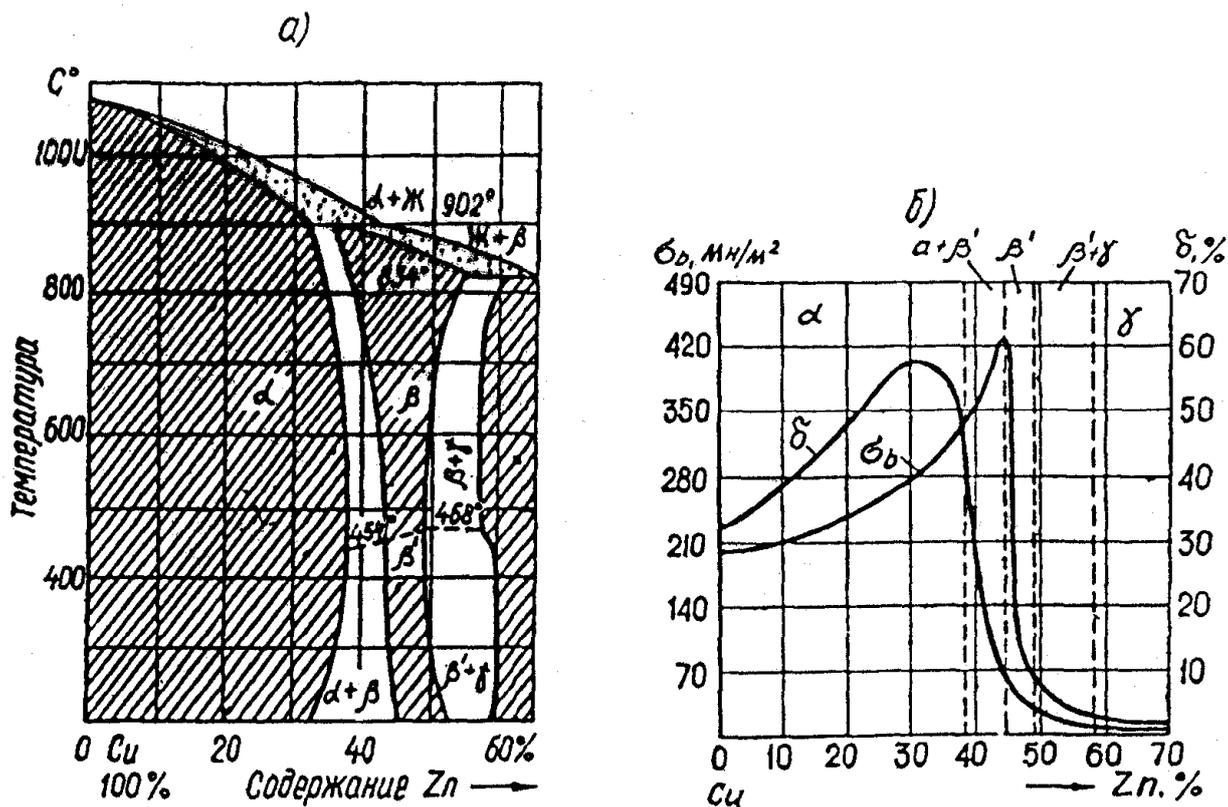


Рис. 12. а - диаграмма Cu-Zn; б - влияние концентрации цинка на структуру и механические свойства латуней

Латуни

Латуни бывают двойные (простые) и многокомпонентные (легированные). Двойные латуни маркируются буквой Л и цифрой, показывающей среднее содержание меди в процентах (например, Л59). В марках легированной латуни приводятся буквы и цифры количества меди и легирующих элементов в процентах, например ЛАН59-3-2, в которой содержится 59% Cu, 3% Al, 2% Ni. Двойные латуни по структуре разделяются на две группы: однофазные со структурой α -твердого раствора; двухфазные со структурой $(\alpha+\beta')$ -фазы (рис. 12). Добавка цинка до определенного предела увеличивает как прочность, так и пластичность (рис. 12, б). Лучшую пластичность имеют однофазные α -латуни, содержащие около 30% Zn; наибольшей твердостью обладают двухфазные $\alpha+\beta'$ -латуни (рис. 13), содержащие до 45% Zn. Кроме того, однофазные латуни хорошо поддаются холодной, пластической деформации, что приводит к повышению твердости и прочности.

Для смягчения проводят рекристаллизационный отжиг при 600-700 °С. Неблагоприятно действуют на пластичность в однофазных, латунях свинец и висмут. Образующиеся легкоплавкие эвтектические фазы, которые расплавляются по границам зерен, плавятся при 300-700 °С и вызывают явление наподобие красноломкости в стали.

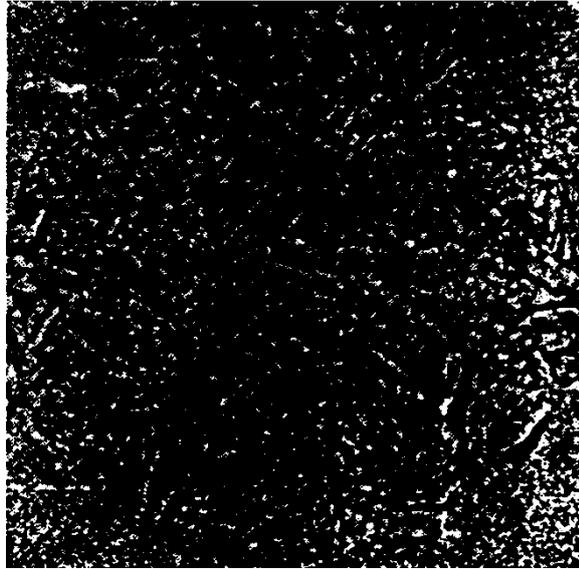


Рис. 13. Микроструктура двухфазной латуни Л59 (X100)

По-иному ведут себя двухфазные латуни. Вследствие $\alpha \leftrightarrow \beta$ -превращения легкоплавкие эвтектические фазы будут располагаться уже не по границам, а внутри зерен. Поэтому на способность к горячей пластической деформации двухфазных латуней свинец не влияет. Кроме того, свинец улучшает обрабатываемость резанием. Широко используется автоматная латунь марки ЛС59-1.

Сложные (легированные) латуни применяют как в виде штамповок, так и отливок. *Алюминиевые латуни* имеют повышенную твердость, прочность и коррозионную стойкость (например, ЛА77-2). Добавка *олова* сильно повышает коррозионную стойкость в морской воде. Так, марки ЛО70-11 и ЛО62-1 применяют в морском судостроении («морская латунь»). *Кремний* повышает коррозионную стойкость и технологические свойства (жидкотекучесть, свариваемость и способность к холодной и горячей пластической деформации).

Бронзы

Оловянистые бронзы. Предельная растворимость олова в меди достигает 15,8%. Сплавы склонны к неравновесной кристаллизации, поэтому в реальных условиях охлаждения при содержании более 5% олова в структуре появляется эвтектоид ($\alpha + \delta$), где δ -фаза - электронное химическое соединение Cu_3Sn_8 , обладающее высокой твердостью и хрупкостью. В связи с этим при повышении содержания олова до 25% увеличивается прочность и растет хрупкость. Практически применяются бронзы, содержащие не более 14% Sn, так как при большем количестве сильно увеличивается хрупкость. Широкий интервал кристаллизации обуславливает склонность к дендритной кристаллизации (см. рис. 14), рассеянную усадочную пористость и отсюда низкую герметичность отливок. В то же время бронза из-за пористости имеет линейную усадку всего 1%, что обеспечивает высокие литейные свойства. При содержании до 5-6% Sn эти бронзы могут использоваться как деформируемые, а при большем количестве олова как литейные. Оловянистые бронзы обычно легируют цинком, свинцом, никелем, фосфором. Цинк (2-15%) добавляется для удешевления. Свинец повышает антифрикционные свойства и обрабатываемость резанием марки таких бронз: БрОЦС-5-5-5, БрОЦС-3,5-4-5 и др. Оловянистые бронзы, содержащие более 6% Sn имеют структуру, состоящую из твердых включений эвтектоидной δ -фазы, находящихся в мягкой α -основе, что обеспечивает высокие антифрикционные свойства, поэтому их используют для подшипников скольжения.

Деформируемые оловянистые бронзы (до 6% Sn) имеют хорошую стойкость против коррозии, большое сопротивление усталости и высокие упругие свойства.

Алюминиевые бронзы. Эти бронзы имеют небольшой интервал кристаллизации, что обеспечивает им высокую жидкотекучесть, концентрированную усадочную раковину и хорошую герметичность. Вместе с тем из-за большой усадки трудно получить сложную по форме отливку. С увеличением алюминия до 4-5% (рис. 15) наряду с прочностью и твердостью повышается пластичность, которая затем падает при увеличении алюминия свыше 10-11%, снижается и прочность. Обычно используются однофазные бронзы БрА5 и БрА7. Наибольшей прочностью обладает двухфазная алюминиевая бронза БрА10, которую для упрочнения подвергают закалке с образованием мартенситной структуры. После закалки в воде или нормализации проводят отпуск при 250-400 °С для дисперсного старения. Имеет распространение также совместное легирование алюминиевых бронз железом и никелем, например, БрАЖН10-4-4. После закалки при температуре 980° и старения в течение 2 часов при 400° можно получить НВ до 400.

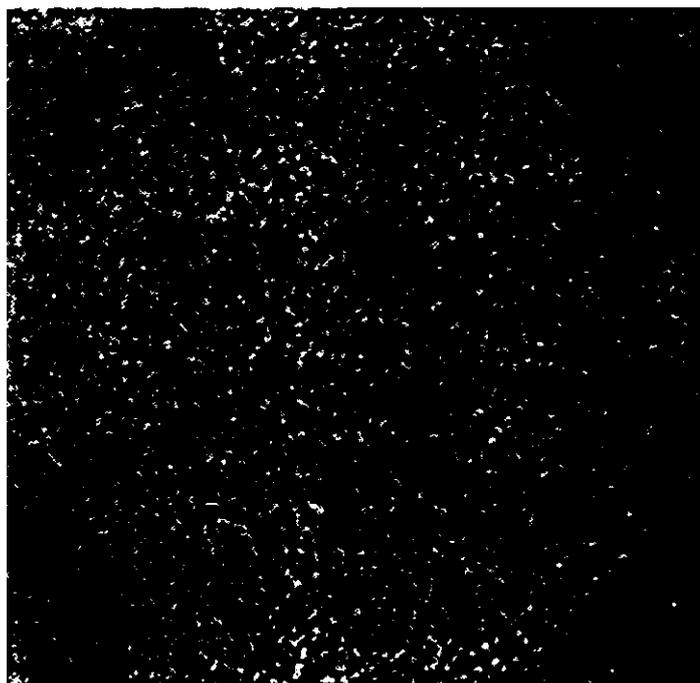


Рис. 14. Микроструктура литой однофазной оловянистой бронзы. Наблюдается дендритная ликвация (X 100)

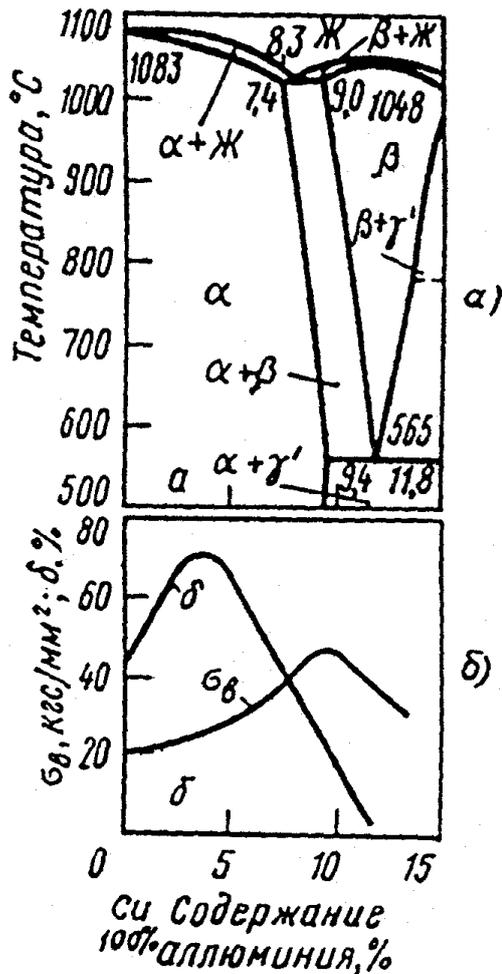


Рис. 15. а - диаграмма Cu-Al;
б - влияние концентрации алюминия на механические свойства алюминиевых бронз

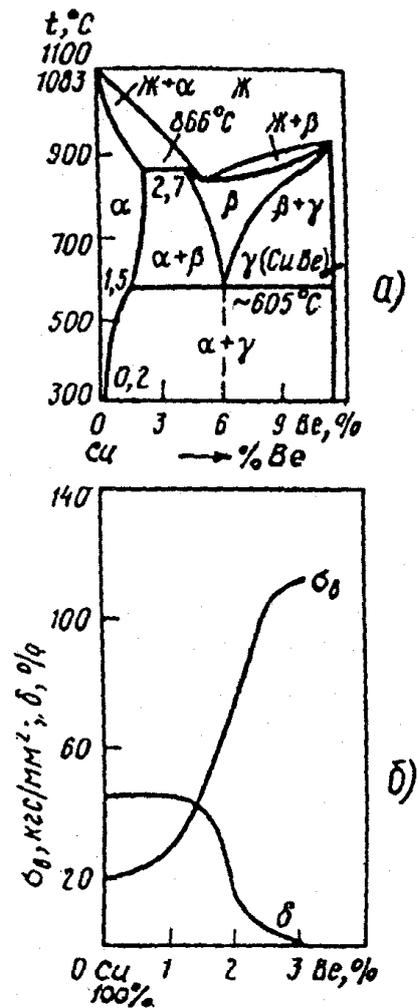


Рис. 16. а - диаграмма Cu-Be;
б - влияние концентрации Be на механические свойства бериллиевых бронз

В заключение укажем на распространение особо высокопрочной, но дорогой бронзы - бериллиевой марки БрБ2. Диаграмма Cu-Be и влияние Be на свойства представлены на рис. 16. На бериллиевой бронзе после термообработки (закалка с $T 780^\circ$ и старение при 320°) можно получить очень высокую прочность $\sigma_b \cong 125 \text{ кгс/мм}^2$, упругость и $НВ \approx 370$. Кремнистые бронзы с 3% кремния отличаются высокой пластичностью, хорошей обрабатываемостью давлением, свариваемостью, упругостью и коррозионной стойкостью.

Наконец, свинцовистая бронза, содержащая обычно около 30% свинца (марка БрС30), используется для подшипников скольжения. Недостаток этих бронз - низкие механические свойства и склонность к ликвации при кристаллизации.

Баббиты

Баббиты представляют собой антифрикционные сплавы на основе олова или свинца. Прежде чем говорить об их свойствах, рассмотрим требования к антифрикционным сплавам. Прежде всего надо указать на то, что материал вкладыша подшипника скольжения должен давать со стальной поверхностью вала малый коэффициент трения. Далее желательно, чтобы твердость материала подшипника не вызывала повышенного износа вала. Необходимо также, чтобы антифрикционный материал выдерживал значительные удельные давления, был бы достаточно пластичным под влиянием местных напряжений, хорошо удерживал смазку. Кроме этих предъявляются и некоторые другие

требования, в том числе технологического характера. Желательно, чтобы антифрикционный сплав имел низкую температуру плавления и при переплавке не давал бы значительного угара компонентов, хорошо бы приставал (припаивался) к стенкам подшипников, обладал бы хорошей теплопроводностью, не корродировал под влиянием смазки.

Указанные выше требования в отношении минимального износа вала (и подшипника) удовлетворяются при определенной структуре антифрикционного сплава. Желательно, чтобы структура состояла из мягкой (пластичной) основы, в которую вкраплены твердые включения. В этом случае подшипник хорошо прирабатывается к валу (после непродолжительной работы) и опирается на твердые включения, так что между валом и вкладышем образовывается пространство, где циркулирует смазка, и через которое удаляются продукты износа. Мягкая основа способна также поглощать попавшие в подшипник твердые частицы, предохраняя шейку вала от задиров. Баббиты изготавливаются нескольких типов. Наилучшими являются баббиты на *оловянистой* основе. Среди них важнейшим и наиболее распространенным является баббит марки Б83 (83% Sn, 11% Sb, 6% Cu). Мягкой основой этого баббита является α -твердый раствор сурьмы в олове, а твердыми включениями - кристаллы химических соединений SnSb и Cu_3Sn (рис. 17). Медь вводится не только для создания твердых включений, но и для предотвращения ликвации по удельному весу при затвердевании. Баббит Б83 имеет очень вязкую и пластичную основу, мало склонен к усталостному разрушению, обладает хорошей теплопроводностью. Он применяется для весьма ответственных подшипников (турбин, турбокомпрессоров и т. д.). Для коренных и шатунных автомобильных подшипников применяют баббит Б89 (7,25-8,25% Sb; 2,5-3,5% Cu; Sn - ост.). Эти баббиты отличаются вязкостью и не дают трещин во время эксплуатации. Однако баббиты на оловянистой основе очень дороги и имеют ограниченное применение. Более дешевыми являются баббиты на *свинцовистой* основе. Баббит марки БС (82% Pb, 17% Sb, 1% Cu) относится к эвтектическим и имеет мягкую основу, представляющую собой эвтектику из кристаллов свинца и сурьмы. Твердыми включениями являются избыточные кристаллы сурьмы (рис. 18). К сожалению, подобные баббиты более хрупки (несмотря на низкую твердость) и имеют значительно более высокий коэффициент трения, чем баббиты на оловянистой основе. Для улучшения свойств (прежде всего упрочнения и понижения коэффициента трения) в баббит вводят олово. Примером такого свинцово-оловяно-сурьмянистого баббита является марка Б16: 15-17% Sn, 15-17% Sb, 1,5-2,0% Cu, Pb - ост.

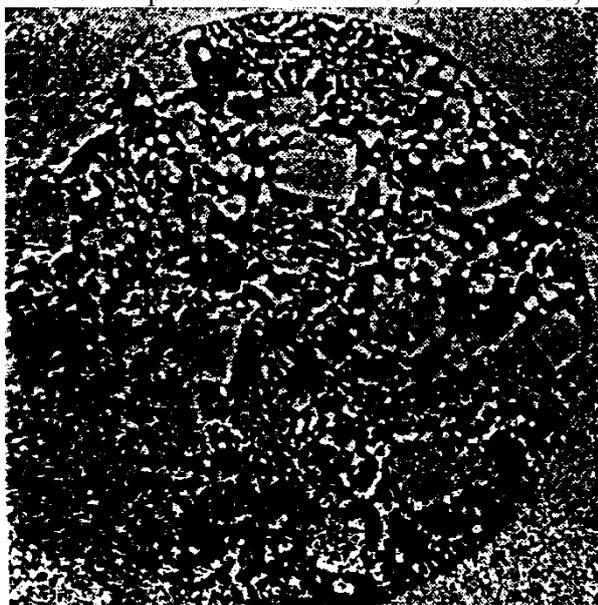


Рис. 17. Микроструктура оловянистого баббита Б83 (X100)

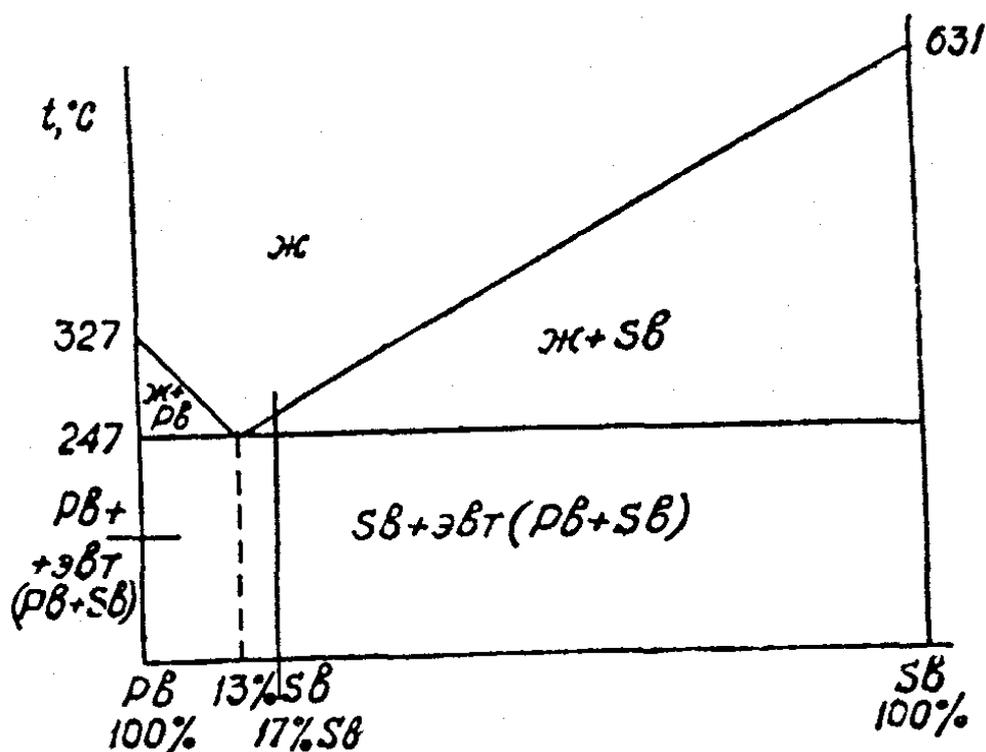


Рис. 18. Диаграмма Pb-Sb

Имеются баббиты на свинцовой основе, содержащие, кроме сурьмы и меди, также олово в количестве от 5 до 11% и другие элементы (баббиты Б6, БН, БТ и др.). В баббитах Б6 и БН содержится мышьяк для измельчения структуры, кадмий для упрочнения, никель (в марке БН) для повышения ударной вязкости, жидкотекучести и сопротивления окислению. Теллур имеется в баббите БТ, что способствует мелкозернистому строению. Все указанные баббиты в той или иной степени применяют как заменители высокооловянистых баббитов.

На железнодорожном транспорте применяются так называемые кальциевые (щелочноземельные) баббиты. Это сплавы на свинцовой основе с добавками кальция и натрия, а иногда еще и с добавками других элементов. Наиболее распространенный кальциевый баббит марки БК содержит 0,85-1,15% Ca, 0,6-0,8% Na, Pb - ост. Мягкой основой здесь является твердый раствор натрия в свинце (это несколько упрочняет свинец), а твердыми включениями являются кристаллы химического соединения Pb_3Ca . Этот баббит менее износостойчив, чем оловянистые, более хрупок, имеет худшие технологические свойства. Однако по сравнению с баббитом БС он более качественный.

Как уже было сказано выше, в промышленности применяются и другие антифрикционные сплавы. Речь идет об оловянистых бронзах (см. выше), используемых при больших давлениях, и о свинцовистой бронзе (см. выше), идущей для ответственных подшипников (высокие скорости, большой предел выносливости и др.). Для неответственных подшипников в последнее время применяют (например, для подшипников некоторых станков) антифрикционный чугуны. Обычно он представляет собой серый перлитный чугун с относительно повышенным количеством графита. Графит как бы является смазкой, понижая коэффициент трения между валом и подшипником.

Задание и методические указания

1. Изучить и зарисовать микроструктуру латуни. Указать, в какой области находится сплав на диаграмме Cu-Zn.
2. Изучить микроструктуру бронзы. Указать, какая фаза более твердая и какая более мягкая.
3. Изучить микроструктуру баббита. Указать, какая фаза более твердая и какая более мягкая.

Вопросы по теоретическому материалу для отчета.

1. Какие сплавы на медной основе Вы знаете?
2. Как изменяются механические свойства латуней в зависимости от содержания цинка?
3. Какие элементы являются вредными примесями в латунях, каково их действие?
4. Какие легированные латуни Вы знаете? Как маркируют латуни?
5. Как изменяются механические свойства оловянистых бронз в зависимости от содержания олова?
6. Каковы технологические свойства бронз?
7. Пользуясь диаграммой Cu-Al, рассмотреть влияние алюминия на структуру и свойства бронзы.
8. В чем заключается термическая обработка алюминиевых бронз?

