

# Лекция 8

1. Теория легирования
2. Классификация и маркировка легированных сталей
3. Строительные стали
4. Жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы

# Теория легирования

- **Легированные стали** – содержат W, V, Cr, Ni, Ti и др. специально введенные элементы.
- Группы:
  1. до 2,5% (низколегированные)
  2. от 2,5 до 10% (среднелегированные)
  3. более 10% (высоколегированные)

При концентрации  $> 50\%$  будет **не сталь**,  
**а сплав**

# Взаимодействие Fe с легирующими элементами

образование

1. растворов внедрения;

2. растворов замещения:

неограниченных

ограниченных

ПОСЛЕДСТВИЕ

Искажение кристаллической решетки -  
упрочнение

# Взаимодействие углерода с легирующими элементами

- происходит образование карбидов  
 $(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{C}$ ;  $\text{VC}$ ,  $\text{W}_2\text{C}$ ;  $\text{Cr}_7\text{C}_3$
- Карбиды легирующих элементов обладают более высокой твердостью, чем  $\text{Fe}_3\text{C}$

# 1-й вывод

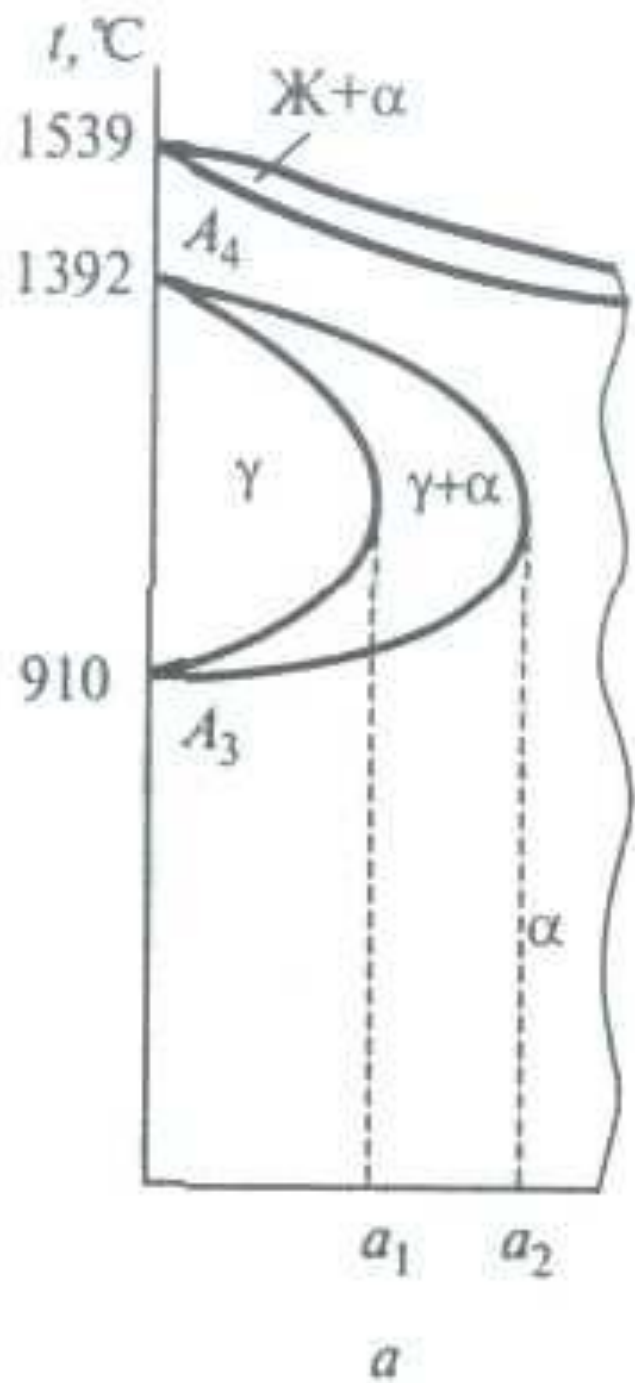
- При легировании за счет искажения решетки  $Fe_{\alpha}$  в твердом растворе, а также за счет образования карбидов **повышается твердость и прочность сплава**

# Влияние легирующих элементов на свойства феррита