ОБОРУДОВАНИЕ

1. Образцы сталей и чугунов, с подготовленными микрошлифами.
2. Микроскопы МИМ-7, ММУ-3, ММУ-1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дегтярев М.Г. "Материаловедение. Технология конструкционных материалов". М. КолосС, 2007 г.- 360 с.
2. Колесов С.Н., Колесов И.С. «Материаловедение и технология конструкционных материалов» М.: Высшая школа 2007 г.-535 с.
3. Оськин В.А., Евсиков В.В. «Материаловедение. Технология конструкционных материалов». М.: «КолосС» 2007 г.- 447 с.
4. А.А. Аникин, В.А. Хотинский, А.В. Павлов, А.А. Аникин «Материаловедение» Учебное пособие. Саратов. СГАУ. 2011 г.- 250 с.
5. Оськин В.А., Евсиков В.В. «Материаловедение. Технология конструкционных материалов». М.: «КолосС» 2008 г.- 447 с.
6. «Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов» под ред. Оськина В.А., Байкаловой В.Н. М.: КолосС 2008 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Работа № 1	
Изучение диаграммы Fe-Fe ₃ C. Микроанализ углеродистой стали в равновесном состоянии.....	3
Работа № 2	
Микроанализ структуры чугунов.....	9
Работа № 3	
Структура тяжелых цветных сплавов.....	14
Список литературы.....	21

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

Классификация, маркировка и назначение сплавов

Методические указания по выполнению
практических работ

Направление подготовки
23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы

Саратов 2016

Классификация, маркировка и назначение сплавов: Методические указания по выполнению работ/ Сост. : А.В. Павлов, А.Г. Уфаев; ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова». – Саратов, 2016. – 24 с.

В методических указаниях приведено описание занятия по курсу «Материаловедение и ТКМ», читаемому для студентов. Основная цель – помочь студентам в выполнении всего комплекса лабораторно-практических работ, предусмотренных читаемым курсом лекций.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 СТРУКТУРА, СВОЙСТВА, МАРКИРОВКА И НАЗНАЧЕНИЕ ЧУГУНОВ

1. Цель работы. Изучить структуру, свойства и назначение наиболее используемых в промышленности чугунов.

2. Основные теоретические положения работы.

В зависимости от того, какой металл в сплаве является основным, сплавы подразделяются на:

1. Черные сплавы на основе железа (чугуны, стали)
2. Цветные сплавы на основе меди (латуни, бронзы и др. сплавы), на основе алюминия (деформируемые и литейные сплавы).

ЖЕЛЕЗО (это низкоуглеродистая сталь) служит основой важнейших машиностроительных материалов. Имеет низкое электрическое сопротивление и применяется, главным образом, для магнитопроводов постоянного магнитного поля. По своим свойствам железо подразделяется на: технически чистое железо, содержащее не более 0,04% углерода и является основным компонентом при изготовлении многих магнитомягких материалов, необходимых для магнитопроводов электрических машин, аппаратов и приборов. Промышленностью выпускается в виде элетролитического железа (содержащего 0,002 - 0,004% углерода) и карбонильного железа - 0,005 - 0,01% углерода. Сплавы железа применяются в электротехнике для получения высоких значений магнитной индукции и малой коэрцитивной силы.

ЧУГУН - это железоуглеродистый сплав, содержащий более 2% углерода. Поскольку структура чугуна состоит из металлической основы и графита, то и свойства его будут зависеть как от свойств металлической основы, так и от количества и характера графитных включений. Графит обладает низкими механическими свойствами, и поэтому включения в чугуне можно рассматривать как трещины и пустоты. Отсюда следует, чем больший объем занимают пустоты и трещины в чугуне, тем ниже его свойства. Самые низкие механические свойства получаются тогда, когда графитные включения образуют замкнутый скелет. Такие свойства чугуна, как сопротивление разрыву, изгибу, кручению, в основном зависят от количества, формы и размеров графитных включений. Поэтому свойства чугуна так сильно отличаются от свойств стали. В зависимости от того, в какой форме углерод находится в сплаве, различают белый, серый, ковкий и высокопрочный чугун.

БЕЛЫЙ ЧУГУН содержит 2,5 - 3,0% углерода, который находится в химически связанном состоянии в виде цементита (Fe_3C). Цементит содержит 6,67% углерода, очень хрупок и тверд (НВ 850), температура плавления 1550°C. В связи с этим белый чугун обладает высокой твердостью (НВ 450-550), хрупкостью и не поддается обработке режущим инструментом. Этот чугун находит ограниченное применение для изготовления прокатных валков, лемехов, плугов, шаров для мельниц и других деталей, работающих в условиях износа. Частично идет на переработку в сталь, а в основном на получение ковкого чугуна.

СЕРЫЙ ЧУГУН содержит 3,2,- 3,8% свободного углерода в виде пластинчатой формы, которая рассматривается в металлической

основе чугуна как надрезы и пустоты, снижая его прочностные характеристики. Металлическая основа чугуна зависит от количества углерода и кремния, поэтому может быть ферритной, феррито-перлитной и перлитной. Наиболее высокими механическими свойствами обладает чугун с мелкими (Графитовыми включениями, измельчение которых достигается за счет модифицирования жидкого чугуна небольшими добавками ферросилиция или силикокальция. Серый чугун находит широкое применение в различных отраслях машиностроения и электромашиностроения. Маркируется буквами СЧ (серый чугун) и двумя цифрами, которые показывают минимальное значение предела прочности чугуна на растяжение. Например, СЧ25, СЧ30 и т.д. (Табл. 1).

КОВКИЙ ЧУГУН обычно содержит 2,4 - 2,8% углерода. Получается из белого чугуна в результате длительного графитизирующего отжига, который проходит в две стадии (Рис. 1).

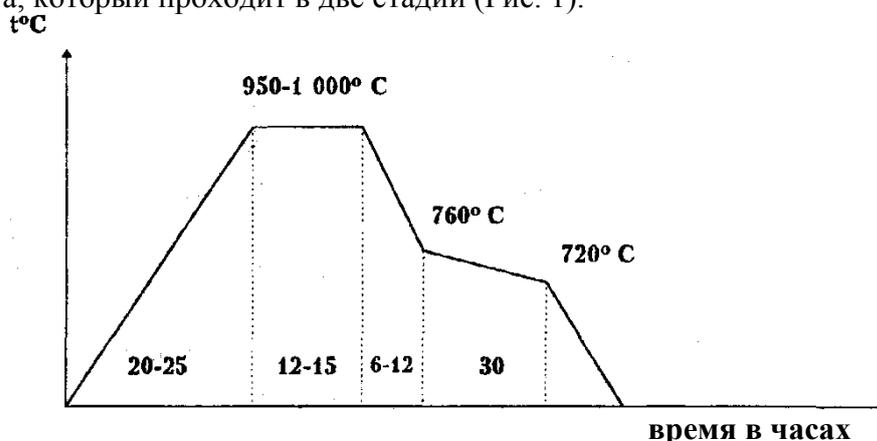


Рис. 1. График режима отжига белого чугуна для получения ковкого чугуна.

Первая стадия заключается в медленном нагреве отливок до 950 - 1000 С и выдержке при этой температуре 12-15 часов. При этом происходит разложение цементита на аустенит и графит. Аустенит - это твердый раствор в Fe.1, держит 2,14% углерода, твердость его (НВ 190), обладает высокой пластичностью. Графит представляет собой темно-серые кристаллы со слабым металлическим блеском, имеет низкую твердость (НВ 3-5).

Вторая стадия заключается в медленном охлаждении отливок до 760-720°C. При этом происходит распад цементита перлита П(Ф+Ц) на феррит и графит. В этом случае структура чугуна состоит из зерен феррита и равномерного распределенного графита хлопьевидной формы. Преимуществом отливок из ковкого чугуна является однородность свойств по всему сечению и отсутствие внутренних напряжений.

Ковкий чугун разделяют на марки по механическим свойствам. Маркируется следующим образом: КЧ означает ковкий чугун и цифрами - первая показывает предел прочности при растяжении, а вторая - относительное удлинение. Например, КЧ33-8, КЧ63-2 (Табл. 1). Из ковкого чугуна изготавливают детали швейных, трикотажных, счетных и сельскохозяйственных машин.

ВЫСОКОПРОЧНЫЙ ЧУГУН содержит 3,0 - 3,5% углерода. Отличительной особенностью этого чугуна являются его высокие механические свойства за счет шаровидной формы графита. Такая форма не оказывает надрезающего воздействия на металлическую

основу чугуна, которая может быть ферритной, феррито-перлитной и перлитной. Шаровидная форма графита может быть получена за счет введения в жидкий чугун эффективных модификаторов - редкоземельных элементов: церий, иттрий, лантан и лигатур на их основе. Высокопрочный чугун также подразделяется на марки в зависимости от механических свойств, причем основными показателями являются предел прочности при растяжении и относительное удлинение. Например, ВЧ45-5, ВЧ70-2 (Табл. 1). Применяется в основном для изготовления деталей ответственного назначения во многих отраслях промышленности.

НЕМАГНИТНЫЙ ЧУГУН применяется тогда, когда наличие магнитных свойств в конструкционном материале может повредить работе электрического прибора или аппарата. Наибольшее применение имеет чугун состава: 2,6 - 3,0% углерода, 2,5 - 2,8% кремния, 5,5-6,0% марганца, 9-12% никеля. Большое электрическое сопротивление этого чугуна дает ему преимущества перед цветными сплавами в отношении потерь на вихревые токи. Немагнитный чугун используется для изготовления крышек и кожухов электродвигателей, втулок масляных выключателей, стоек силовых трансформаторов и других деталей. Маркировка, структура, свойства и области применения перечисленных чугунов приведены в таблице 1.

Феррит - твердый раствор углерода в Fe^{α} , содержит 0,008% углерода, имеет твердость (НВ 80-90).

Перлит - механическая смесь зерен феррита и цементита, содержит 0,8% углерода, имеет твердость (НВ 150-250),

3. Техника безопасности

3.1. Соблюдать инструкцию техники безопасности по использованию электрооборудования (металлографические микроскопы МИМ-6 и МИМ-7, станок для полировки и шлифовки микрошлифов).

3.2. Соблюдать инструкцию пользования химическими реактивами при травлении микрошлифов.

4. Порядок выполнения работы

4.1. Изучить содержание разделов данной лабораторной работы.

4.2. Ознакомиться со структурой чугуна по микрофотографиям, а затем под микроскопом.

4.3. Получить образцы микрошлифов, изготовленных из белого, серого, ковкого и высокопрочного чугуна.

4.4. С помощью микроскопа определить: форму графита в этих чугунах (и зарисовать ее), а также описать и зарисовать схему микроструктур рассматриваемых образцов.

4.5. По проделанной работе составляется письменный отчет.

5. Содержание отчета

Отчет следует писать разборчиво и аккуратно после внимательного ознакомления с лабораторной работой. В нем должно быть отражено:

5.1. Порядковый номер и наименование лабораторной работы.

5.2. Цель выполняемой работы.

5.3. Классификация чугунов, их свойства, маркировка, применение.

5.4. Рисунки графитных включений микроструктуры чугуна.

Структура, механические свойства и назначение чугунов

Марка чугуна	Структура		Механические свойства			Назначение
	Форма графита	Металлическая основа	МПа,	НВ	б, %	
СЧ15 СЧ25	Пластинчатая	Ферритная	98	229	-	Зубчатые колеса, станины, кронштейны и др.
			245	250	-	
СЧ30 СЧ35	Пластинчатая	Феррито-перлитная	294	255	-	Блоки и головки цилиндров, гильзы и др.
			342	269	-	
СЧ40 СЧ45	Пластинчатая	Перлитная	390	285	-	Распределительные валы, седла клапанов, диски.
			440	289	-	
КЧ30-6 435-10	Хлопьевидная	Ферритная	294	163	6	Звездочки приводных цепей, фитинги, детали с/х машин
			362	163	10	
КЧ50-4 КЧ63-2	Хлопьевидная	Перлитная	490	241	4	Детали швейных, счетных, пишущих и др. машин
			615	269	2	
ВЧ35 ВЧ40	Шаровидная	Ферритная	350	170	22	Корпуса электрических машин, крепежных деталей, плит
			400	202	15	
ВЧ45 ВЧ50	Шаровидная	Феррито-перлитная	450	225	10	Валки прокатных станов, изложницы, детали с/х машин
			500	245	7	
ВЧ80 ВЧ120	Шаровидная	Перлитная	800	351	3	Валки прокатных станов, корпуса паровых турбин и др.
			1200	369	2	

6. Вопросы к отчету

- 6.1. Железо, его свойства и области применения в электротехнике.
- 6.2. Что такое чугун? Какие виды чугунов Вы знаете?
- 6.3. Какие формы графитных включений в чугуне Вы знаете?
- 6.4. Как влияют форма и размеры графитных включений на механические свойства чугуна?
- 6.5. В какой форме находится углерод в белом, сером, ковком и высокопрочном чугуне?
- 6.6. Назовите области применения белого чугуна.
- 6.7. Какими особыми качествами характеризуются серые чугуны?

ны?

6.8. Как получают ковкий чугун и где он применяется?

6.9. Как получают высокопрочный чугун? Какими свойствами и за счет чего он отличается от серого и ковкого чугуна?

6.10. Приведите примеры маркировки чугунов.

6.11. Чем отличается немагнитный чугун от других видов чугунов?

6.12. В чем отличие между технически чистым железом, карбонильным и электролитическим железом?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

КЛАССИФИКАЦИЯ, МАРКИРОВКА И НАЗНАЧЕНИЕ СТАЛЕЙ

1. Цель работы. Изучить принципы классификации, маркировки и назначения наиболее используемых в промышленности сталей.

2. Основные теоретические положения работы

Основной продукцией черной металлургии является сталь, причем 80% этой продукции изготавливается из углеродистой стали (необходимой для изготовления различных металлоконструкций и изделий машиностроения), а 20% - из легированной. Таким образом, основным металлическим материалом промышленности является углеродистая сталь. Сталь - это железоуглеродистый сплав с содержанием углерода менее 2%. Достоинством сталей является возможность получать стали с необходимыми свойствами за счет изменения химического состава и вида термической обработки. В настоящее время существует свыше 1700 марок сталей, но несмотря на это разрабатываются новые марки сталей и совершенствуются технологические процессы их получения. Существует несколько классификаций, позволяющих систематизировать стали, что упрощает поиск нужной марки с учетом ее свойств.

Стали классифицируют по **химическому составу, качеству** и по **назначению**. По химическому составу все стали делятся на две группы: **углеродистые и легированные**. В основе классификации сталей по качеству лежит содержание вредных примесей - серы и фосфора. В зависимости от их содержания различают углеродистую сталь обыкновенного качества, качественную и сталь высококачественную. По назначению стали подразделяют на три основные группы: конструкционные, инструментальные (в основу классификации этих сталей положено содержание углерода) и стали с особыми свойствами.

Стали, содержащие до 0,25% углерода, используют как котельные и строительные. Низкое содержание углерода в этих сталях объясняется тем, что детали котлов и строительных конструкций соединяют сваркой, а углерод, как известно, ухудшает свариваемость.

Для деталей, испытывающих ударные нагрузки, применяют стали, содержащие 0,30 - 0,50% углерода, с последующей термообработкой.

Для пружин и рессор используют стали, содержащие 0,50-

0,70% углерода после соответствующей термической обработки К *сталям* с особыми свойствами при их выплавке предъявляются очень высокие требования относительно точного химического состава и чистоты по примесям. К этим сталям относятся: кислотоупорные, жаропрочные, коррозионостойкие, жаростойкие, а также магнитные стали и сплавы, без которых немыслимы электрические машины, трансформаторы и электроизмерительные приборы. Основным материалом, используемым в электромашиностроении, является листовая электротехническая сталь, представляющая собой ферритный сплав железа с кремнием (до 0,3% кремния). Кремний способствует увеличению электрического сопротивления, магнитной проницаемости, а также уменьшению потерь на вихревые токи и старению стали.

УГЛЕРОДИСТЫЕ стали обыкновенного качества содержат по 0,05% серы и фосфора, выпускаются в виде проката (листов, прутков, балок и др.). Сталь маркируют буквами Ст и цифрами от 0 до 6, показывающими условный номер марки. Эти стали дешевые, их выпуск составляет 80% от всего производства леродистых сталей.

Из сталей Ст1 - Ст4 изготавливают арматуру, фермы, рамы. Из сталей марок Ст5 – Ст6 изготавливают рельсы, шкивы, шестерни, а также делали грузоподъемных и сельскохозяйственных машин.

Качественные стали содержат до 0,03% серы и фосфора, менее загрязненные неметаллическими включениями, поставляются в виде проката, поковок и других полуфабрикатов. Маркируются двузначными цифрами (15, 50, 80), указывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента. В зависимости от количества углерода подразделяют на:

низкоуглеродистые (0,5, 08, 10, 15, 25) - отличаются малой прочностью и, высокой пластичностью в холодном состоянии. Производятся в виде тонкого листа для штамповки.

среднеуглеродистые (40, 45, 50, 55) - имеют повышенную прочность, но меньшую пластичность и вязкость. Применяются для изготовления валов, шатунов, зубчатых колес и других деталей.

высокоуглеродистые (65, 75, 80, 85) - применяют в основном для изготовления рессор и пружин в тракторном и сельскохозяйственном машиностроении.

Высококачественные стали отличаются минимальным содержанием серы и фосфора (по 0,035%). Для обозначения марок легированных сталей принята буквенно-цифровая система, в которой легирующие элементы обозначаются буквами: хром - Х, никель - Н, молибден - М, вольфрам - В, кобальт - К, титан - Т, марганец - Г, азот - А, медь - Д, ванадий - Ф, кремний - С, фосфор - П, алюминий - Ю, ниобий - Б. Марка стали обозначается сочетанием букв и цифр. Например, 17ХН5, в которой первые цифры показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента, а содержание легирующих элементов, если оно превышает 1%, ставят после соответствующей буквы в целых единицах. Например, 25ХГТ, 45ХЗД2Ю, где 0,45% углерода, 3% хрома, 2% меди и около 1% алюминия. Для обозначения высокого качества стали в конце марки ставят букву А. Например, 15ХНГА и т.д. Высококачественные стали имеют то же назначение, что и качественные, но чаще использу-

ются для инструментов с более тонкой режущей кромкой.

Конструкционные стали должны обладать в первую очередь конструктивной прочностью, под которой необходимо понимать четыре критерия: жесткость конструкции, прочность материала, надежность и долговечность материала в условиях работы данной конструкции.

Автоматные стали отличаются хорошей обрабатываемостью резанием и предназначены для изготовления деталей массового производства на станках-автоматах (болты, гайки, втулки, шайбы, и другие детали). Стали маркируют буквой "А" - автоматная и цифрами, показывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента. Например, А12, А20, А30. Введение в сталь небольших добавок свинца улучшает обрабатываемость резанием - АС 12, АС20, АС30. Добавки марганца, никеля, хрома повышают прочностные свойства - АС20Г, АС12ХГН и т.д. Поставляются автоматные стали в виде проката различного сечения.

Шарикоподшипниковые стали применяются для изготовления деталей шарикоподшипников (кольца, шарики, ролики), рабочие поверхности которых испытывают высокие переменные нагрузки. Поэтому эти стали должны обладать высокой твердостью, износостойкостью, выносливостью. Для изготовления подшипников применяют высокоуглеродистую сталь (до 1% углерода), легированную хромом, марок ШХ6, ШХ9, ШХ15, в которых ШХ - шарикоподшипниковая, хромистая, а цифра показывает среднее содержание хрома в десятых долях процента. Шарики и ролики небольшого диаметра изготавливают из стали ШХ6 и ШХ (диаметром более 22мм - из стали ШХ15, а крупногабаритные подшипники - из стали марки 20Х2Н4А. Для работы подшипников в агрессивных средах используют нержавеющую высокоуглеродную сталь 95Х18.

Пружинно-рессорные стали должны обладать высоким пределом упругости и выносливости при достаточной пластичности и вязкости. Этим требованиям удовлетворяют стали с содержанием 0,50 - 0,70% углерода, основными легирующими элементами которых являются марганец и кремний. Например, 55СГ2, 50ХГ. Крупные, наиболее ответственные пружины, изготавливают из сталей 65С2ВА, 60С2ХФА и др. Более высокая упругая прочность пружин достигается термической обработкой.

Высокопрочные стали. Новейшая техника предъявляет все более жесткие требования к материалам, обладающим высокой прочностью и вместе с этим - пластичностью и вязкостью. В обычных конструкционных сталях предел прочности получается 1100 - 1200 МПа, так как при большей прочности сталь становится хрупкой. Стали, в которых за счет подбора химического состава и специфической термической обработки получают предел прочности 1800 :2500 МПа, называют **высокопрочными**.

К таким сталям относятся стали обычного состава, но мелкозернистые и высокочистые, легированные хромом, вольфрамом, никелем, молибденом, кобальтом и др. Например, высокими прочностными свойствами обладает сталь марки Н18К9М5Т, содержащая: 18% никеля, 8% кобальта, 5% молибдена и 0,8% титана. Такая сталь имеет предел прочности 2100 МПа, относительное удлинение 10%, ударную вязкость 25%. Более высокими прочностными свойствами с

хорошей пластичностью и вязкостью обладают стали с минимальным (менее 0,03%) количеством углерода. Основным легирующим элементом является никель (15 - 26%). Например, сталь марки H25M7K10T2, содержащая: 25% никеля, 7% молибдена, 10% кобальта и 2% титана, имеет предел прочности 26000 МПа, относительное удлинение 14% с ударной вязкостью 40%.

Однако, высокая стоимость никеля, кобальта и других элементов ограничивает широкое применение таких сталей. В связи с этим, разработаны новые экономнолегированные стали: H8X6MTЮ, 10H4Г4X2МЮ и др.

Высокопрочные стали используют для изготовления шасси самолетов, оболочек космических летательных аппаратов, прецизионных хирургических инструментов и штампов. Используют эти стали и для криогенной техники, так как при отрицательных температурах они обладают высокой прочностью и достаточной пластичностью.

Инструментальные стали - подразделяются на стали режущего инструмента, измерительного и штампов. Поэтому эти стали выбирают от свойств обрабатываемого металла, качества обрабатываемой поверхности и точности размеров. В связи с этим инструментальные стали должны обладать высокой твердостью, износостойкостью, прочностью и теплостойкостью.

углеродистые инструментальные стали содержат 0,65 - 1,35% углерода и подразделяются на марки У7, У8, У9, У10, У 11, У 12, У 13. Буква "У" - углеродистая сталь, а цифра показывает среднее содержание углерода в десятых долях процента. Из сталей марок У7, У8 изготавливают плоскогубцы, зубила, топоры, молотки. Из сталей У9, У10 - пилы, ножовки, напильники, шаберы. Из сталей У 11, У 12 - штампы для холодной штамповки и небольшие прессформы для пластмасс. Из стали У13 изготавливают инструменты повышенной износостойкости: бритвенные ножи, лезвия, острые хирургические инструменты. Основным недостатком этих сталей является их низкая теплостойкость - при нагреве свыше 200 С твердость инструмента резко снижается.

Легированные инструментальные стали содержат 0,9 - 1,35% углерода. Суммарное содержание легирующих элементов не должно превышать 5%. Хром, вольфрам, марганец, ванадий, кремний используют, главным образом, для повышения прокаливаемости стали, (под прокаливаемостью понимают глубину прокаливания закаленной зоны). Следует заметить, что высокая твердость и износостойкость стали мало зависят от степени легирования. По характеру легирования, свойствам и области применения стали делятся на две группы:

1. Небольшой прокаливаемости (стали марок 9ХФ, ХВ4, 11ХФ, 13Х).
2. Повышенной прокаливаемости (стали марок 9Х, 9ХС, ХГС, ХВГС).

Стали 1-й группы предназначены для изготовления бритвенных ножей, лезвий, хирургического и гравильного инструмента. Стали 2-й группы используются для изготовления режущего инструмента (метчики, плашки, развертки, протяжки) и штампового инструмента ответственного назначения.

Быстрорежущие стали содержат 0,7 - 1,5% углерода и предназначены для изготовления высокопроизводительного инструмента. Основное свойство этих сталей - высокая теплостойкость, которая обеспечивается введением в сталь большого количества вольфрама

совместно с карбидообразующими элементами (кобальт, ванадий, молибден).

Быстрорежущая сталь обозначается буквой "P", (от слова "рапид" - скорость), а следующая за ней цифра показывает содержание вольфрама в процентах. Например, сталь марки P6, P9, P18, P20. Если сталь дополнительно содержит молибден, ванадий, кобальт, то в марке указывают буквы M, Ф, К, а цифры их количество в процентах. Например, P6M5, P10K5Ф6, P18Ф2K8M и др. По своим режущим свойствам стали делятся на две группы: нормальной производительности - это вольфрамовые (P18, P12, P9, P6) и вольфрамомолибденовые (P6M5, P9M4, P12M3). Твердость ВДС 55-60;

- стали, содержащие кобальт и ванадий (P10K5Ф4, P9K3Ф5 и др.), сохраняющие твердость НДС 64 при 650 С. Применяются для обработки высокопрочных нержавеющей сталей, где их большая стоимость окупается этим режущим инструментом.

Стали для измерительных инструментов. Измерительные инструменты должны сохранять свою форму и размеры в течение продолжительного времени. Поэтому инструменты должны изготавливать из стали, обладающей высокой твердостью, износостойкостью, а во избежание изменения размеров инструмента иметь минимальный температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛМ). Обычно для измерительных инструментов применяют высокоуглеродистые стали марок У10-У12, Х (1,0% углерода, 1,5% хрома), сталь ХГ (1,5% хрома, 0,6% марганца, 1,5% углерода). Измерительные линейки, скобы, шайбы, плоские и длинные инструменты изготавливают из листовой стали марок 15Х и 15ХГС.

Штамповые стали предназначены для изготовления инструментов, применяемых для обработки металлов давлением. Различают стали для штампов холодного и горячего деформирования.

Стали для штампов холодного деформирования должны обладать высокой износостойкостью, прочностью, вязкостью. Для их изготовления используют стали марок У10-У12, а для штампов, испытывающих ударные нагрузки - стали марок 5ХС4, 4ХМН, 6ХГМ и др.

Стали для штампов горячего деформирования кроме перечисленных свойств должны обладать жаропрочностью и теплостойкостью. Для штампов, испытывающих большие ударные нагрузки, используют стали с содержанием 0,5 - 0,6% углерода, легированные хромом, никелем, марганцем, увеличивающие прокаливаемость и вязкость стали (5ХНГ, 6ХНТГ, 4ХНСВМ).

Инструмент, работающий с разогревом поверхности до 600-700 С (матрицы, прессформы, для литья алюминиевых сплавов, выталкиватели для отверстий), изготавливают из сталей, содержащих ванадий (4Х5В2ФС, 5Х4ВФ3М, 6ХВСФ2 и др.).

Для литья металлов с низкой температурой плавления (олово, цинк) прессформы изготавливают из сталей 3ОХГС, 40Х, 45, 60. Прессформы для пластмасс изготавливают из легированных, цементируемых и азотированных сталей марок 9Х18, Х16МФ, 40Х13, 35Х15МС.

Электротехническая сталь изготавливается в виде

листов, которые используют для изготовления сердечников трансформаторов, магнитопроводов электрических машин и аппаратов переменного и постоянного тока. Листовая электротехническая сталь подразделяется по: сортаменту (главным образом по толщине), способу производства (холоднокатаная или горячекатаная), степени легированная кремнием, основным магнитным характеристикам (магнитной индукции и удельных потерь). Следует заметить, что удельные потери на перемагничивание тем меньше, чем тоньше лист, поэтому листовую электротехническую сталь изготавливают толщиной 0,1; 0,2; 0,35; 0,50; 1 мм.

Для этих сталей принята иная система маркировки, чем для обычных сталей и маркируются они следующим образом: после буквы "Э" следует две или больше цифр. Первая цифра за буквой "Э" показывает содержание кремния в пределах: 1,8; 2,8; 3,8; 4,8, что соответствует цифрам 1, 2, 3, 4. Вторая цифра характеризует уровень электротехнических свойств (нормальные (1), пониженные, низкие (3) удельные потери при частоте тока 50Гц; цифра 4 - нормальные при частоте тока 400Гц. После первых двух цифр иногда ставят один или два нуля, которые показывают, что сталь холоднокатаная текстурованная (один ноль) и что холоднокатаная слаботекстурованная (два нуля). Например, сталь марки Э12 означает электротехническую горячекатаную, содержащую 1% кремния, второго уровня, а марка Э1200 - такую же сталь, но холоднокатаную слаботекстурованную. Листовая электротехническая сталь разделяется на 34 марки. Стали марок: Э11, Э12, Э21, Э22, Э31, Э32, Э42, Э43 относятся к горячекатаной стали.

Стали марок: Э310, Э320, Э420 относятся к холоднокатаной текстурованной стали.

Стали марок: Э1100, Э1200, Э3100, Э3200, Э4200 относятся к холоднокатаной малотекстурованной стали.

Немагнитные стали применяются, в основном, для изготовления деталей электрических приборов и аппаратов. Ранее для их изготовления использовали латунь и бронзу. В настоящее время применяют более дешевые немагнитные стали марок 55Г9Н9ХЗ, 45Г17ЮЗ, обладающие достаточно высокими механическими свойствами, чем у бронз и латуней. Однако эти стали не являются коррозионно устойчивыми, «о стойкость у них выше, чем в обычных углеродистых сталях. При одновременном требовании немагнитности и коррозионной устойчивости следует применять нержавеющие стали (типа 12Х18Н12).

3. Техника безопасности

3.1. Соблюдать инструкцию техники безопасности по использованию электрооборудования (металлографические микроскопы МИМ-6 и МИМ-7, станок для полировки и шлифовки микрошлифов).

3.2. Соблюдать инструкцию пользования химическими реактивами при травлении микрошлифов.

4. Порядок выполнения работы

4.1. Изучить содержание разделов данной лабораторной работы.

4.2. Ознакомиться со структурой стали вначале по микрофотограммам, а затем под микроскопом.

4.3. Получить образцы стали (дозвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной); определить, к какому классу сталей они относятся и зарисовать схему микроструктуры рассмотренных образцов. При зарисовке схемы микроструктуры показать стрелкой структурные составляющие с соответствующей надписью (феррит, аустенит, перлит). Рисунки выполнить в квадратной рамке 40 x 40 мм.

4.4. По проделанной работе составляется письменный отчет, в котором указывается стальная часть диаграммы железо-углерод и схемы просмотренных микроструктур.

5. Содержание отчета

Отчет следует писать разборчиво и аккуратно после внимательного ознакомления с лабораторной работой. В нем должно быть отражено:

- 5.1. Порядковый номер и наименование лабораторной работы.
- 5.2. Цель выполняемой работы.
- 5.3. Классификация сталей, их свойства, маркировка, применение.
- 5.4. Рисунки схем просмотренных микроструктур (дозвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной стали).

6. Вопросы к отчету

- 6.1. Что называется сталью?
- 6.2. Что называется ферритом, аустенитом, перлитом?
- 6.3. Как классифицируются стали?
- 6.4. Приведите пример маркировки стали обыкновенного качества.
- 6.5. Что называется доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной сталью? Назовите их структурные составляющие.
- 6.6. В чем главное отличие качественных сталей от высококачественных? Как они маркируются?
- 6.7. Расшифруйте стали: А12, А20, АС18, АС20Г, А12Г.
- 6.8. Расшифруйте стали: Р9, Р18, Р6М5, Р20К5, Р12К4Ф6.
- 6.9. Какие стали называются высокопрочными?
- 6.10. Расшифруйте стали: У8, У12, У9А, У13А.
- 6.11. Что называется прокаливаемостью стали?
- 6.12. Назовите области применения быстрорежущей стали.
- 6.13. Расшифруйте стали: ШХ6, ШХ9, ШХ15.
- 6.14. Каким основным свойством обладают быстрорежущие стали?
- 6.15. Из каких марок сталей изготавливают штампы для холодного и горячего деформирования?
- 6.16. Какими свойствами должны обладать стали для измерительных инструментов? Приведите примеры марок этих сталей.
- 6.17. Назовите области применения листовой электротехнической стали. Расшифруйте стали марок: Э12, Э220, Э3200, Э11, Э4200.
- 6.18. Где и с какой целью применяются немагнитные стали?

МЕДЬ И СПЛАВЫ НА ЕЕ ОСНОВЕ

1. Цель работы: Изучить свойства, маркировку и применение меди и сплавов на ее основе.

2. Основные теоретические положения работы

Медь - пластичный металл красновато-розового цвета с температурой плавления 1083 С, обладает хорошей технологичностью, легко прокатывается в тонкие листы, ленту. Медь хорошо полируется, паяется и сваривается, из нее получают тончайшую проволоку.

Медь характеризуется высокой теплопроводностью и электропроводностью, поэтому является важнейшим проводниковым материалом, лишь незначительно уступая серебру. Половину выпускаемой меди потребляет электротехническая промышленность. Выпускается промышленностью марок: МОО (99,99% меди), МО (99,97% меди), М1 (99,90% меди), М2, М3, М4. Поставляется в виде полуфабрикатов - прутков, полос, листов, лент, проволоки. Электропроводность меди существенно снижается даже при наличии незначительного количества примесей. Прочность и технологические свойства меди также понижаются от минимального количества примесей таких как висмут, свинец, сера, кислород - уменьшают пластичность меди. Поэтому для электротехнических целей используют электролитическую медь марок МОО, МО, М1.

В зависимости от механических свойств различают медь твердую, холоднокатаную (медь МТ), из нее изготавливают шины распределительных устройств, пластины коллекторных машин и проводов для линий электропередач. Медь мягкую (медь ММ), отожженную при 300-350 С в специальных электропечах без доступа воздуха (во избежание окисления). Из этой меди изготавливают, главным образом, проволоку, которая выпускается в бухтах диаметром от 0,02 до 10 мм. Применяется в качестве токопроводящих жил, кабелей и обмоточных проводов.

Медь нашла самое широкое распространение для изготовления проводов электрических машин и аппаратов (в том числе диаметром, равным тысячным долям миллиметра), стержней, трубок, полос трапецевидного сечения для коллекторных пластин. Необходимо отметить особенности меди при применении в сельскохозяйственном производстве - она усиленно корродирует в атмосфере животноводческих ферм, содержащих пары аммиака.

Из-за малой механической прочности меди (прочность 200-250 Мпа, НВ 45-50, относительное удлинение 45-50%) чистую медь не используют как конструкционный материал, поэтому в отдельных случаях в качестве проводникового материала применяют медные сплавы. По химическому составу медные сплавы подразделяются на три группы: латуни, бронзы и медноникелевые сплавы.

ЛАТУНЬ - это сплав меди с цинком (до 35% - при большем его содержании медь становится хрупкой), обладает повышенной прочностью, коррозионной стойкостью, обрабатываемостью резанием. Латунь наиболее распространенный в приборостроении материал. Латунные полуфабрикаты поставляются в твердом (Т), полутвердом (ПТ) и мягком состоянии в зависимости от способов их получения. маркируются латуни следующим образом: сплав обозначается буквой "Л" - латунь, затем следуют буквы основных легирующих элемен-

тов: А - алюминий, Ж - железо, К - кремний, Мц - марганец, Н - никель, О - олово, С - свинец, Ф - фосфор, Ц - цинк, Б - бериллий. Например, латунь марки ЛАЖМц 66-6-3-2 это алюминиевожелезо-марганцовистая латунь, содержит 66% меди, 6% алюминия, 3% железа, 2% марганца, остальное - цинк. Добавки легирующих элементов к латуни придают ей специальные свойства:

Алюминий (до 4%) - повышает прочность, снижает пластичность.

Железо (более 0,03%) придает латуни магнитные свойства.

Кремний повышает литейные и коррозионные свойства.

Марганец (до 4%) повышает упругость и прочность латуни.

Свинец улучшает обрабатываемость резанием.

Никель и олово повышают коррозионную стойкость в морской воде.

По технологическому признаку латуни подразделяют на литейные и деформируемые.

Литейные латуни. В марках этих латуней указывается содержание цинка, а количество каждого легирующего элемента ставится за буквой, обозначающей его название. Например, ЛЦ40Мц3А содержит 40% цинка, 3% марганца, 1% алюминия. Наиболее применяемыми латунями являются ЛМцЖ 55-3-1, ЛС 59-1, ЛМцОС 58-2-3-4, ЛЖЦ 53-2-1. Эти латуни предназначены для получения фасонных отливок и поставляются в виде чушек различных размеров.

Деформируемые латуни. Выпускаются в виде простых латуней (Л80, Л68, Л65, Л96) и сложных (ЛА 77-2, ЛЖС59-1-2, ЛС552), поставляются в виде проволоки, прутков, полос, лент, листов, труб.

БРОНЗА - это сплав меди со всеми элементами кроме цинка. Название бронзам дают по основным легирующим элементам. Так, их подразделяют на оловянные, алюминиевые, бериллиевые, кремнистые, марганцовистые и т.д. Бронза обладает высокими механическими свойствами (особенно упругими), коррозионностойкая, немагнитна, имеет высокую тепло- и электропроводность. Применяется в приборостроении для изготовления упругих чувствительных элементов (пружин и пружинистых деталей), а также в качестве немагнитного материала.

Оловянная бронза - это сплав меди с оловом (БрОЦС-6-5-3, БрОЦС4-3-4, БрОЗЦ12С5, Бр04Ц4С17 (следует заметить, что в бронзах в качестве легирующей добавки может присутствовать цинк). Маркируется следующим образом: БрОЦС-6-4-2, где Бр - бронза, содержит 6% олова, 4% цинка, 2% свинца, остальное - медь. Поставляется прутками, лентами, полосами и проволокой. Бронзы используют для изготовления круглых и плоских пружин в точной механике, электротехнике, химическом машиностроении и других областях промышленности.

Алюминиевые **бронзы** обладают высокой прочностью, антифрикционной стойкостью, морозостойки, немагнитны и не содержат дефицитных элементов. Обычно в алюминиевых бронзах содержится 9-11% алюминия, но помимо алюминия бронзы могут быть легированы железом, никелем, марганцем. Например, БрА5, БрАЮ, БрАЖ9-4, БрАЖМц 10-3-1,5, где Бр - бронза, содержит 10% алюминия, 3% железа, 1,5% марганца. Бронза поставляется прутками, лентами, полосами, проволокой. Из алюминиевых бронз изготавливают

зубчатые колеса, сальники, детали турбин, электропроводные пружины. Они хорошо работают в условиях износа, повышенного давления и повышенных температур.

Бериллиевые бронзы содержат 2 - 2,5% бериллия. Бериллиевую бронзу марки БрБ2 используют в приборостроении для изготовления ответственных пружин, мембран и других пружинящих деталей. Она химически стойка, хорошо сваривается и обрабатывается режущим инструментом, поэтому из нее делают электрические контакты и ударный инструмент для работы во взрывоопасных атмосферах.

Кремнистые бронзы применяют в качестве заменителей оловянистой бронзы. Они содержат до 3% кремния. Эти бронзы имеют хорошие литейные свойства, обрабатываются резанием и деформируются в горячем состоянии. Обладают высокой упругостью и антикоррозионной стойкостью, эти бронзы используют для деталей, работающих до 500 С.

Наиболее распространенными являются бронзы БрКН1-3, БрКМц3-1, из них изготавливают детали, работающие в тяжелых условиях (штулки, клапаны, плоские и круглые пружины). Иногда эти бронзы используют как заменитель дорогой бериллиевой бронзы.

СПЛАВЫ НА МЕДНОНИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ это в основном резистовые терморезистивные сплавы. Они должны обладать большим удельным сопротивлением, малым температурным коэффициентом сопротивления, не окисляться и не оплавляться при высокой температуре.

Сплавы высокого сопротивления по своему применению подразделяются на три группы:

1. Для измерительных приборов.
2. Для реостатов.
3. Для электронагревательных приборов.

Основными сплавами для измерительных приборов являются:

Манганин - это сплав, содержащий 86% меди, 12% марганца, 2% никеля, с рабочей температурой до 200°C. Он обладает высоким удельным сопротивлением, технологичен - легко поддается пластической деформации, эмаливому покрытию (изоляции), хорошо паяется. Выпускается в виде листов, полос, лент, проволоки. Неизолированная манганиновая проволока марок МНМц3-12 и МНМцАЖ3-12-0,2-0,3 изготавливается в виде проволоки диаметром от 0,02 до 6мм. Следует заметить, что манганин - наилучший материал для образцовых резисторов (сопротивлений), магазинов сопротивлений и шунтов.

Константан - это сплав, содержащий 60% меди и 40% никеля. Например, сплав марки МНМц40-1,5 содержит 40% никеля, 1,5% марганца, остальное - медь. По механическим свойствам константан близок к манганину, применяется для изготовления реостатов и электронагревательных элементов, длительно работающих при температуре 450 С.

Реостатные сплавы имеют, как правило, медную основу, но для удешевления стоимости сплава примерно половина содержания никеля заменяется цинком и железом. Длительно допустимая рабочая температура этих сплавов 200-300 С.

Сплавы для электронагревательных приборов имеют в своей основе никель, хром, алюминий. Основные из этих сплавов - нихром, ферронихром, фехраль, хромаль. Наиболее распространенным в производстве является нихром - это сплав, основой которого является никель, а основным легирующим элементом - хром. Отличается высокой рабочей температурой (свыше 1000 С). Из марок нихрома, таких как ХН60Ю, ХН78Т, изготавливают нагревательные элементы для электрических печей, а также применяют для ненагруженных деталей, работающих в окислительных средах.

Сплавы для изготовления термопар применяются в металлургии для замера температуры жидкого металла при его выплавке.

Приводится их химический состав и температура измерений:

копель (56% меди и 44% никеля) до 600 С;

алюмель (95% никеля, алюминий и кремний остальное) до 1000°С;

хромель (90% никеля и 10% хрома) до 950 С;

платинородий (90% платины и 10% родия) 1600-1700°С.

3. Техника безопасности

3.1. Соблюдать инструкцию техники безопасности по использованию электрооборудования (металлографические микроскопы МИМ-6 и МИМ-7, станок для полировки и шлифовки микрошлифов).

3.2. Соблюдать инструкцию пользования химическими реактивами при травлении микрошлифов.

4. Порядок выполнения работы

4.1. Изучить содержание разделов данной лабораторной работы.

4.2. Ознакомиться со свойствами, маркировкой и применением меди и сплавов на ее основе.

4.3. Получить протравленные микрошлифы из меди, латуни, бронзы и сравнить их микроструктуру под микроскопом.

4.4. По проделанной работе составляется письменный отчет.

5. Содержание отчета

Отчет следует писать разборчиво и аккуратно после внимательного ознакомления с лабораторной работой. В нем должно быть отражено:

5.1. Порядковый номер и наименование лабораторной работы.

5.2. Цель выполняемой работы.

5.3. Свойства, маркировка меди и ее сплавов, их применение.

6. Вопросы к отчету

6.1. Какая медь используется для электротехнических целей?

6.2. Какие примеси и как они влияют на электропроводность меди?

6.3. Какие сплавы на медной основе Вы знаете?

6.4. Что такое латунь? Какими свойствами она обладает?

6.5. Какие легирующие элементы и как они влияют на свойства латуни?

6.6. Приведите примеры маркировки литейных и деформированных латуней.

- 6.7. Что такое бронзы? Какими свойствами они обладают?
- 6.8. Приведите примеры маркировки бронз: оловянистой, алюминиевой, бериллиевой и кремнистой. Где они применяются?
- 6.9. Какие сплавы высокого сопротивления применяются для измерительных приборов? Дайте им краткую характеристику.
- 6.10. Что такое нихром? Его свойства, применение.
- 6.11. Какие сплавы для термопар Вы знаете?
- 6.12. Где и с какой целью применяются термопары?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

АЛЮМИНИЙ И СПЛАВЫ НА ЕГО ОСНОВЕ

1. Цель работы: Изучить свойства и применение алюминия и сплавов на его основе.

2. Основные теоретические положения работы.

Алюминий - металл серебристо-белого цвета, является одним из наиболее легких конструкционных материалов; его плотность 2,7 г/см³. Технически чистый алюминий имеет температуру плавления (657°C), незначительную прочность, низкую твердость, но очень высокую пластичность и коррозионную стойкость, немагнитен. Характеризуется хорошей теплопроводностью и электропроводностью, легко обрабатывается давлением и сваривается всеми видами сварки.

Постоянные примеси (железо, кремний, медь, цинк, титан) ухудшают эти свойства. В зависимости от содержания указанных примесей первичный алюминий делится на три группы: особой чистоты (0,001% примесей); высокой чистоты (0,005% - 0,05% примесей); технической чистоты (0,15% - 1,0% примесей) (таблица 1).

Поэтому для электротехнических целей используется алюминий, содержащий не более 0,5% примесей -

Благодаря высокой теплопроводности алюминий используется для различных теплообменников, в промышленных и бытовых холодильниках.

АЛЮМИНИЙ является вторым по значению удельной электрической проводимости (после меди) проводником электрического тока. Поэтому имеет широкое применение в производстве конденсаторов, проводов, кабелей. Помимо перечисленных свойств алюминия следует отметить его высокую отражательную способность, в связи с этим он используется для прожекторов, рефлекторов, экранов телевизоров.

В электропромышленности алюминий нашел широкое распространение для заливки короткозамкнутых роторов асинхронных электродвигателей. Для замены свинца в защитных кабельных оболочках используется алюминий с содержанием примесей не более 0,01%.

Из-за низкой механической прочности алюминий не может быть использован в качестве конструкционного материала. Поэтому алюминий применяется в виде сплавов с металлами и неметаллами (кремний, медь, марганец, железо, никель, титан, бериллий). Полученные алюминиевые сплавы сочетают в себе лучшие свойства чистого алюминия и повышенные прочностные характеристики легирующих добавок. К сплавам, используемым в электротехнике, предьяв-

ляются определенные требования по электропроводности, усталостной прочности и способности к изгибу.

Таблица 1

Маркировка и химический состав первичного алюминия

№ группы	Марка сплава	Содержание алюминия, %	Содержание примесей, %	Способ получения	Назначение
1.	ОСОБОЙ ЧИСТОТЫ				
	A999	99,999	0,001	Электротехническим процессом	Для химического анализа (эталон).
2.	ВЫСОКОЙ ЧИСТОТЫ				
	A995	99,995	0,005	Путем электролитического рафинирования	Для особой химической аппаратуры, электролитических конденсаторов, исследовательских и других работ.
	A99	99,99	0,010		
	A97	99,97	0,030		
	A95	99,95	0,050		
3.	ТЕХНИЧЕСКОЙ ЧИСТОТЫ				
	A85	99,85	0,15	Путем электролиза в электролитических ваннах	Для изготовления фольги, особых случаях плакировки, токопроводящих изделий, получения алюминиевых сплавов спецназначения.
	A8	99,80	0,20		
	A7	99,70	0,30		
	A6	99,60	0,40		Для получения кабельных проводов и приготовления алюминиевых лигатур.
	A5	99,70	0,50		

По технологическому признаку алюминиевые сплавы подразделяются на деформируемые и литейные. Деформируемые алюминиевые сплавы подразделяются в свою очередь на две группы: сплавы, не упрочняемые термической обработкой и сплавы, упрочняемые термической обработкой, (термообработка заключается в закалке и старении).

Деформируемые сплавы, не упрочняемые термической обработкой

К этим сплавам относятся сплавы алюминия с марганцем и сплавы алюминия с магнием, обозначаются соответственно АМц и АМг. Наибольшее применение имеют сплавы марки АМц (содержат до 1,6% марганца) и сплавы АМг2, АМг3, АМг5, АМгб, где цифра указывает среднее содержание магния в процентах. Магний в сплаве эффективно действует как упрочнитель, например сплав АМгб имеет прочность в три раза больше, чем алюминий. Марганец не только упрочняет сплав, но и повышает его коррозионную стойкость.

Требуемую прочность сплавов АМц и АМг можно повысить только в результате холодной пластической деформации и используют в негартованном (АМгН 80% наклепа) и полунагартованном (АМг 40% наклепа) состояниях. Поставляются эти сплавы в виде фасонных профилей, лент, листов, проволоки. Сплавы широко применяются в производстве радиоаппаратуры, их них изготавливают баки для агрессивных жидкостей, трубопроводы. Сплав АМгб применяется для изготовления кузовов автомобилей и рам вагонов, электромачт и др.

Деформируемые сплавы, упрочняемые термической обработкой

К ним относятся сплавы системы алюминий-медь-магний, в которые дополнительно вводится марганец с целью повышения коррозионной стойкости. Маркируются сплавы буквой "Д", а цифры являются условными номерами сплавов, например: Д1, Д2, Д16, Д18.

Более известны сплавы Д16 и Д18, содержащие 4,5% меди, 1,6% магния, 0,7% марганца. Дуралюмины повышенного качества обозначают буквой "А", например Д18А. Основным способом защиты листов дуралюмина от коррозии является плакирование (на поверхность листа наносят тонкий слой чистого алюминия). Эти сплавы обладают повышенной прочностью, легко деформируются как в горячем, так и в холодном состоянии.

Дуралюмины широко применяются при изготовлении деталей конструкций электротехники, в авиации. Из сплава Д1 изготавливают лопасти воздушных винтов, из Д16 - тяги управления. Сплав Д18 является одним из основных заклепочных алюминиевых сплавов.

Высокопрочные алюминиевые сплавы, кроме меди и магния, содержат цинк. Типичными представителями этих сплавов являются сплавы марок В95 и более прочный В96, содержащий 2% меди, 6% цинка, 0,5% магния и др. Эти сплавы обладают высокой прочностью и пластичностью. Высокая прочность сплавов обеспечивается легированием их цинком и магнием. Применяется в самолетостроении (обшивка, силовые каркасы), в электротехнической промышленности (изготовление лопастей мощных электровентиляторов).

Алюминиевые сплавы дляковки и штамповки отличаются высокими пластичными и литейными свойствами. Маркируются буквами АК - алюминиевые ковочные сплавы, например: АК1, АК6, АК8, а цифры указывают номер сплава. Из сплавов АК6 и АК8 изготавливают подмоторные рамы, лопасти винтов вертолетов и крепежные детали электромоторов.

Жаропрочные алюминиевые сплавы используются для деталей, работающих при температурах до 300°С. Эти сплавы имеют сложный химический состав, они дополнительно легированы железом, никелем и титаном. Наибольшей жаропрочностью обладает сплав марки Д20 за счет высокого содержания меди, марганца и титана. Применяются для изготовления поршней, осевых дисков компрессоров турбореактивных двигателей, обшивки сверхзвуковых самолетов и при изготовлении деталей конструкций в электротехнической промышленности.

Таблица 2

**Химический состав и назначение
литейных алюминиевых сплавов**

Марка сплава	Химический состав в %				Назначение
	Магний	Кремний	Марганец	Медь	
СПЛАВЫ СИСТЕМЫ АЛЮМИНИЙ - КРЕМНИЙ					
АЛ2	0,25	12,0	-	-	Корпуса электроприборов, турбонасосных агрегатов, головок блоков цилиндров и других тонкостенных отливок.
АЛ4	0,25	9,0	0,4	-	
АЛ9	0,35	7,0		-	
АЛ9В	0,40	5,0	-	1,5	
СПЛАВЫ СИСТЕМЫ АЛЮМИНИЙ - МЕДЬ					
АЛ7	-	-	-	4,5	Сложная электротехническая арматура, кронштейны, стойки, держатели.
АЛ19	-	-	0,85	5,0	
СПЛАВЫ СИСТЕМЫ АЛЮМИНИЙ - МАГНИЙ					
АЛ8	10,5	-	-	-	Для деталей, работающих в условиях высокой влажности (детали приборов, баранки
АЛ13	10,5	-	-	-	
АЛ22	10,5	-	-	-	штурвалов).
СПЛАВЫ СИСТЕМЫ АЛЮМИНИЙ - ДР. КОМПОНЕНТЫ					
АЛ1	1,75	-	-	4,5	Различные детали в автомобильном и тракторном машиностроении.
АЛ20	1,20	2,0	-	4,0	
АЛ25	1,60	12,0	-	0,2	
ЖАРОПРОЧНЫЕ СПЛАВЫ					
АЛ26	0,6	22,0	0,3	2,5	Поршни, головки цилиндров, блоки и другие детали, работающие при температуре свыше 300° С.
АЛ30	1,3	13,0	0,2	1,5	

Спеченные алюминиевые сплавы (САС) получают путем брикетирования, спекания и прессования порошков стандартных алюминиевых сплавов (А999, А995, А85). Выпускаются промышленностью в виде листов, профилей, труб, проволоки. Эти сплавы

нашли широкое применение в самолето- и ракетостроении (клапаны гидравлических и топливных систем), в электрической (конденсаторы, обмотки электродвигателей, теплообменники, компрессорные диски). Обладая высокой коррозионной стойкостью, применяются в судостроении и реакторах.

Алюминиевые сплавы для линий электропередач. Для больших расстояний между опорами используется алюминиевый сплав "альдрей", содержащий 0,4% магния, 0,6% кремния, 0,25% железа. Сплав такого состава по прочности приближен к твердотянутой меди. Широко применяется и сталеалюминиевый провод, сердечник которого свитый из стальных жил и обвитый снаружи алюминиевой проволокой. В проводах такого типа механическая прочность определяется стальным сердечником, а электропроводность - алюминием.

Литейные алюминиевые сплавы содержат те же легирующие компоненты, что и деформируемые сплавы, но в значительно большем количестве (до 9-13%). Эти сплавы обладают большой жидкотекучестью и предназначаются, в основном, для изготовления самых сложных по форме литых отливок. Промышленностью выпускается свыше 35 марок литейных алюминиевых сплавов, которые классифицируются по химсоставу, маркировка и назначение которых приведены в таблице 2.

Сплавы маркируются буквами АЛ - алюминий литейный, а цифры обозначают порядковый номер сплава. Основным видом сырья для получения литейных алюминиевых сплавов является сплав алюминия с кремнием - силумин. Это объясняется тем, что структура этих сплавов состоит из твердого раствора и эвтектики, содержащей от 4 до 13% кремния. Чем больше эвтектики, тем лучше ли-

тейные свойства сплава. Силуминовые сплавы применяются в основном для изготовления литых деталей приборов, в том числе и тонкостенных отливок.

3. Техника безопасности

- 3.1. Соблюдать технику безопасности по использованию электрооборудования (металлографические микроскопы МИМ-6 и МИМ-7, станок для полировки и шлифовки микрошлифов).
- 3.2. Соблюдать инструкцию пользования химическими реактивами при травлении микрошлифов.

4. Порядок выполнения работы

- 4.1. Изучить содержание разделов данной лабораторной работы.
- 4.2. Ознакомиться со структурой алюминиевых сплавов.
- 4.3. Получить образцы микрошлифов, изготовленных из чистого алюминия и силумина.
- 4.4. Полученные шлифы просмотреть под микроскопом и схематично, но правдоподобно зарисовать наблюдаемые микроструктуры.
- 4.5. Рисунки выполнить в квадратной рамке 40 мм x 40 мм и стрелками указать названия отдельных структурных составляющих.
- 4.6. По проделанной работе составить письменный отчет.

5. Содержание отчета

Отчет следует писать разборчиво и аккуратно после внимательного ознакомления с лабораторной работой. В нем должно быть отражено:

- 5.1. Порядковый номер и наименование лабораторной работы.
- 5.2. Цель выполняемой работы.
- 5.3. Законспектировать свойства, маркировку и применение алюминиевых сплавов.
- 5.4. Рисунки сравнительных микроструктур чистого алюминия и сплава алюминия с кремнием (силумина).

6. Вопросы к отчету

- 6.1. Как маркируется алюминий: особой чистоты, высокой и технической чистоты?
- 6.2. Приведите примеры деформируемых сплавов, не упрочняемых термической обработкой. Их свойства и применение.
- 6.3. Свойства и применение деформируемых сплавов, упрочняемых термической обработкой.
- 6.4. Приведите примеры высокопрочных алюминиевых сплавов. Какими свойствами они обладают и где применяются?
- 6.5. Какие алюминиевые сплавы применяются дляковки и штамповки?
- 6.6. Какой алюминиевый сплав используется для проводов линий электропередач?
- 6.7. В чем отличие литейных алюминиевых сплавов от деформируемых?
- 6.8. Приведите примеры литейных алюминиевых сплавов и как они маркируются по химическому составу?
- 6.9. Чем отличается структура чистого алюминия от структуры сплава алюминия с кремнием (силумина)?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тареев Б.М. Электротехнические материалы. М.: Гоэнергоиздат; 1958.
2. Богородицкий Н.П., Пасынков В. В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы. Л.: Энергия, 1969.
3. Лахтин Ю.М., Леонтьев В. П. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1972.
4. Корицкий Ю.В. Электротехнические материалы. М.: Энергия, 1976.
5. Савровский Д.С., Головня В.Г. Конструкционные материалы и их обработка. М.: Высшая школа, 1976.
6. Пястолов А.А., Мешков А.А., Вахрамеев А.Л. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования. М.: Колос, 1981.
7. Козлов Ю.С. Материаловедение. М.: Высшая школа, 1983.
8. Ян Штоф. Электротехнические материалы в вопросах и ответах. М.: Энергоатомиздат, 1984.
9. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы. Л.: Энергоатомиздат, 1985.
10. Ю.Арзамасов Б.Н., Косолапов Г.Ф., Рыжов М.Н. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1986.
11. Кнорозов Б. В., Усова Л.Ф. и др. Технология металлов и материаловедение. М.: Металлургия, 1987.
12. Корицкий Ю.В., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Справочник по электротехническим материалам. М.: Энергоатомиздат, том 1, 2, 3, 1988.
13. Арзамасов А.А., Брострем В.А., Буше Н.А. и др. Конструкционные материалы. Справочник. М.: Машиностроение, 1990.

СОДЕРЖАНИЕ

РАБОТА № 1	
Структура, свойства и назначение чугунов.....	3
РАБОТА № 2	
Классификация, маркировка и назначение сталей.....	7
РАБОТА № 3	
Медь и сплавы на ее основе	14
РАБОТА № 4	
Алюминий и сплавы на его основе	18

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

Термическая обработка сплавов

Методические указания по выполнению
практических работ

Направление подготовки

23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы

Саратов 2016

Термическая обработка сплавов: Методические указания по выполнению работ/ Сост. : А.А. Аникин, В.А. Хотинский, А.В.Павлов, А.Г. Уфаев; ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова». – Саратов, 2016. – 25 с.

Методические указания по выполнению работ составлены в соответствии с программой дисциплины и предназначены для студентов. В методических указаниях занятий по курсу «Материаловедение», изложено содержание работ, приведены краткие теоретические сведения; даны объем и порядок выполнения работ, а также методические указания по выполнению и составлению отчетов и организации работы в лаборатории. Основная цель – помочь студентам в выполнении всего комплекса лабораторно-практических работ, предусмотренных читаемым курсом лекций.

РАБОТА № 1 ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛИ

Известно, что с помощью термической обработки можно сильно изменить свойства стали. Например, после отжига сталь пластичная, после закалки становится хрупкой, твердой.

Основы теории термической обработки заложил Д.К.Чернов. Он нашел в стали критические температуры (критические точки Чернова), при которых происходят изменения в структуре. Основные критические точки для стали приведены в табл. 1.

Теорию термической обработки проще рассматривать на стали с содержанием 0,8% С (сталь 80 или У8), так как в этой стали имеется только одна критическая точка A_1 (рис. 1).

Преобразования в стали, описываемые диаграммой Fe-Fe₃C, относятся только к случаю очень маленьких скоростей охлаждения, т. е. происходят в условиях равновесия.

Таблица 1

Критические точки в стали

Обозначение критической точки	Линии на диаграмме Fe-Fe ₃ C, где находятся критические точки	Преобразование, происходящее в критической точке
A_1 (имеет место для всех сталей и чугунов)	PSK (температура 727°C)	Аустенит превращается в перлит при охлаждении или перлит в аустенит при нагревании $A \leftrightarrow П$
A_3 (только для доэвтектоидной стали)	GS (в зависимости от содержания углерода температура может изменяться от 910° до 727 °C)	Начало выделения феррита из аустенита при охлаждении или конец перехода феррита в аустенит при нагревании
$A_{ст}$ (только для заэвтектоидной стали)	ES (в зависимости от содержания углерода температура может изменяться от 1147° до 727 °C)	Начало выделения Ц_{II} из аустенита при охлаждении или конец растворения Ц_{II} в аустените при нагревании

Например, аустенит в равновесных условиях превращается при температуре 727° в перлит. Если охлаждение ускорить, то можно сохранить аустенитную структуру до более низкой температуры, т. е. получить переохлажденный аустенит. В условиях переохлаждения аустенит превращается в другие, неравновесные, более твердые и прочные структуры.

Для изучения превращений аустенита в неравновесных условиях для каждой стали строят диаграмму изотермического превращения аустенита.

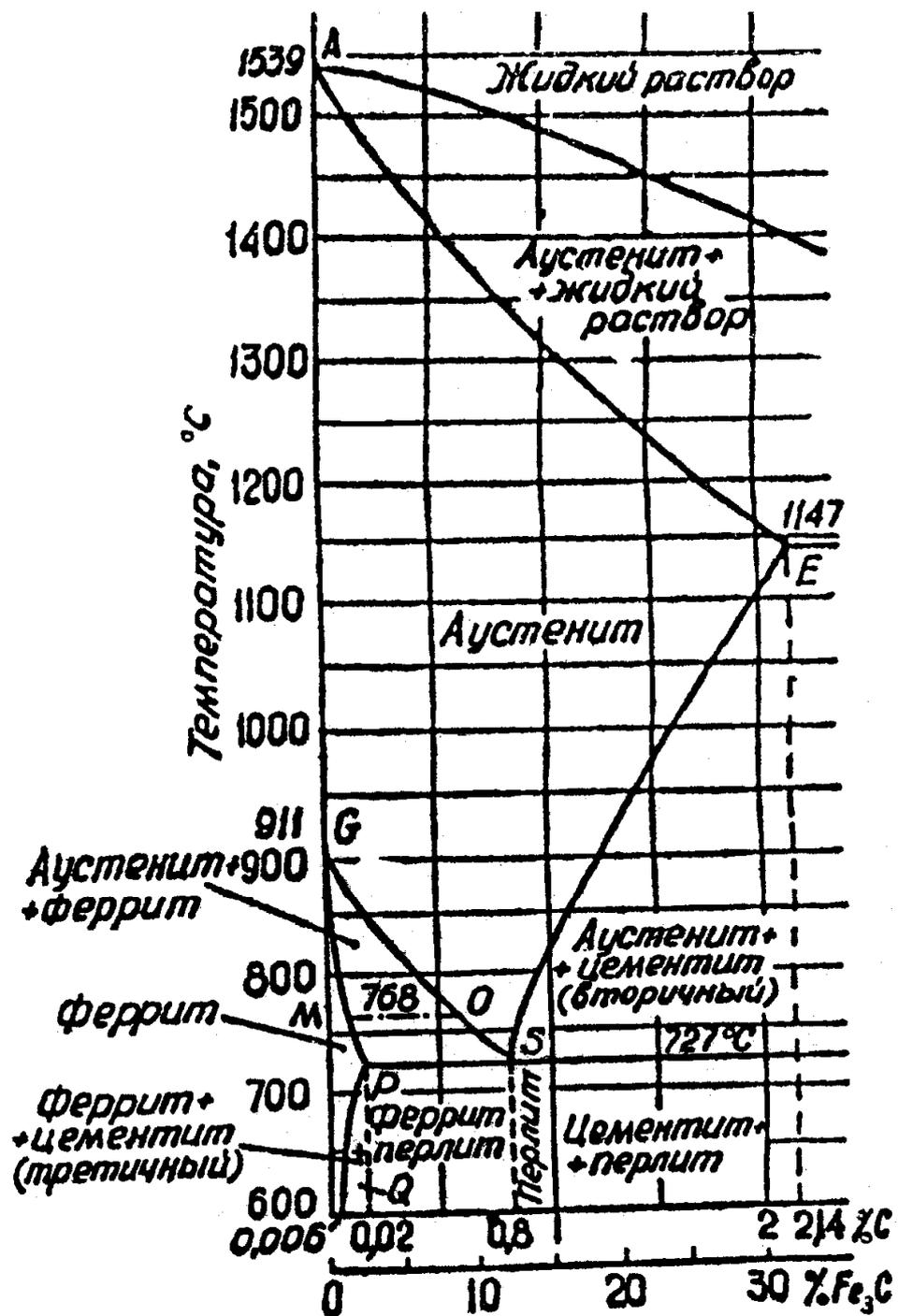


Рис. 1. Стальная часть диаграммы Fe-Fe₃C

Построение диаграммы изотермического превращения аустенита для стали У8

Образцы нагревают выше 727° до аустенитного состояния, а затем быстро переохлаждают до температур, лежащих ниже 727 °С. При каждой температуре делают выдержку, т. е. изотерму, и наблюдают, через какой промежуток времени начнется и закончится превращение аустенита в другие структуры.

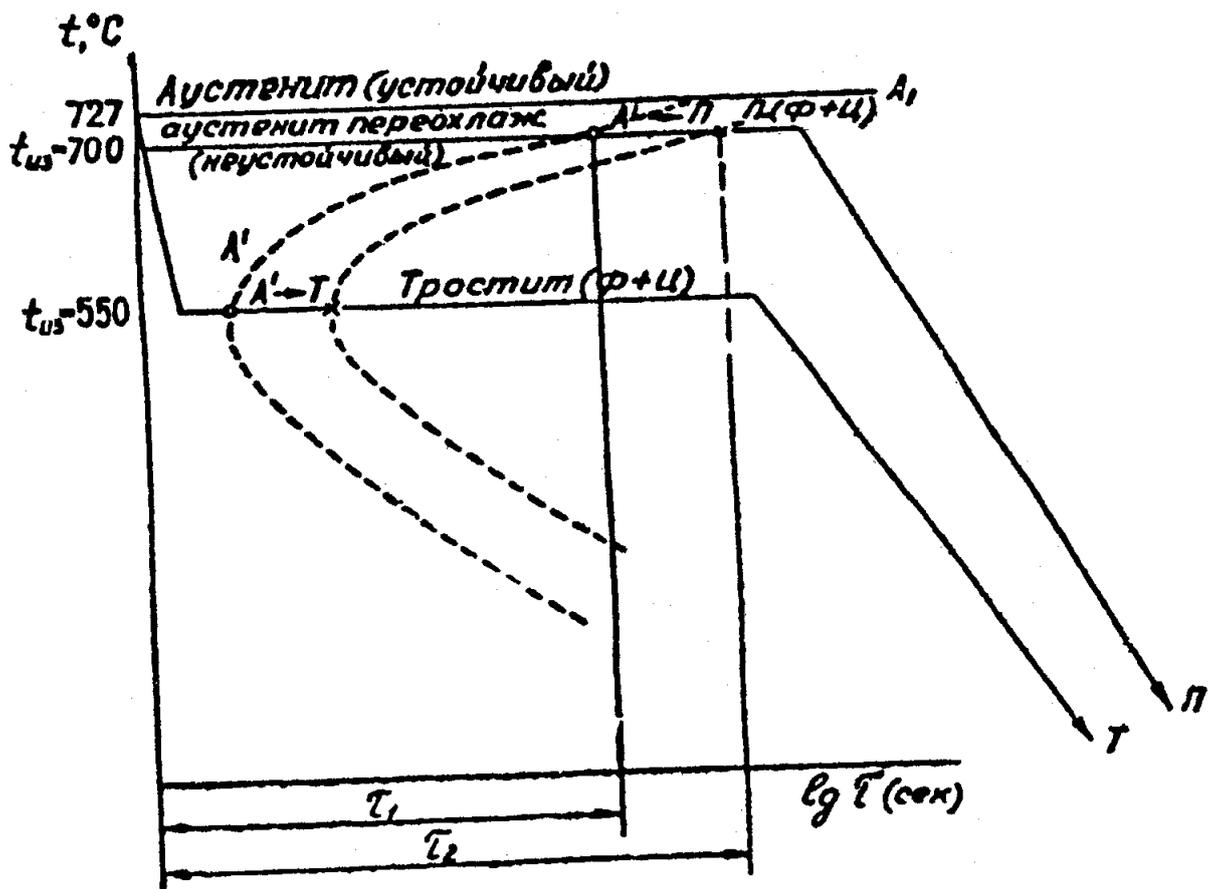


Рис. 2. Превращение переохлажденного аустенита в изотермических условиях (в зависимости от температуры изотермы и времени выдержки) для стали У8

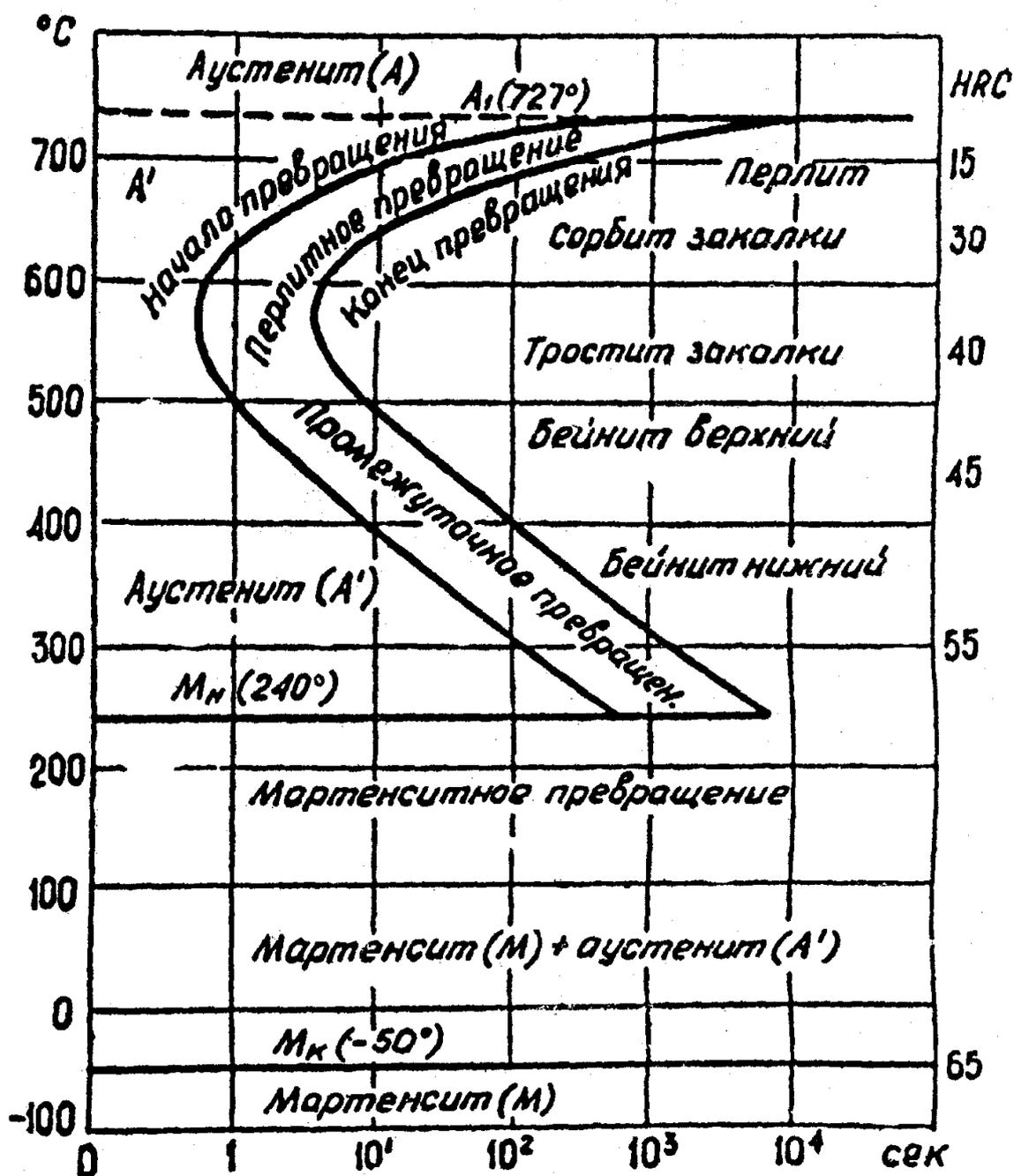


Рис. 3. Диаграмма изотермического превращения переохлажденного аустенита для стали У8

Полученные значения сводят на график в координатах температура-время, причем время откладывается в логарифмической шкале (рис. 2, 3). Необходимость логарифмической шкалы объясняется тем, что она очень быстро нарастает, благодаря этому можно на оси отложить время, начиная с долей секунды до нескольких часов. На рис. 2 графически изображены две изотермические обработки: t - температура нагрева для аустенизации стали У8 на 30-40° выше точки A_1 . После нагрева и выдержки при этой температуре образец охлаждается почти мгновенно до температуры изотермы, (например, на рис. 2 - $t_{изот} = 700$ °С). Во время выдержки на изотерме через промежуток времени τ_1 начинается превращение аустенита в перлит, в через τ_2 весь аустенит превращается в перлит. Такие точки начала и конца превращения аустенита находят для других температур изотерм. Затем, соединяя все точки начала превращения аустенита, получают одну линию С-образной формы, а соединяя точки донца превращения аустенита, получают вторую линию (рис. 2, 3).

Ниже температуры 240° превращение переохлажденного аустенита начинается мгновенно, не зависит от времени выдержки, а только, от температуры.

Рассмотрим, какие превращения происходят с переохлажденным аустенитом. В интервале от 727° до 550°C идет перлитное превращение аустенита по такой схеме: $A \rightarrow П(\Phi + Ц)$, т. е. $\text{Fe}_\gamma(\text{C}) \rightarrow \text{Fe}_\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$. В связи с аллотропическим переходом Fe_γ в Fe_α скачкообразно падает растворимость углерода в решетке железа, т. к., Fe почти не растворяет углерод.

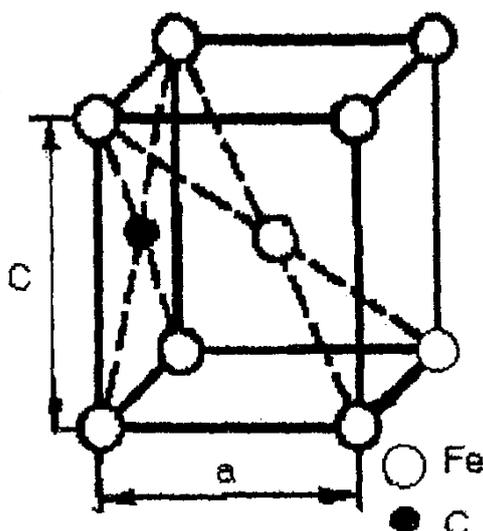


Рис. 4. Элементарная ячейка кристаллической решетки мартенсита

Значит, наряду с перестройкой кристаллической решетки должно происходить выделение углерода в виде отдельной фазы (цементита). В связи с этим перлитное превращение не может идти без диффузии, для обеспечения которой нужна достаточно высокая температура. Перлитное превращение носит диффузионный характер. В интервале ниже 240° (до -50°C) происходит бездиффузионное мартенситное превращение аустенита. В условиях такой низкой температуры перестройка Fe_γ в Fe_α происходит путем сдвига рядов атомов, углерод не может выделиться и остается в изменившейся решетке железа, искажая ее. Схема превращения $\text{Fe}_\gamma(\text{C}) \rightarrow \text{Fe}_\alpha + \text{C}$. Получается пересыщенный раствор углерода в Fe_α , который называется мартенситом. Кристаллическая решетка мартенсита вытянута (тетрагональная), соотношение параметров $c/a > 1$ (рис. 4). Между перлитным и мартенситным превращениями имеет место промежуточное, которое носит частично диффузионный, а частично бездиффузионный характер.

Перлитные структуры в стали

Во время изотермической обработки стали при температуре несколько ниже точки A_1 из аустенита получается крупная пластинчатая смесь феррита с цементитом, называемая перлитом. Так как пути диффузии атомов сокращаются с уменьшением температуры, то в интервале $650-600^{\circ}\text{C}$ из аустенита получается более мелкая смесь, называемая сорбитом. При более низкой температуре ($600-550^{\circ}\text{C}$) получается настолько мелкая феррито-цементитная смесь, пластинки которой не видны в оптическом микроскопе при самом большом, возможном для него, увеличении ($X1500-2000$). Такая смесь называется троститом.

Чем мельче смесь, тем твердость, прочность и упругость выше. В то же время, например, тростит закалки имеет пониженную пластичность и вязкость. Значения твердости структур указаны на рис.5.

Перлитные структуры можно получить не только в изотермических условиях, но и при непрерывном охлаждении. Если на диаграмму изотермического превращения аустенита

(рис. 5) наложить кривую охлаждения (например, V_1), то приблизительно можно установить структуру, полученную при таком охлаждении. Точки 1 и 2 указывают температуры, при которых соответственно начнется и закончится превращение аустенита (t_1 и t_2), а от температуры превращения зависит дисперсность феррито-цементитной смеси. В действительности превращение происходит при более низкой температуре, чем это показывает диаграмма изотермического превращения аустенита, но это смещение незначительно.

Перлит, сорбит и тростит, полученные из аустенита, имеют пластинчатую структуру и называются перлитом, сорбитом и троститом закалки.

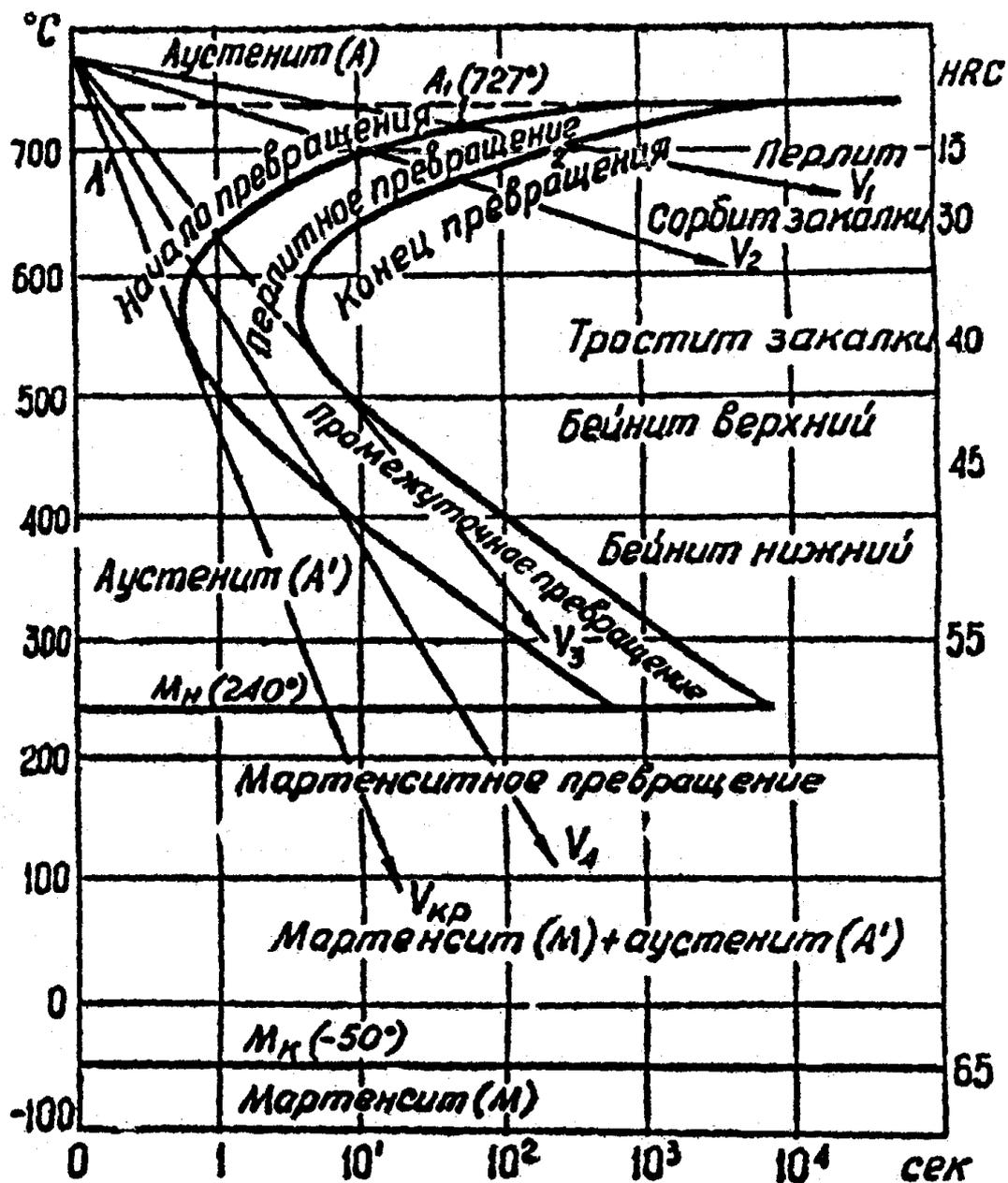


Рис. 5. Диаграмма изотермического превращения аустенита с нанесенными кривыми охлаждения аустенита

Мартенситное превращение

Мартенсит можно получать только при непрерывном охлаждении аустенита со скоростью, равной или большей, чем $V_{кр}$ (рис. 5). Температуры начала и конца мартенситного превращения зависят от химического состава стали и для каждой стали постоянны (M_H и M_K).

При остановке охлаждения между точками M_n и M_k превращение затухает. Мартенситные кристаллы имеют форму пластин с утонченными краями. На микрошлифе мартенсит имеет игольчатый вид (рис. 6). Размер мартенситных пластин зависит от размера аустенитного зерна. Лучшими механическими свойствами обладает мелкоигольчатый мартенсит.

При превращении аустенита в мартенсит возникают высокие внутренние напряжения - термические и структурные. Структурные напряжения связаны с тем, что объем мартенсита превышает объем аустенита, а термические - с быстрой скоростью охлаждения, необходимой для получения мартенсита у большинства сталей.

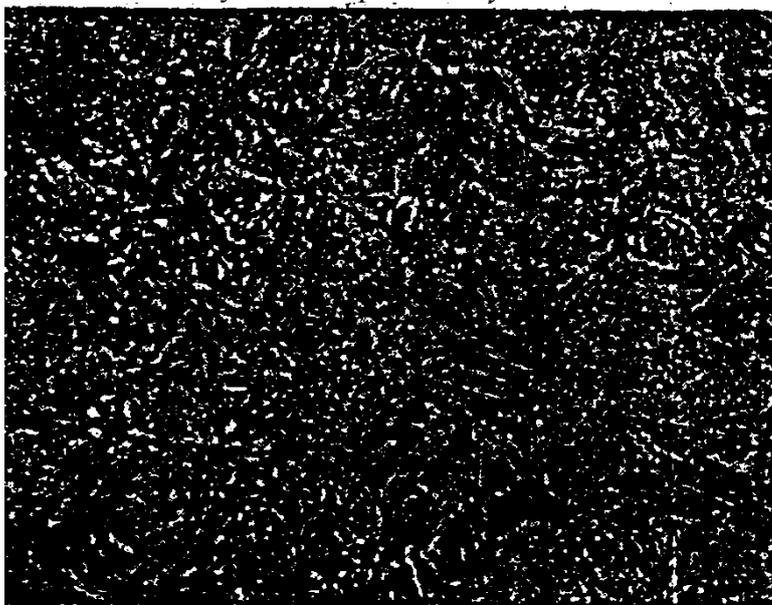


Рис. 6. Мартенсит закалки, X800

Мартенсит - очень твердая и прочная структура, причем твердость и прочность сильно зависят от содержания углерода. Высокопрочный мартенсит, содержащий более 0,35 - 0,4% С, обладает низкой пластичностью.

Такие, свойства мартенсита объясняются большим числом нарушений кристаллического строения, равномерно распределенных по объему.

Задание и методические указания

Материал - сталь У8. 4 образца нагреть до аустенитного состояния; (температуру нагрева выбрать по диаграмме Fe-Fe₃C). Время нагрева в лабораторных печах определить по табл. 2.

Таблица 2

Температура нагрева, °С	Форма изделия		
	круг	квадрат	пластина
	Продолжительность нагрева, мин		
	на 1 мм диаметра	на 1 мм толщины	
600	2	3	4
700	1,5	2,2	3
800	1,0	1,5	2
900	0,8	1,2	1,6
1000	0,4	0,6	0,8

Затем образцы охладить в различных средах: воде, масле, на воздухе, вместе с печью (вместе с печью охладить до температуры ~ 550-500 °С, а затем на воздухе). Очистив окалину с обеих сторон, снять с одной стороны не менее 0,5-0,8 мм и измерить твердость (в зависимости от твердости стали после термообработки по шкале *HRC* или *HRB*). Полученные значения твердости перевести в единицы Бринелля и заполнить табл. 3.

Таблица 3

Марка стали	Охлаждающая среда	<i>HRC</i>	<i>HRB</i>	<i>ИБ</i>	Структура

Изобразив диаграмму изотермического превращения для стали У8, нанести примерные кривые охлаждения в каждой среде. На каждом образце сделать шлиф и зарисовать полученную структуру.

Вопросы по теоретическому материалу для отчета

1. Какие критические точки стали вы знаете? Указать на диаграмме Fe-Fe₃C местоположение критических точек.
2. Какое превращение происходит в каждой критической точке?
3. Объяснить, как строится диаграмма изотермического превращения аустенита.
4. Сущность диффузионного и бездиффузионного превращения аустенита.
5. Какие вы знаете перлитные структуры, что они из себя представляют?
6. Как отличаются перлитные структуры между собой по механическим свойствам и почему?
7. Что такое мартенсит? Как получается мартенситная структура?
8. Какова кристаллическая решетка мартенсита и каковы его свойства?

Оборудование

0. Твердомеры ТК-2М. ТШ-2М;
1. Микроскопы МИМ-7, ММУ-3, ММУ-1.
2. Муфельные печи МП-2УМ.

РАБОТА № 2 ЗАКАЛКА И ОТПУСК СТАЛИ

Большинство ответственных деталей машин для получения нужных механических свойств подвергают закалке и отпуску.

Чаще всего при закалке желательнее получить структуру наивысшей твердости, т. е. мартенсит. Продукты превращения мартенсита при отпуске, обладают наилучшим комплексом механических свойств.

ЗАКАЛКА СТАЛИ

Выбор температуры закалки

В зависимости от температуры нагрева различают полную и неполную закалку. При полной закалке нагрев проводится выше верхних критических точек (A_3 и A_{cm}), а при неполной - только выше точки A_1 (рис. 1).

Для доэвтектоидной стали правильной является полная закалка. Нагрев выше точки A_3 до чисто аустенитного состояния с последующим охлаждением со скоростью не ниже $V_{кр}$ приводит к получению мартенситной структуры. Неполная закалка доэвтектоидной

стали приводит к получению мартенсито-ферритной структуры (рис. 1). Наличие феррита нежелательно, так как снижает механические свойства стали.

Для заэвтектоидной стали правильной является неполная закалка. Присутствие, кроме мартенсита, цементитных включений (рис. 1), после такой термообработки придает стали повышенную твердость и износоустойчивость, не понижая других характеристик.

Нагрев до температур выше A_{cm} при закалке приводит к получению крупноиглочатого мартенсита без цементита, но с повышенным количеством остаточного аустенита, который даже снижает твердость. Такая закалка является некачественной,

Завышение температуры нагрева при закалке и (или) увеличение времени выдержки при этой температуре приводит к сильному росту аустенитного зерна. При охлаждении из такого аустенита получается крупноиглочатый мартенсит, обладающий повышенной хрупкостью. Вследствие этого нагрев при закалке должен быть выше выбранных критических точек только на 20 – 40 °С и время выдержки, для завершения фазовых превращений минимальным.

Есть стали, которые не боятся перегрева - это мелкозернистые стали.

Охлаждающие среды при закалке

Скорость охлаждения при закалке должна обеспечить получение мартенситной структуры. В то же время при ускоренном охлаждении возникают высокие внутренние термические напряжения, а в интервале мартенситного превращения еще и структурные напряжения, что, вместе взятое, приводит к короблению и даже образованию трещин в закаленной стали.

В связи с этим, охлаждение - очень ответственная операция при закалке. Для нелегированных сталей критическая скорость закалки в интервале наименьшей устойчивости аустенита (600 - 500 °С) обеспечивается охлаждением в воде или соляных, щелочных растворах. Легирование стали чаще всего охлаждают в масле, так как критическая скорость у этих сталей ниже (рис. 7).

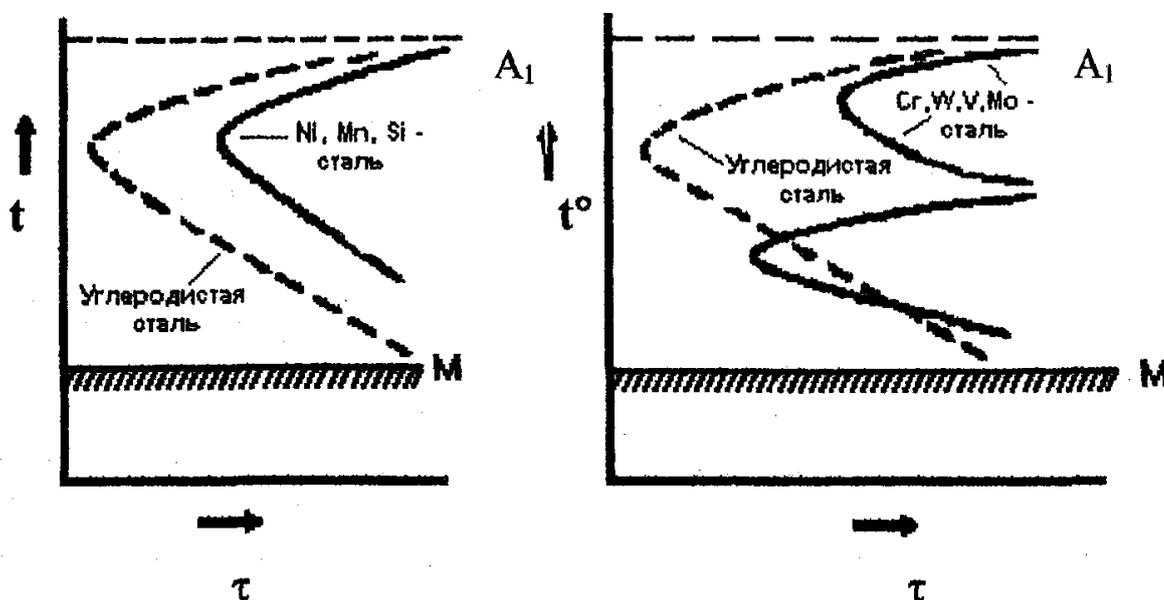


Рис. 7. Влияние легирующих элементов на кривые начала распада переохлаждённого аустенита

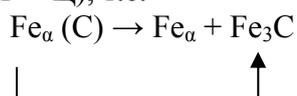
Некоторые высоколегированные стали способны закаливаться на воздухе (самокалы). Стали с пониженной скоростью закалки более удобны, так как меньше подвержены деформации и трещинообразованию при закалке. Интервал температур, где протекает мартенситное превращение, можно и желательно проходить с замедленной скоростью, т. к. в этом интервале на термические напряжения накладываются структурные, сталь при

пониженных температурах становится упругой и особенно подвержена короблению и трещинообразованию.

Отпуск закаленной стали

Термическая обработка, заключающаяся в нагреве закаленной стали до температур ниже критической точки. A_{c1} называется отпуском.

Назначение отпуска, во-первых, снять внутренние напряжения, возникающие при закалке стали, а во-вторых; подбирая температуру отпуска, можно получить нужный комплекс механических свойств. Структуры закаленной стали - мартенсит и остаточный аустенит - являются неравновесными фазами. При нагреве неравновесные структуры переходят в более равновесные. Из пересыщенного раствора углерода в α - Fe выделяется углерод в виде карбидов, результатом окончательного распада мартенсита является феррито-цементитная смесь: $M \rightarrow (\Phi + Ц)$, т.е.



Различают 4 превращения стали при отпуске:

1) в интервале $\sim 80-250$ °C из твердого раствора выделяются дисперсные частицы карбида железа с гексагональной решеткой типа $\epsilon\text{Fe}_x\text{C}$ (вероятно, Fe_2C). В результате этого превращения получается структура *отпущенного мартенсита*, который представляет смесь пересыщенного α -раствора (неоднородной концентрации) и когерентно связанных с ним дисперсных частиц ϵ -карбида;

2) при температуре $250-350$ °C происходит превращение остаточного аустенита в отпущенный мартенсит;

3) при температуре $350-400$ °C полностью завершается процесс выделения углерода из α -раствора (мартенсита), нарушается когерентная связь α -раствора и карбидов. В результате, отпущенный мартенсит превращается в дисперсную смесь феррита и карбидов. Одновременно протекает карбидное превращение $\epsilon\text{Fe}_x\text{C}$ в Fe_3C , снимаются внутренние напряжения;

4) при температурах от 400 °C до точки A_{c1} протекает процесс коагуляции карбидов: карбиды становятся крупнее и приобретают округлую форму. Очень тонкая феррито-цементитная смесь, получившаяся в интервале $350-500$ °C, называется троститом отпуска. Более грубая феррито-цементитная смесь, образовавшаяся при $\sim 500-600$ °C, называется сорбитом отпуска (см. рис. 8), который при более высоких температурах превращается в перлит зернистый.

Влияние отпуска на механические свойства

Цементит (или карбиды в легированных сталях) в тростите или сорбите отпуска имеют зернистую (рис. 8), а не пластинчатую форму, как в тростите и сорбите закалки: это значительно улучшает механические свойства. При одинаковой твердости, пределе прочности σ_b и относительном удлинении δ отпускные структуры имеют более высокие значения предела текучести σ_t , ударной вязкости α_n и относительного сужения ψ , чем структуры закалки. Легированные стали, особенно содержащие карбидообразующие элементы, после отпуска при одной и той же температуре обладают, более высокой, твердостью, чем углеродистые стали, что объясняется тем, что легирующие элементы тормозят отпускные процессы и смещают их к более высоким температурам. Это приводит к сохранению повышенной, твердости и прочности при работе сталей в условиях нагрева.

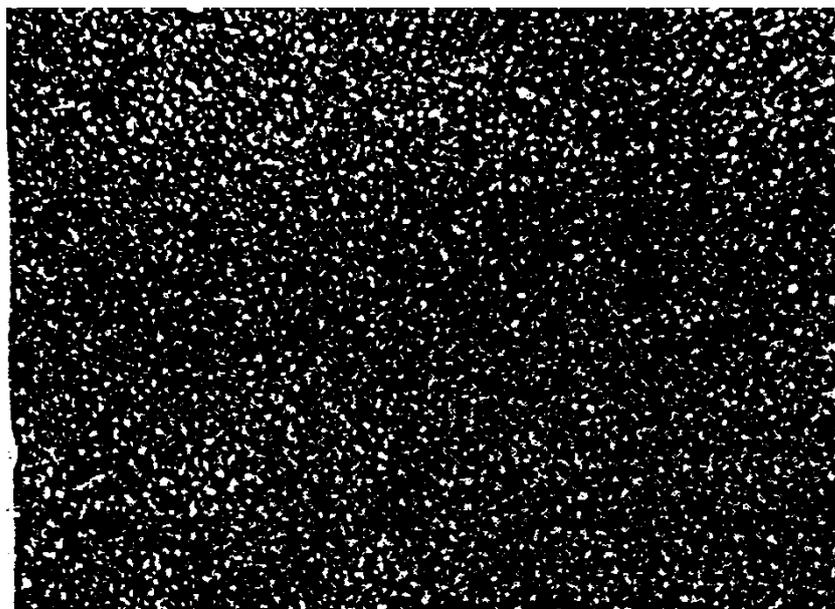


Рис 8. Сорбит отпуска, X600

В практике термической обработки различают три вида отпуска.

1. *Низкий отпуск* проводят с нагревом до температуры 150-250 °С. Получаемая структура - отпущенный мартенсит. Этот отпуск, снижая внутренние напряжения, повышает, прочность и немного улучшает вязкость без заметного снижения твердости.

Изделия после низкого отпуска имеют высокую износоустойчивость, но не выдерживают (если нет вязкой сердцевины) динамических нагрузок.

Низкотемпературному отпуску подвергают поэтому режущий или мерительный инструмент, а также детали, прошедшие только поверхностное упрочнение (имеющие вязкую сердцевину). Твердость после низкого отпуска 58-63 HRC.

2. *Средний отпуск* выполняется при температурах 300-500 °С и применяется для пружин и рессор, а также некоторых видов штамбового инструмента. Такой отпуск обеспечивает наиболее высокий предел упругости. Структура после среднего отпуска - тростит отпуска и ее твердость HRC 40-50.

3. *Высокий отпуск* проводят при температуре 500-680 °С. Структура - сорбит отпуска с твердостью 30-35 HRC. Высокий отпуск значительно повышает ударную вязкость. Прочность и твердость при этом снижаются, но остаются достаточно высокими, поэтому высокий отпуск создает наилучшее соотношение прочности и вязкости стали. Термическая обработка, состоящая из закалки с высоким отпуском, называется улучшением или улучшающей обработкой.

Таблица 4

Марка стали	Химический состав*					Примечание
	C	Si	Mn	Cr	Fe	
Сталь 45	0,42-0,50	0,17-0,37	0,08	0,25	ост.	
Малолегируемая						
Высоколегируемая					ост.	

* Выписать из справочника химический состав легированных сталей в соответствии с маркой.

Улучшение - основной вид термической обработки конструкционных сталей. Для повышения износоустойчивости в изделиях после улучшения упрочняют только поверхностный слой, например, проводят поверхностную закалку, азотирование, цианирование, поверхностный наклеп.

Задания и методические указания

Взять отожженные образцы из стали 45, малолегированной и высоколегированной (химический состав сплавов внести в табл. 4) и измерить их твердость.

Пользуясь диаграммой Fe-Fe₃C, выбрать температуру закалки для стали 45. Для легированных сталей температуру закалки выбрать по справочнику.

Пользуясь табл. 5, выбрать время нагрева.

Таблица 5

Нормы нагрева стали при термической обработке в лабораторных электрических печах

Температура нагрева, °С	Форма изделия		
	круг	квадрат	пластина
	Продолжительность нагрева, мин.*		
	на 1 мм диаметра	на 1 мм толщины	
600	2	3	4
700	1,5	2,2	3
800	1,0	1,5	2
900	0,8	1,2	1,6
1000	0,4	0,6	0,8

* Для легированных сталей время нагрева увеличить в 1,5-2 раза

Пользуясь табл. 6 и 7, а также справочниками, выбрать охлаждающую среду для той и другой стали. После закалки померить твердость образцов, для этого зачистить оба торца, причем на торце, где будут проводиться измерения твердости, снять слой толщиной не менее 0,5 мм (обезуглероженный).

Таблица 6

Критическая скорость охлаждения сталей

Марки стали	Критическая скорость закалки, град/с*
Сталь 45 Малолегированная Высоколегированная	400-500

* Для легированные сталей в соответствии с маркой выбрать $V_{кр}$ в справочнике.

После закалки образцы отпустить на температуры 200,400 и 600°С с последующими замера твердости. Выдержку при отпуске упрощенно назначаем 30 мин.

Таблица 7

Охлаждающая среда	Скорость охлаждения в интервале температур, °С/с	
	550-650	200-300
Вода при температуре 18 °С	600	270
Вода при температуре 70 °С	30	200
10%-ный раствор едкого натра при 18 °С	1200	300
Минеральное машинное масло	150	30
Спокойный воздух	18	

Результаты замера твердости свести в табл. 8, затем по этим данным построить кривые зависимости твердости от температуры отпуска для каждой стали (на одном графике 3 кривые). Объяснить, с точки зрения изменения структуры, поведение каждой стали при отпуске.

Изучить и зарисовать структуры после низкого, среднего и высокого отпуска для стали 45.

Таблица 8

Марка стали	Протокол испытаний			
	Твердость при температуре отпуска, HRC			
	до отпуска	200 °С	400 °С	600 °С
Сталь 45				
Среднелегированная				
Высоколегированная				

Вопросы по теоретическому материалу для отчета

1. Что такое закалка? Назначение закалки.
2. Что такое отпуск? Назначение отпуска.
3. Обосновать выбор температуры закалки для доэвтектоидной стали.
4. Обосновать выбор температуры, закалки для заэвтектоидной стали.
5. Как выбирают охлаждающую среду для углеродистой и легированной стали?
6. Сущность 4-х превращений при отпуске закаленной стали.
7. Как влияет температура отпуска на механические свойства стали?
8. Сравнить по механическим свойствам сорбит, тростит (закалки), получаемые при распаде аустенита, с теми же структурами, но полученными при отпуске из мартенсита.
9. Виды отпуска, проводимые на практике. Температура каждого вида отпуска, получаемая структура и примеры применения.
10. По результатам опытов, проведенных во время лабораторной работы, проанализировать влияние отпуска на твердость стали в зависимости от ее химического состава.

Оборудование

1. Твердомеры ТК-2М. ТШ-2М;
2. Микроскопы МИМ-7, ММУ-3, ММУ-1.
3. Муфельные печи МП-2УМ.

РАБОТА № 3 ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛЕЙ ДЛЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Инструментальные стали бывают трех типов: углеродистые, легированные и высоколегированные (так называемые быстрорежущие).

Вначале рассмотрим первые 2 типа сталей.

Стали для режущего инструмента имеют высокое содержание углерода (>0,7%), что обеспечивает твердость и износостойчивость. Изготовленный инструмент для придания режущих свойств подвергается термообработке, состоящей из - закалки и отжига. До закалки структура состоит из перлита или перлита и цементита (в легированных сталях вместо цементита будут карбиды легирующих элементов). Закалку проводят с температуры выше критической точки A_{c1} на 30 – 50 °С. После закалки в стали получается структура мартенсит или мартенсит с карбидами, кроме того, наблюдается еще остаточный аустенит. Твердость закаленной стали находится на уровне 61 - 64 ед. по *RC*. Охлаждение при закалке углеродистых сталей проводят в воде и только для инструмента

из легированной стали возможна закалка в масле, так как легирующие элементы уменьшают $V_{кр}$. Такая закалка выгодна тем, что в связи с относительно малой скоростью охлаждения почти исчезает опасность коробления и трещин.

Закаленный инструмент в зависимости от назначения подвергают отпуску. При температуре 150 - 300° получается структура отпущенного мартенсита и карбидов (рис. 9), а твердость составляет при этом 59-61 ед. по *RC*. Если нужна большая вязкость и допустима меньшая твердость, то отпускают на 350 - 500° и получают структуру тростита (твердость порядка 40 - 45 *HRC*). Однако углеродистые и малолегированные стали плохо противостоят нагреву, т. е. при нагреве режущей кромки выше 200 - 300° твердость стали - падает вследствие отпускных процессов, проходящих в мартенсите, и инструмент садится (тупится). Как говорят, они не имеют так называемой красностойкости (теплостойкости). Для придания красностойкости в сталь добавляют большое количество *W* или *Mo*, которые эффективно задерживают распад мартенсита на ферритно-карбидную смесь при отпуске (т. е. нагреве). Поэтому, если во время эксплуатации инструмент нагревается, то применяют высоколегированную инструментальную сталь, называемую быстрорежущей. Она имеет красностойкость до 500-650 °С. Наиболее часто используют сталь марки P18, содержащую примерно 0,8% *C*; 18% *W*; 4,0% *Cr*; 1,2% *V*. Применяют и более дешевые стали, содержащие меньшее количество дорогого и дефицитного вольфрама, например P9 (0,9% *C*; 9% *W*; 4% *Cr*; 2,5% *V*).

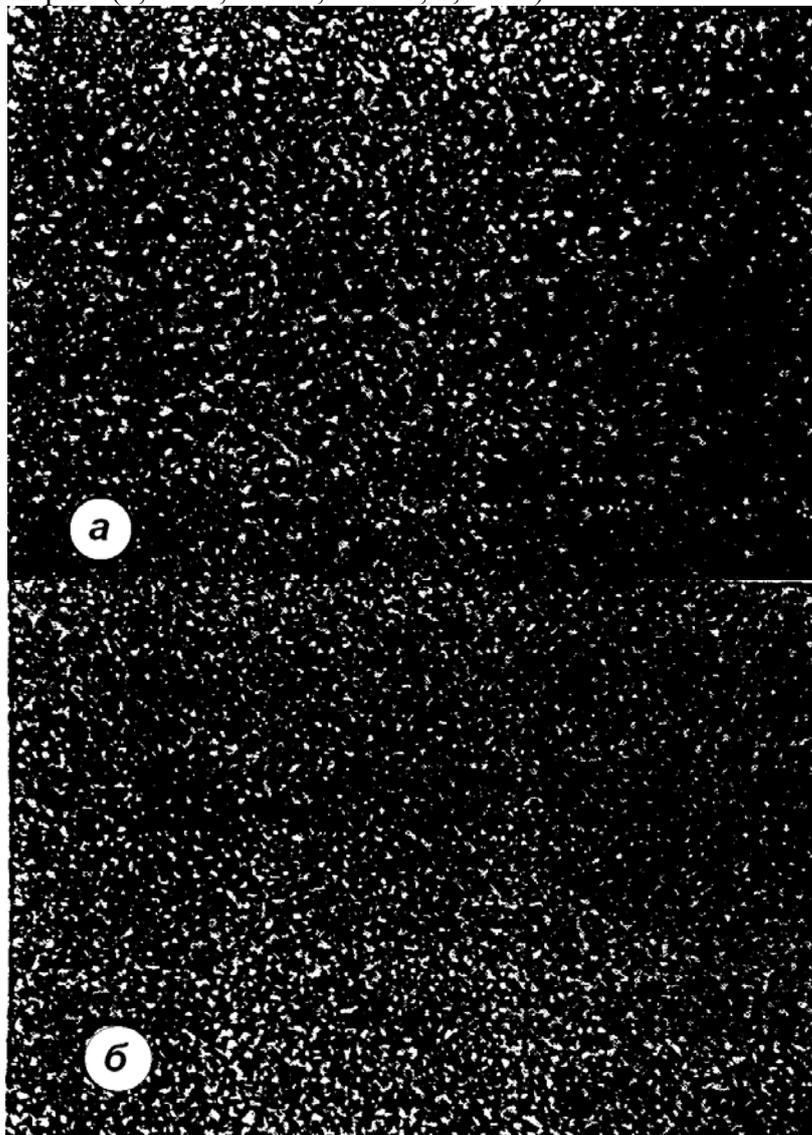


Рис 9. Микроструктура инструментальной стали после закалки и низкого отпуска:
а) отпущенный мартенсит - сталь У8 (Х600);
б) отпущенный мартенсит + карбиды - сталь Х (Х800)

В исходном состоянии (отожженном) структура быстрорежущих сталей состоит из крупных первичных (эвтектических) легированных карбидов более мелких вторичных легированных карбидов, выделившихся из аустенита, и легированного перлита (феррито-карбидной смеси) (рис. 10).

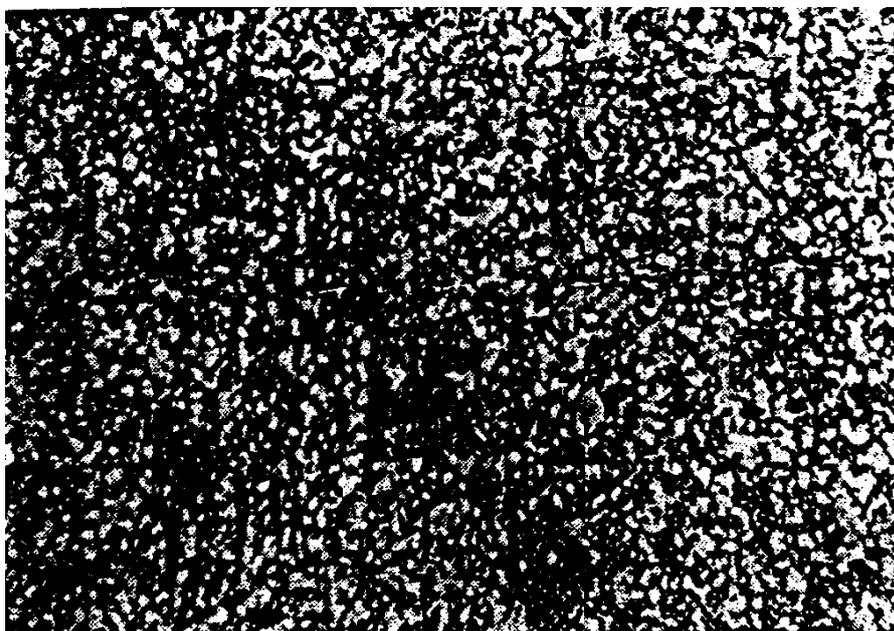


Рис. 10. Микроструктура быстрорежущей стали P18 после проката и отжига, X300

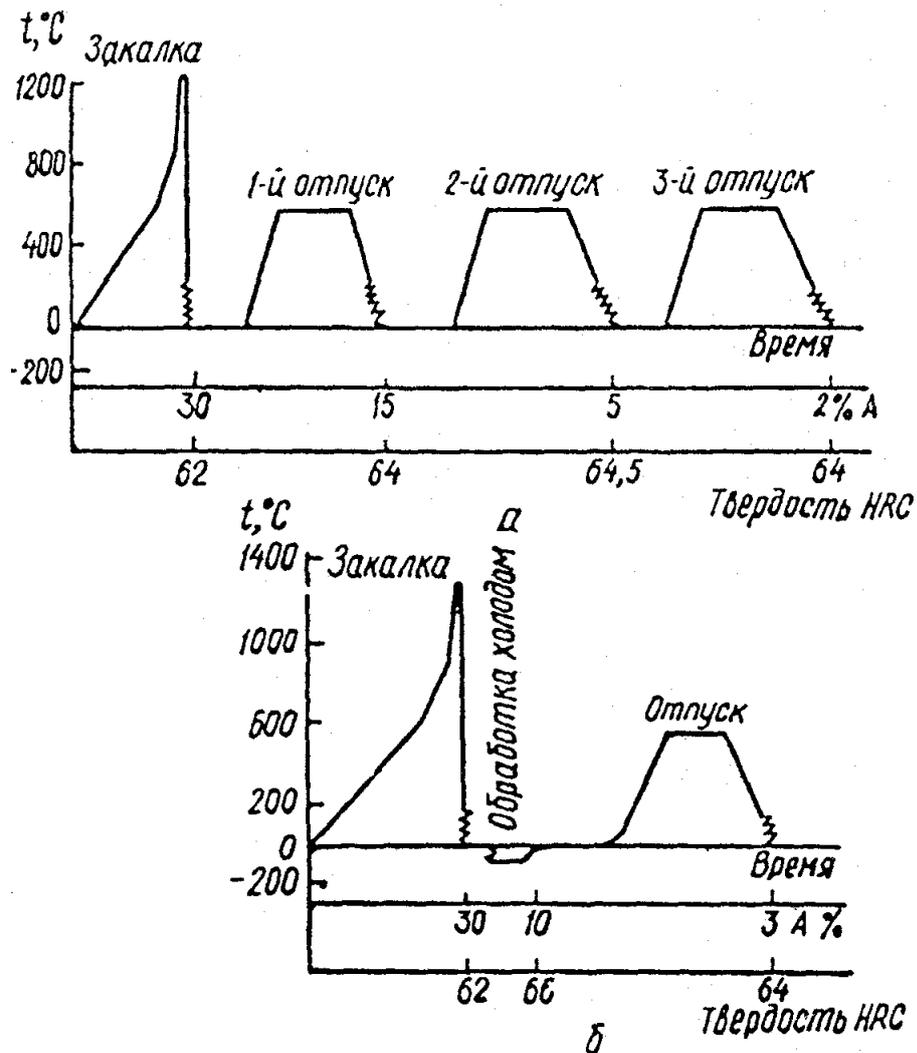


Рис. 11. Схемы режимов термической обработки инструментов из быстрорежущей стали:
 а) без обработки холодом: б) с обработкой холодом

Цель закалки - обеспечить превращение феррито-карбидной смеси (перлита) в аустенит и растворение в нем почти всех вторичных карбидов. В результате поддается высоколегированный высокоуглеродистый аустенит. Особенно медленно переходят в аустенит стойкие карбиды $\text{Fe}_2\text{W}_2\text{C}$ и VC . Поэтому закалку проводят для стали P18 с 1260-1280 °С, а для стали P9 с 1220-1240 °С. При таком высоком нагреве происходит хорошее растворение вторичных карбидов и получается высоколегированный аустенит. Оставшиеся первичные и частично вторичные карбиды препятствуют росту зерен аустенита при такой высокой температуре закалки. Охлаждение при закалке ведут в минеральном масле. После закалки получается структура высоколегированного мартенсита, обладающего красностойкостью, с некоторым количеством непревращенного, так называемого остаточного аустенита, а также карбидов легирующих элементов (рис. 12. а). Содержание остаточного аустенита иногда доходит до 30 - 40%. Это объясняется тем, что растворившиеся в аустените легирующие элементы снижают точку M_k (конца мартенситного превращения) в минусовую область (до - 80 °С). В связи с присутствием большого количества остаточного аустенита после закалки твердость стали не достигает максимальных значений и составляет 61 - 63 ед. по RC (рис. 11).

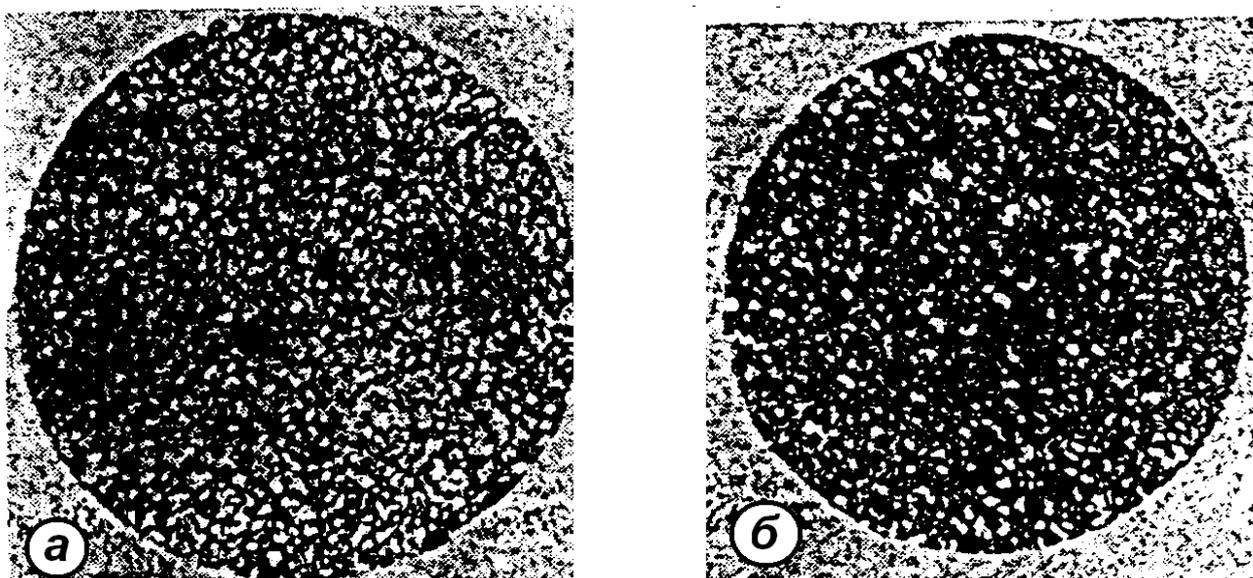


Рис. 12. Микроструктура быстрорежущей стали после закалки и отпуска:
 а) после закалки в масле, X450; б) после закалки и 3-х кратного отпуска при 560 °С, X450

После закалки проводят отпуск. Главное его назначение - превратить остаточный аустенит в мартенсит. Отпуск проводят при температуре 560- 580 °С в течение 2-3 часов. Во время отпуска происходит выделение из остаточного аустенита мелкодисперсных карбидов и легированность аустенита уменьшается, а точка M_k повышается. Благодаря этому, уже менее легированный остаточный аустенит превращается во вторичный мартенсит при комнатных температурах. Твердость после отпуска существенно повышается и достигает 64-65 ед. по *RC* (рис. 11). Микроструктура закаленной и отпущенной стали показана на рис. 12, б. Высоколегированный мартенсит устойчив к отпуску почти до 600°, поэтому твердость инструмента сохраняется при производительных режимах резания, когда инструмент сильно нагревается в процессе работы.

Все эти обстоятельства и объясняют красностойкость оптимально термообработанной быстрорежущей стали до 550 - 600 °С.

Задание и методические указания

1. Три образца из углеродистой стали У10 или У12 нагреть до 780-790° и закалить в воде*.
2. Три образца из легированной стали ХС или Х нагреть до 860-870° и закалить в масле*.
3. Три образца быстрорежущей стали марки Р18 или Р9 закалить в масле. Температура закалки для стали Р18 - 1280° и для стали Р9 - 1240° **.
4. У всех закаленных образцов проверить твердость по *RC*.
5. По одному образцу каждой стали подвергнуть отпуску при температурах 170, 350 и 560 °С. Выдержка при отпуске 30 мин, охлаждение на воздухе.

* Время нагрева и прогрева при закалке выбрать, пользуясь табл. 2 в работе 2.

** Если лабораторное оборудование не позволяет проводить закалку- этой стали, необходимо иметь закаленные образцы.

6. У всех отпущенных образцов измерить твердость по *RC*.

7. Для всех отпущенных образцов составить таблицы и графики, показывающие зависимость твердости от температуры отпусков, сделать заключение о красностойкости исследованных марок сталей.

8. Изучить микроструктуру инструментальных сталей и зарисовать.

Вопросы по теоретическому материалу для отчета

1. Какие виды сталей употребляются для режущего инструмента?
2. В чем заключается термообработка инструмента из углеродистых и легированных сталей?
3. Опишите особенности термообработки быстрорежущей стали?
4. Какая структура получается после закалки у быстрорежущей стали?
5. Как проводится отпуск закаленной быстрорежущей стали?
6. Какая твердость у быстрорежущей стали в исходном (отожженном) состоянии, после закалки и после отпуска?
7. Какое главное преимущество у быстрорежущей стали по сравнению с мало легированными инструментальными сталями?

Оборудование

1. Твердомеры ТК-2М. ТШ-2М;
2. Микроскопы МИМ-7, ММУ-3, ММУ-1.
3. Муфельные печи МП-2УМ.

РАБОТА № 4 ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Алюминиевые сплавы, широко применяемые в технике, делятся на две большие группы: деформируемые, литейные. В свою очередь, деформируемые бывают двух типов: а) неупрочняемые термообработкой; б) упрочняемые термообработкой. Особое значение имеют последние. Их обычно называют дуралюминами. Это сплавы на основе диаграммы алюминии - медь (рис. 7). Содержание меди в них находится в пределах 3,8-5,2%, кроме того, содержится около 0,5-1% магния, кремния, марганца и цинка (в отдельности). В исходном (отожженном) состоянии микроструктура состоит из зерен α -твердого раствора меди, кремния и магния в алюминии и вторичных выделений кристаллов CuAl_2 , Mg_2Si и Al_2CuMg . Для упрочнения сплав нагревают до однофазного состояния выше линии FB (рис. 13) и после кратковременной выдержки охлаждают (закалывают) в воде. Получается структура пересыщенного твердого раствора Cu , Mg , Si и Al . так как быстрым охлаждением фиксируется тот состав твердого раствора, который был при температуре нагрева. В свежезакаленном состоянии, сплав имеет, примерно следующие механические свойства: $\sigma_b \cong 30 \text{ кг/мм}^2$, $\delta \cong 18-20\%$, $\text{НВ} = 75 \text{ кгс/мм}^2$. Такой твердый раствор крайне неустойчив, и происходит его распад, что определяется температурой нагрева, и выдержкой. Этот процесс называют старением. Первую (начальную) стадию старения называют часто подготовительной или латентной. Имеет место образование зон с высокой концентрацией меди, близкой к концентрации меди в соединении CuAl_2 без существенного изменения кристаллической решетки. Эти зоны имеют форму дисков с малой толщиной 5 - 10 Å , с диаметром порядка 30 - 60 Å (зоны Гинье-Престона-1) (рис. 14). Образование зон с повышенной концентрацией меди приводит к искажению кристаллической решетки, что обуславливает упрочнение сплавов. Все описанное происходит при нормальной (комнатной) температуре и называется естественным старением.

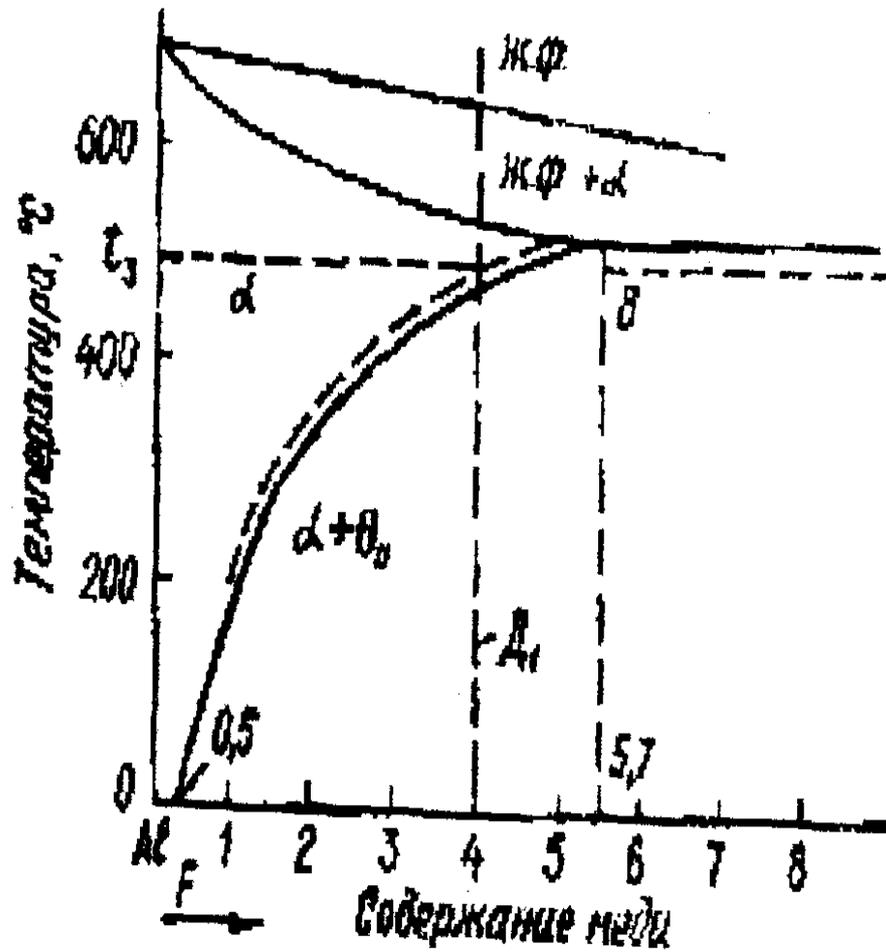


Рис.13. Диаграмма Al-Cu

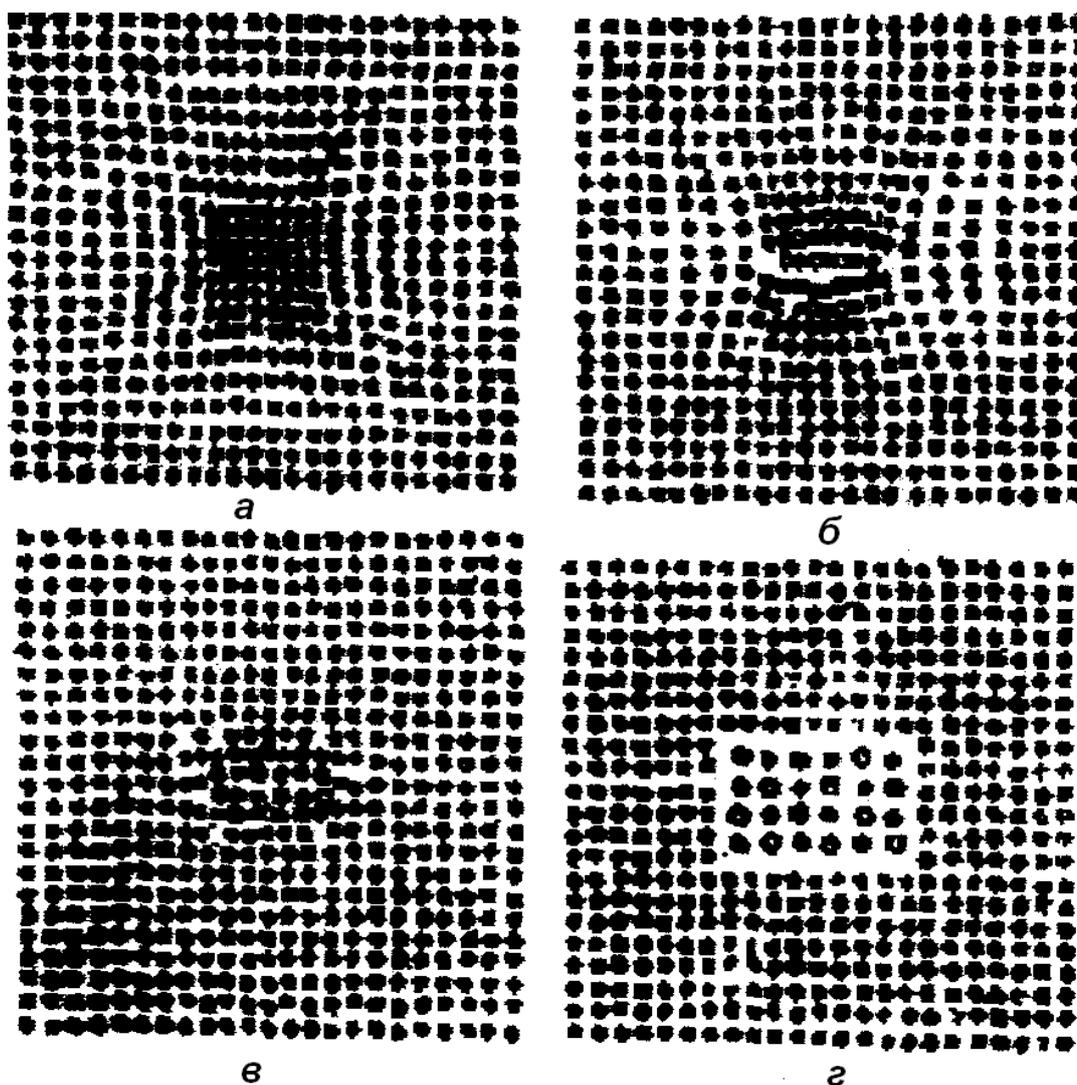


Рис. 14. Схема процесса старения дуралюмина: а) зоны ГП-1; б) зоны ГП-2; в) фаза CuAl_2 тетрагональная (θ' -фаза); г) фаза CuAl_2 кубическая (θ -фаза)

При повышении температуры старения до 100-150 °С образуются зоны ГП-II. Эти зоны имеют большую величину (толщина 10-40 Å и диаметром 200-300 Å) с упорядоченным расположением атомов Cu и Al. При более высоких температурах (150-200 °С) в тех местах, где располагались зоны ГП-II образуются кристаллы θ' -фаза с промежуточной метастабильной решеткой, когерентно связанной по некоторым плоскостям с решеткой твердого раствора. Эта фаза имеет состав, отвечающий формуле CuAl_2 . При дальнейшем повышении температуры когерентность фазы θ' нарушается и она переходит в θ -фазу, т. е. CuAl_2 с соответствующей кристаллической решеткой. Затем происходит с повышением температуры только коагуляция θ -фазы.

Таким образом, различают 4 стадии старения: Зоны ГП-1 - Зоны ГП-II - θ' -фаза - θ -фаза (CuAl_2) (рис. 14). Наибольшее упрочнение на I - III стадиях, на IV стадии наступает разупрочнение сплава вследствие снятия искажений с кристаллической решетки, и укрупнения частиц упрочняющей фазы. Отдельные стадии распада налагаются друг на друга различить их бывает весьма трудно.

При естественном старении дуралюмина процесс старения заканчивается первой стадией.

При искусственном старении проходят, в основном, вторая и третья стадии распада твердого раствора.

Задание и методические указания

Работа выполняется бригадой в 2-3 человека. Каждая бригада получает образцы дуралюмина (1 - 3) марки Д1. Преподавателем задается температура старения и время выдержки при старении.

Каждая бригада должна:

1. Замерить твердость в отожженном состоянии по Бринеллю или по Роквеллу (шкала В).
2. Замерить размеры образцов и по табл. 9 определить время нагрева образцов под закалку в муфельной электропечи. Время в таблице указано в минутах.
3. Выбрать температуру закалки по диаграмме А1-Си (рис. 7) для сплава Д1 (Cu 3,8 - 4,8%; Mg 0,4 - 0,8%; Mn 0,4 - 0,8 %; Si < 0,7 %)

Таблица 9

Нагревательное устройство	Толщина или диаметр изделия, мм					
	до 0,8	0,8-2,51	2,5-5	5-12	12 - 20	20 - 50
Селитровая ванна	8	10	12	15-20	30	40-60
Муфельная электропечь	12	20-30	40	50-30	90	110

4. После нагрева и выдержки закалить образцы в воде. Это обеспечивает получение после закалки пересыщенного раствора (α) меди, магния и других элементов в алюминии. Нагрев ниже линии *FB* дает неполную закалку, так как твердый раствор после закалки будет менее пересыщенным и прочность будет ниже. Нагрев значительно выше линии *FB* (например 550°) ведет к росту зерна, окислению границ зерен и даже оплавлению образцов. В результате сплав имеет низкие механические свойства (окончательный брак).

Каждая бригада закладывает образцы в муфельную печь на закалку и после выдержки (пункт 2) быстро вынимает из печи и охлаждает в воде (закаливает).

5. Замерить твердость образцов, после закалки - *HRB*.

6. Старение закаленных образцов:

а) Бригады 1, 2, 3 исследуют влияние температуры искусственного старения на прочность и твердость (при времени старения 30 минут).

Бригада № 1 - температура старения 100°

№ 2 - —»— 175°

№ 3 - —»— 300°

б) Бригады 4, 5, 6 исследуют влияние времени старения при температуре, равной 175° .

Бригада № 4 - время старения 10 мин.

№ 5 - —»— 20 мин.

№ 6 - —»— 30 мин.

Образцы после старения вынимаются из печи и охлаждаются в воде.

7. Замерить твердость образцов после старения - *HRB*.

8. Один образец после закалки оставить для естественного старения. Замер твердости произвести на следующем занятии. Сравнить результаты, полученные при искусственном старении и естественном старении (по твердости и прочности).

9. Перевести твердость по Роквеллу *HRB* в единицы твердости по Бринеллю НВ, а затем определить временное сопротивление (предел прочности) σ_b при растяжении по формуле: $\sigma_b = 0,26 \text{ НВ кгс/мм}^2$.

Каждая бригада находит предел прочности σ_b после каждой термической операции.

Результаты свести в табл. 10.

На основании данных табл. 10 каждый студент строит в масштабе графики зависимости твердости (рис 15) от температуры старения (а) и твердости от времени старения (б)

10. Описать превращения, происходящие в сплавах типа Д1 при закалке и старении, используя диаграмму алюминий - медь (рис.13). Описать структурные изменения в сплаве

при искусственном старении при температурах 100, 175 и 300°, объяснив ход кривых на одном и другом графиках.

Таблица 10

Наименование операции	№ бригад											
	1		2		3		4		5		6	
	HRB	σ_B	HRB	σ_B	HRB	σ_B	HRB	σ_B	HRB	σ_B	HRB	σ_B
После отжига												
После закалки												
После старения в течении 30 мин при $t = 100^\circ$ при $t = 175^\circ$ при $t = 300^\circ$												
После старения при $t = 175^\circ$ в течение 10 мин 20 мин 30 мин												
После естественного старения												

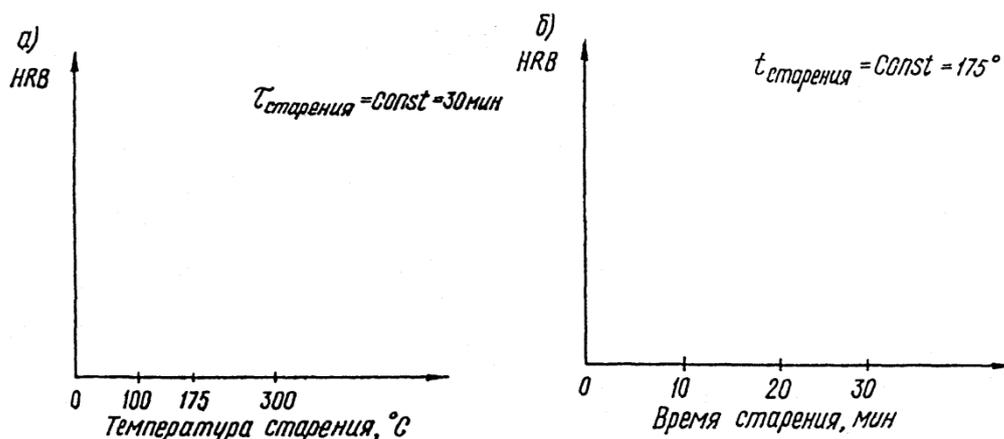


Рис. 15. Графики изменения твердости

Вопросы по теоретическому материалу для отчета

1. Какие существуют виды алюминиевых сплавов?
2. Какую структуру имеет дуралюмин в исходном (отожженном) состоянии?
3. В чем заключается закалка дуралюмина и какова структура закаленного сплава?
4. В чем заключается естественное и искусственное старение закаленного дуралюмина?
5. Какие изменения в структуре и свойствах происходят при нагреве (старении) закаленного дуралюмина? Какие при этом различают стадии распада пересыщенного твердого раствора в дуралюмине?

Оборудование

4. Твердомеры ТК-2М. ТШ-2М;
5. Микроскопы МИМ-7, ММУ-3, ММУ-1.
6. Муфельные печи МП-2УМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дегтярев М.Г. "Материаловедение. Технология конструкционных материалов". М. КолосС, 2007 г.- 360 с.
- 2.. Колесов С.Н., Колесов И.С. «Материаловедение и технология конструкционных материалов» М.: Высшая школа 2007 г.-535 с.
3. Оськин В.А., Евсиков В.В. «Материаловедение. Технология конструкционных материалов». М.: «КолосС» 2007 г.- 447 с.
4. А.А. Аникин, В.А. Хотинский, А.В. Павлов, А.А. Аникин «Материаловедение» Учебное пособие. Саратов. СГАУ. 2011 г.- 250 с.
5. Оськин В.А., Евсиков В.В. «Материаловедение. Технология конструкционных материалов». М.: «КолосС» 2008 г.- 447 с.
6. «Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов» под ред. Оськина В.А., Байкаловой В.Н. М.: КолосС 2008 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Работа № 1	
Влияние скорости охлаждения на структуру и свойства стали.....	3
Работа № 2	
Закалка и отпуск стали.....	10
Работа № 3	
Термическая обработка сталей для режущего инструмента.....	15
Работа № 4	
Термическая обработка алюминиевых сплавов.....	20
Список литературы.....	25

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

**Методическое руководство
к выполнению практической работы**

Саратов 2016

Термическая обработка легированных сталей: Методическое руководство к выполнению работы/ Сост. : В.А. Хотинский, А.В. Павлов, А.Г. Уфаев; ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова». – Саратов, 2016. – 13 с.

Методическое руководство к выполнению работы составлено в соответствии с программой дисциплины и предназначено для студентов. В методическом руководстве занятий по курсу «Материаловедение», изложено содержание лабораторной работы, приведены краткие теоретические сведения; даны объем и порядок выполнения работы, а также методические указания по выполнению и составлению отчетов и организации работы в лаборатории. Основная цель – помочь студентам в выполнении всего комплекса лабораторно-практических работ, предусмотренных читаемым курсом лекций.

Термическая обработка легированных сталей.

Цели работы: изучить влияние легирующих элементов на параметры режимов термической обработки (температуру и скорость нагрева, длительность выдержки и скорость охлаждения); установить влияние химического состава на закаливаемость и прокаливаемость стали.

Теоретические сведения.

Кроме углеродистых сталей в сельскохозяйственном машиностроении широко применяют легированные стали, содержащие специально вводимые добавки других элементов, которые называют легирующими. Легированные стали характеризуются лучшими физико-химическими и механическими свойствами по сравнению с углеродистыми: повышенной жаростойкостью и жаропрочностью, сопротивлением коррозии, значительной ударной вязкостью, высокими значениями прочностных характеристик, пониженным температурным порогом хладноломкости, большим электрическим сопротивлением и др.

В качестве легирующих элементов наиболее часто используют следующие (в скобках указано обозначение элемента в марках легированных сталей): Cr(X), Ni(H), Mn(Г), Si(С), Mo(М), W(В), V(Ф), Ti(Т), Co(К). Реже используют Al(Ю), Cu(Д), В(Р) и некоторые другие.

Почти все легирующие элементы изменяют температуру полиморфных превращений железа и температуру эвтектического и эвтектоидного превращений. Легирующие элементы влияют на растворимость углерода в аустените, кинетику распада аустенита, мартенситное превращение, рост зёрен и превращения при отпуске, а также на скорость распада аустенита в области перлитных превращений. Некоторые легирующие элементы способны либо растворяться в феррите, аустените, цементите, либо (как и железо) взаимодействовать с углеродом, образуя карбиды, или взаимодействовать друг с другом или железом, образуя промежуточные фазы – интерметаллиды.

Температуру нагрева легированных сталей при термообработке выбирают, как и для углеродистых, на $30...50^{\circ}\text{C}$ выше температуры точки A_3 для доэвтектоидных сталей и точки A_1 (см. рис.1.) для эвтектоидной и заэвтектоидной сталей.

Влияние легирующих элементов на полиморфные превращения в стали. По влиянию на температуру в критических точках A_1 и A_3

легирующие элементы можно разделить на две группы (рис. 2). В первую группу входят элементы, понижающие температуру в точках A_1 и A_3 и расширяющие таким образом область γ -фазы – аустенита (рис. 2, а). К ним относятся Ni, Mn, Cu, C, N и др.

Во вторую группу входят элементы, которые повышают температуру в точках A_1 и A_3 . В этом случае область аустенита на диаграмме состояния железо – цементит сужается, а область устойчивости феррита расширяется (рис. 2, б). К таким элементам относятся Cr, Ti, Mo, W, V, Si и др.

Влияние легирующих элементов на термическую обработку стали. При введении в сталь легирующих элементов первой группы температура нагрева (с учётом нового положения критических точек) понижается, а второй группы – повышается.



Рис.1. Интервалы закалочных температур при полной и неполной закалке

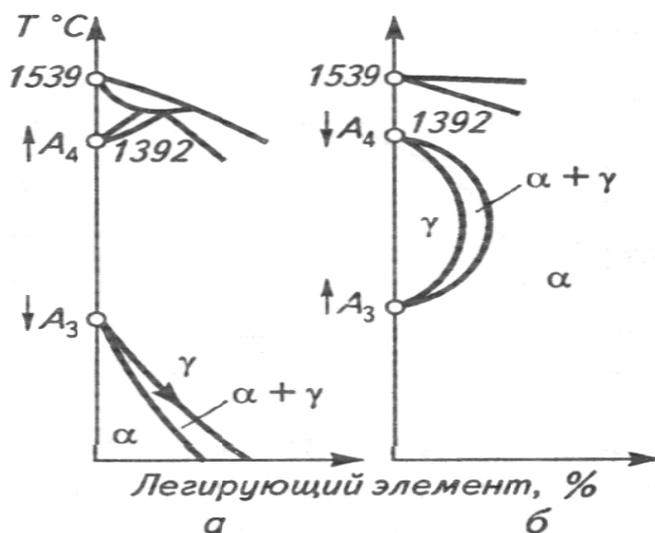


Рис.2. Диаграмма состояния железо – легирующий элемент: а - с расширяющейся γ -областью, б - с расширяющейся α -областью

Все легирующие элементы уменьшают теплопроводность стали, вследствие чего нагрев при отжиге, нормализации и закалке необходимо производить с меньшей

скоростью, чтобы избежать образования внутренних напряжений, возникающих в результате резкого перепада температур по сечению.

Большинство легирующих элементов тормозят превращение перлита в аустенит ($P \rightarrow A$). Скорость диффузии легирующих элементов в аустените невелика, поэтому продолжительность выдержки легированной стали при термической обработке для выравнивания концентрации легирующих элементов и углерода в аустените примерно в 2...2,5 раза больше, чем углеродистой.

Легированные стали менее склонны к перегреву при термической обработке, так как легирующие элементы уменьшают склонность аустенитного зерна к росту. Поэтому после термообработки такие стали обладают большей ударной вязкостью, чем углеродистые. Элементы (Ni, Co, Si, Cu), не образующие карбиды, относительно слабо влияют на рост зерна. Карбидообразующие элементы (Cr, Mo, W, V, Ti) сильно тормозят рост зерна аустенита при нагреве, поскольку избыточные карбиды, нерастворённые в аустените, препятствуют росту аустенитного зерна, и сталь сохраняет мелко

зернистое строение до высоких температур нагрева. Исключение составляет Mn, способствующий росту зерна.

Легирующие элементы (кроме Co), растворённые в аустените, уменьшают критическую скорость заковки $V_{кр}$, т.е. сдвигают S-образные линии диаграммы изотермического превращения аустенита вправо, и, следовательно, увеличивают прокаливаемость.

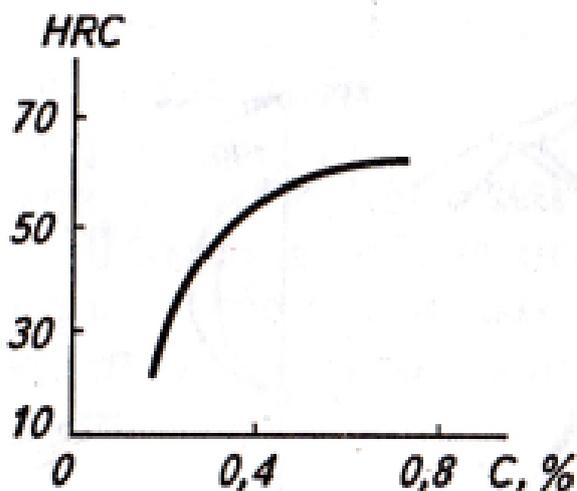


Рис. 3. Влияние содержания углерода на твердость закаленной стали

Закаливаемость и *прокаливаемость* – важные технологические характеристики сталей. Закаливаемостью называют свойство сталей приобретать высокую твердость при закалке. Структура, получаемая в результате закалки

- мартенсит, твёрдость которого зависит от содержания углерода (рис.3).

Прокаливаемость – способность сталей закаливаться на определённую глубину. Прокаливаемость оценивают по глубине закалённого слоя, нижняя граница которого соответствует троосто-мартенситной структуре (50% мартенсита и 50% троостита).

Если в сердцевине детали структура мартенситная или троосто-мартенситная, то деталь имеет сквозную прокаливаемость. Прокаливаемость зависит от устойчивости переохлаждённого аустенита и, следовательно, от критической скорости закалки (рис.4). Прокаливаемость стали может быть существенно увеличена при совместном легировании несколькими элементами, например никелем и хромом.

Все легирующие элементы (за исключением Co, Al, Si) снижают линии M_n и M_k на диаграмме состояния, что приводит к увеличению количества остаточного аустенита.

Влияние легирующих элементов на кинетику распада аустенита. Диффузионная подвижность легирующих элементов, не образующих карбиды (кроме Co), существенно меньше, чем углерода, что приводит к повышению устойчивости переохлаждённого аустенита и смещению С-образных линий на диаграмме изотермического превращения аустенита вправо. Элементы Ni, Mn, Cu и другие, растворяющиеся в феррите, не изменяют вид С-образных кривых (рис.5,а).

Для сталей, легированных карбидообразующими элементами Cr, Mo, W, V и Ti, характерны два минимума устойчивости (I, II, рис. 5,б) переохлаждённого аустенита, разделённые областью высокой устойчивости.

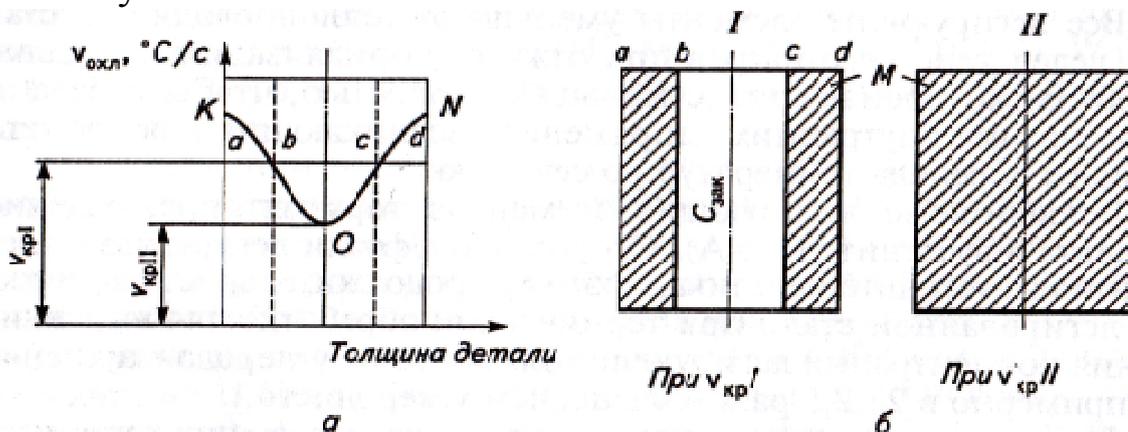


Рис. 4. Зависимость прокаливаемости от критической скорости закалки: а – изменение скорости охлаждения по сечению детали (линия

KON); б - образцы с несквозной (I) и сквозной (II) прокаливаемостью;
 $S_{\text{зак}}$ - сорбит закалки; М – мартенсит; а, b, с, d – точки в поперечном сечении, в которых скорость охлаждения равна $V_{\text{кр}}$

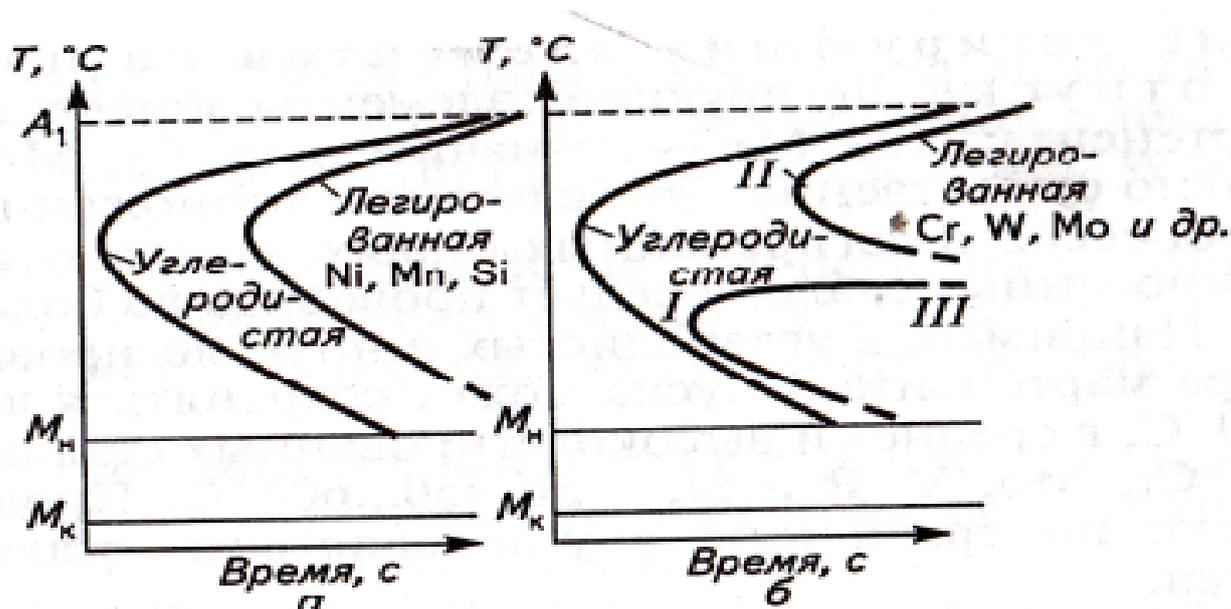


Рис. 5. Влияние легирующих элементов на вид диаграммы изотермического превращения аустенита:

I, II – минимумы устойчивости переохлажденного аустенита;

III – область высокой устойчивости переохлажденного аустенита

Легированные стали можно закаливать в масле или на воздухе, что способствует уменьшению деформации изделий и вероятности образования трещин.

Влияние легирующих элементов на мартенситное превращение. С увеличением количества легирующих элементов в стали снижаются температуры критических точек на линиях M_n и M_k . Это приводит к увеличению количества остаточного аустенита в структуре закалённой стали. Исключение составляют Al и Co, повышающие мартенситную линию M_n , и Si, не влияющий на её уровень.

Влияние легирующих элементов на превращения при отпуске. Легирующие элементы замедляют процесс распада мартенсита: Ni и Mn – незначительно; Cr, Mo, Si и другие – довольно существенно. Это связано с торможением диффузионных процессов в легированных сталях. Поэтому нагрев при отпуске легированных сталей следует проводить до более высоких температур. Например, в углеродистых и низколегированных сталях структура мартенсита отпуска может сохраняться до температур 250...350⁰С, в средне- и высоколегированных сталях, содержащих W, Ni, Mo, V, B и Si, - до

450...600⁰С. Продолжительность отпуска по сравнению с углеродистыми сталями также увеличивается.

С повышением температуры отпуска характеристики пластичности δ и ψ легированных сталей растут. Ударная вязкость КСU (рис.6.) с ростом температуры отпуска также увеличивается.

Существует два температурных интервала, в которых ударная вязкость конструкционных легированных сталей снижается: 250...350⁰С и 500...600⁰С. Это снижение ударной вязкости при некоторых условиях отпуска получило название отпускной хрупкости I и II рода. Этот недостаток наиболее характерен для хромоникелевых, хромокремнистых, хромомарганцевых и им подобных сталей.

Отпускная хрупкость I рода вызвана неоднородным выделением карбидов из мартенсита по границам и в объёме зерна. Больше количество карбидов выделяется в пограничных слоях, что и вызывает хрупкость.

Отпускную хрупкость II рода связывают с диффузией растворённых атомов некоторых элементов к границе зерна и пресыщением поверхностных слоёв зерна этими элементами без выделения мелкодисперсных фаз (карбидов, фосфидов и т.п.). Особенно сильное влияние оказывает фосфор при содержании более 0,01%.

Отпускная хрупкость I рода неустранима, отпускная хрупкость II рода устраняется или быстрым охлаждением с температуры отпуска, или введением в легированные стали Mo, W в десятых долях процента.

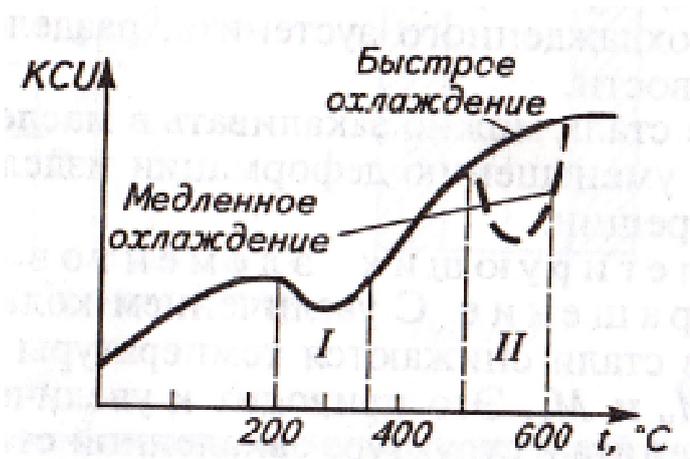


Рис. 6. Влияние температуры отпуска на ударную вязкость легированной стали

Оборудование и образцы.

Камерная печь; твердомеры Бринелля и Роквелла; по три образца каждой из легированных сталей 40X, 40XНМА, 18X2Н4ВА и 60С2; заточной станок; ёмкости с водой и маслом.

Порядок выполнения работы.

1. Определить по справочнику химический состав и режимы термической обработки для сталей 40X, 40XНМА, 18X2Н4ВА и 60С2.
2. Загрузить образцы в нагретую печь и после необходимой выдержки охладить по одному образцу каждой марки в воде, масле и на воздухе.
3. Замерить твёрдость образцов до термообработки на приборе Бринелля и после термообработки на приборе Роквелла.
4. Заполнить таблицу результатами испытаний и построить график зависимости твёрдости от скорости охлаждения.

Содержание отчёта.

В отчёт необходимо включить: описание влияние легирующих элементов на каждый этап термической обработки; понятия закаливаемости и прокаливаемости, отметить факторы, влияющие на эти характеристики; таблицу результатов испытаний и справочные данные по химическому составу исследуемых сталей; график изменения твёрдости сталей в зависимости от скорости охлаждения (вода, масло, воздух).

Оценить влияние скорости охлаждения на механические свойства исследуемых сталей и объяснить причину получения одинакового значения твёрдости при различных скоростях охлаждения для стали 18X2Н4ВА. Указать сталь, имеющую наибольшие закаливаемость и прокаливаемость и объяснить, почему.

Вопросы по теоретическому материалу для отчета

3. Как влияют легирующие элементы на полиморфные превращения?
4. Как влияют легирующие элементы на термическую

обработку стали?

5. Как влияют легирующие элементы на распад аустенита?

6. Как влияют легирующие элементы на мартенситное превращение?

7. Как влияют легирующие элементы на превращения при отпуске?

8. Что такое прокаливаемость?

9. Что такое закаливаемость?

8. По результатам опытов, проведенных во время лабораторной работы, проанализировать влияние охлаждения на твердость стали в зависимости от ее химического состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оськин, В.А. Материаловедение. Технология конструкционных материалов [Текст]: учебник/ В.А. Оськин, В.В. Евсиков. - М.: «КолосС» 2007 г.- 447 с.: ил.

2. Дегтярев, М.Г. Материаловедение [Текст]: учебник/ М.Г. Дегтярев; М. Колос, 2007г.- 360 с.: ил.

3. Оськин, В.А. Материаловедение. Технология конструкционных материалов [Текст]: учебник/ В.А. Оськин, В.В. Евсиков. - М.: «КолосС» 2008 г.- 447 с.: ил.

4. Аникин А.А. Материаловедение [Текст]: Учебное пособие/ А.А. Аникин, В.А. Хотинский, А.В. Павлов, А.А. Аникин; Саратов. СГАУ. 2012 г.- 252 с.:

5. Арзамасов, В.Б. Материаловедение [Текст]: учебник/ В. Б. Арзамасов, А.А. Черепяхин. – М.: Академия, 2013г.-252 с.: ил

6. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов [Текст]/ В.А. Оськин, В.Н. Байкалова, В.Ф. Карпенков и др.; под ред. В.А. Оськина, В.Н. Байкаловой - М.: КолосС 2008 г.- 318 с.: ил.:

7. Уфаев, А.Г. Материаловедение [Текст]: краткий курс лекций /А.Г. Уфаев, А.В. Павлов.- Саратов. СГАУ. 2011г.-42 с.

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

Цементация стали

Методические указания по выполнению
практической работы

Направление подготовки

23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы,

Саратов 2016

Цементация стали: Методические указания по выполнению работы/ Сост. : А.В.Павлов, А.Г.Уфаев; ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова». – Саратов, 2016 –6 с.

В методических указаниях приведено описание занятия по курсу «Материаловедение», читаемому для студентов. Основная цель – помочь студентам в выполнении всего комплекса лабораторно-практических работ, предусмотренных читаемым курсом лекций.

ЦЕМЕНТАЦИЯ СТАЛИ

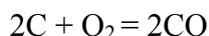
Теоретические основы

Химико-термической обработкой называется процесс изменения химического состава, структуры и свойств поверхностных слоев стальных изделий. К числу основных видов химико-термической обработки относятся: цементация (науглероживание); цианирование (обогащение углеродом и азотом); азотирование (насыщение азотом); диффузионная металлизация (хромирование, силицирование, алитирование, хромалитирование, хромосилицирование и др.); борирование (насыщение бором), сульфацирование (совместное насыщение углеродом, азотом и серой).

Наиболее распространена цементация, отличающаяся простотой и дешевизной, а также заметной эффективностью. Цементации подвергают изделия из малоуглеродистой стали (содержание углерода не более 0,2 - 0,25%) как нелегированной, так и легированной. В результате цементации на поверхности образуется твердый износостойчивый слой металла при сохранении пластичной и вязкой сердцевины, хорошо сопротивляющейся ударам. Кроме того, сталь обладает повышенной усталостной прочностью. Глубина цементации зависит, в основном, от размеров детали.

Насыщение углеродом осуществляется в твердой или газовой среде. Реже используются жидкие среды. Для цементации в твердой среде детали загружают в железный ящик и засыпают сплошным слоем, называемым карбюризатором. Обычно карбюризатор состоит из 75-85% древесного угля и 15-25% солей BaCO_3 или NaCO_3 . Ящик закрывается крышкой, и для герметизации щели промазываются огнеупорной глиной. Упакованный ящик помещают в печь, нагретую до 900-1050 °С. Выдержка при указанной температуре составляет до десятков часов, в зависимости от требуемой глубины науглероженного слоя.

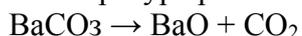
Химизм цементации заключается в следующем. Углерод карбюризатора окисляется с образованием окиси углерода:



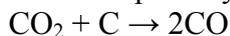
При контакте с железной поверхностью деталей окись углерода разлагается на углекислоту и атомарный углерод



Выделившийся атомарный углерод адсорбируется поверхностью детали и растворяется в γ -железе (аустените). Углекислые соли (BaCO_3 , NaCO_3) ускоряют процесс цементации, т. к. они при высокой температуре разлагаются по реакции:



Углекислый газ соединяется с углем, давая порции окиси углерода, которые в свою очередь дают дополнительное количество атомарного углерода



Газовая цементация проводится путем нагрева изделий в углеродсодержащих газах, например, в метане CH_4 , пропане C_3H_8 , окиси углерода и др. При высокой температуре происходит разложение этих соединений с выделением углерода в атомарном виде, например, $\text{CH}_4 \Rightarrow 2\text{H}_2 + \text{C}$ или $2\text{C} \Rightarrow \text{CO}_2 + \text{C}$. Дальше углерод адсорбируется поверхностью, а затем растворяется в γ -железе (аустените) на определенную глубину. Время цементации при газовом способе в 2 - 3 раза меньше, чем при твердом.

Структура цементированной стали после медленного охлаждения с температуры цементации будет равновесной. Насыщение поверхностного слоя допускается до концентрации углерода 0,8-1% (редко до 1,2% C), так как слой становится очень хрупким. Таким образом, структура цементированного слоя в соответствии с содержанием углерода будет разделяться на 3 зоны: заэвтектоидную (содержание углерода > 0,8%), эвтектоидную (содержание углерода около 0,8%) и доэвтектоидную (содержание углерода < 0,8%, рис. 1). Структура сердцевины состоит, в основном, из феррита с небольшим количеством зерен перлита, так как сердцевина содержит маленький процент, углерода.

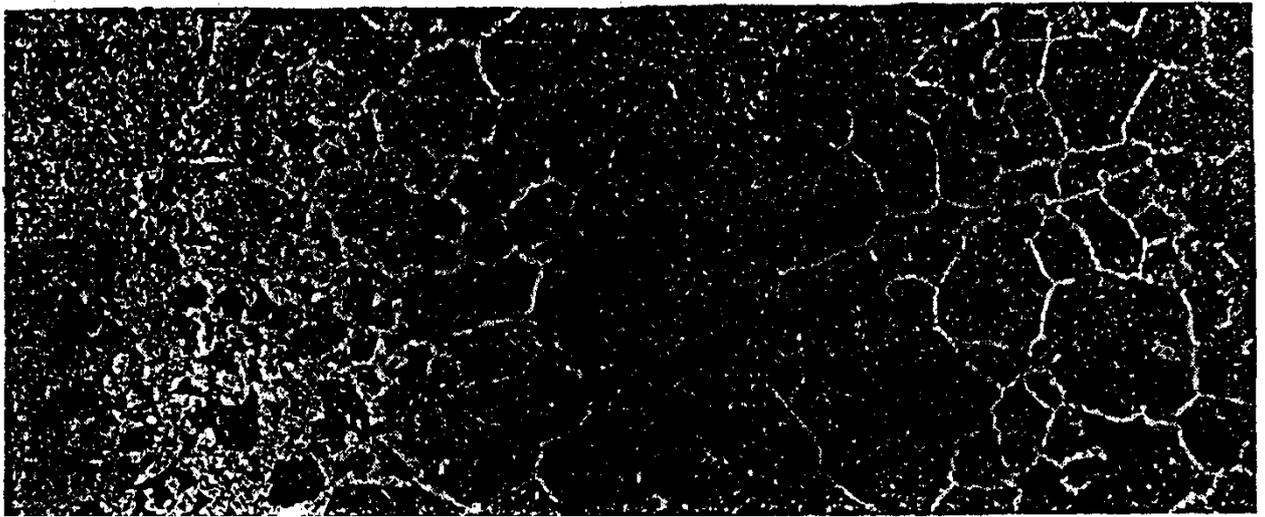


Рис. 1. Структура цементированного слоя и сердцевины в равновесном состоянии, X100

После цементации (твердой, газовой) проводят термическую обработку. Главная цель термической обработки - получить высокую твердость и прочность поверхности, а также вязкую мелкозернистую сердцевину.

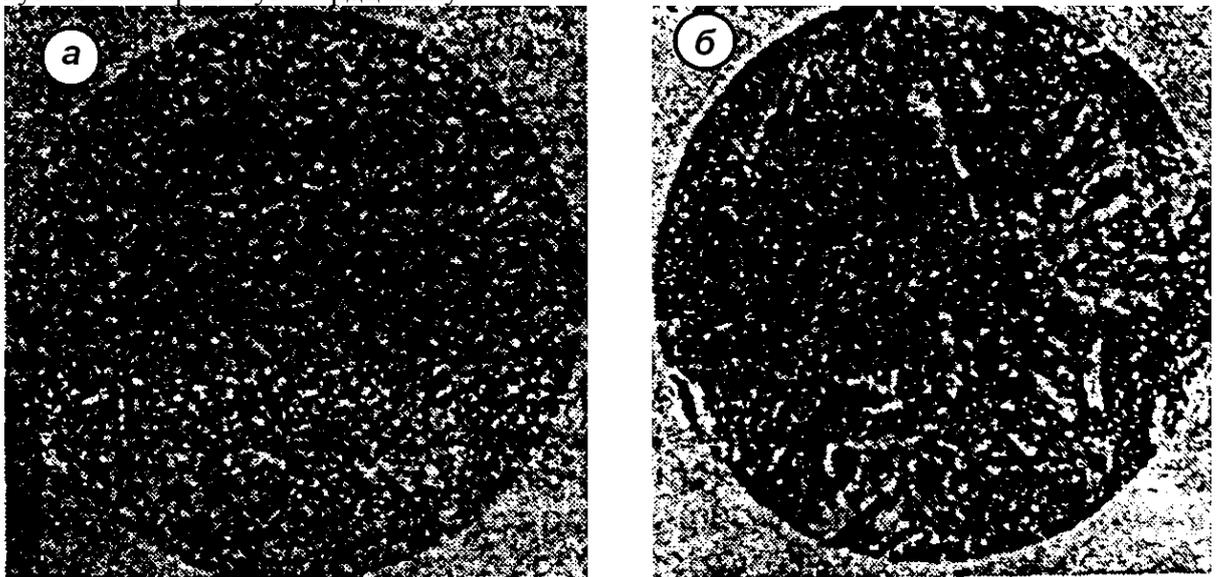


Рис 2. Структура цементованного слоя и сердцевины стали 18ХНВА после термообработки (закалка с температуры цементации и отпуск 150 °С), X450;

- а) высокоуглеродистый отпущенный мартенсит в поверхностном слое;
- б) малоуглеродистый отпущенный мартенсит в сердцевине

В соответствии с содержанием углерода для измельчения зерна сердцевины, а также для устранения цементитной сетки, если таковая образовалась при цементации, нужно провести полную закалку или нормализацию, а для упрочнения поверхностного слоя - неполную закалку и низкий отпуск. Такая сложная термообработка назначается обычно после твердой цементации, когда сталь долгое время находится при высокой температуре, что ведет к сильному росту зерна аустенита. В случае газовой среды длительность цементации значительно сокращается и нет необходимости в двойной закалке. В этом случае делают одинарную закалку с температуры 850 - 870 °С + низкий отпуск. Природномелкозернистые стали можно закаливать сразу с температуры цементации. Структура после термической обработки: в поверхностном слое отпущенный мартенсит (в легированной стали еще присутствуют карбиды). В сердцевине - феррит с небольшим количеством перлита, если сталь не легированная. В случае легированной стали - в сердцевине малоуглеродистый вязкий мартенсит (рис. 2).

Задание и методические указания

1. Изучить и зарисовать микроструктуру цементированного слоя в равновесном состоянии и сердцевины с указанием структурных составляющих и зон в цементированном слое.

В сердцевине определить содержание углерода и указать марку стали, если цементации подвергалась качественная углеродистая сталь.

2. Определить глубину цементированного слоя (за глубину принимается расстояние от поверхности до того места, где структура состоит из 50% П и 50% Ф). Для определения глубины слоя используется окуляр-микрометр, т. е. окуляр со шкалой. Сначала определяют цену деления на окуляр-микрометре при данном увеличении, а затем определяют, сколько делений занимает цементованный слой. Для определения цены одного деления на окуляр-микрометре используют объект-микрометр-линейку, на которой нанесена шкала длиной 1 мм с делениями 0,01 мм, т. е. 1 мм разбит на 100 делений. Совмещая начало шкалы объект-микрометра и окуляр-микрометра, находят, которая риска объект-микрометра точно совпадает с риской окуляр-микрометра. Затем число совпавших делений на объект-микрометре умножают на 0,01, т. е. определяют истинную длину участка, совпавшего с определенным числом делений окуляр-микрометра. После этого нетрудно узнать цену деления окуляр-микрометра, поделив истинную длину участка на количество делений окуляр-микрометра, находящихся на этом отрезке.

Затем, определяя глубину каждой зоны цементованного слоя, определяют общую глубину цементованного слоя.

3. Изучить и зарисовать структуру цементованного слоя и сердцевины после термической обработки.

Вопросы по теоретическому материалу для отчета

1. Ознакомиться с основными способами химико-термической обработки.
2. Какие стали применяются для цементации?
3. Какие виды цементации существуют?
4. Каков химизм цементации?
5. Описать твердый способ цементации.
6. Описать газовый способ цементации.
7. Какая структура у стали после цементации в поверхностном слое и сердцевине?
8. Какие цели преследует термообработка после цементации?
9. Как проводят термическую обработку деталей после цементации?
10. Какая микроструктура термообработки?

Оборудование

1. Микроскопы МИМ-7, ММУ-3, ММУ-1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материаловедение / Б. Н. Арзамасов [и др.] ; МГТУ им. Н.Э. Баумана. – М., 2002 – 687 с.
2. Конструкционные материалы / под общ. ред. Б. Н. Арзамасова. – М. : Машиностроение. 1990. – 687 с.
3. *Лахтин, Ю. М.* Материаловедение : учебник для вузов / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьев. – М. : Машиностроение, 1990 – 528 с.
4. *Колесов, С. Н.* Материаловедение и ТКМ : учебник для вузов / С. Н. Колесов, И. С. Колесов. – М. : Высшая школа, 2004 – 519 с.
5. Новые материалы / под науч. ред. Ю. С. Карабасова. – М. : МИСИС, 2002. – 736 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Теоретические основы.....	3
Задание и методические указания.....	5
Вопросы по теоретическому материалу.....	5
Список литературы.....	5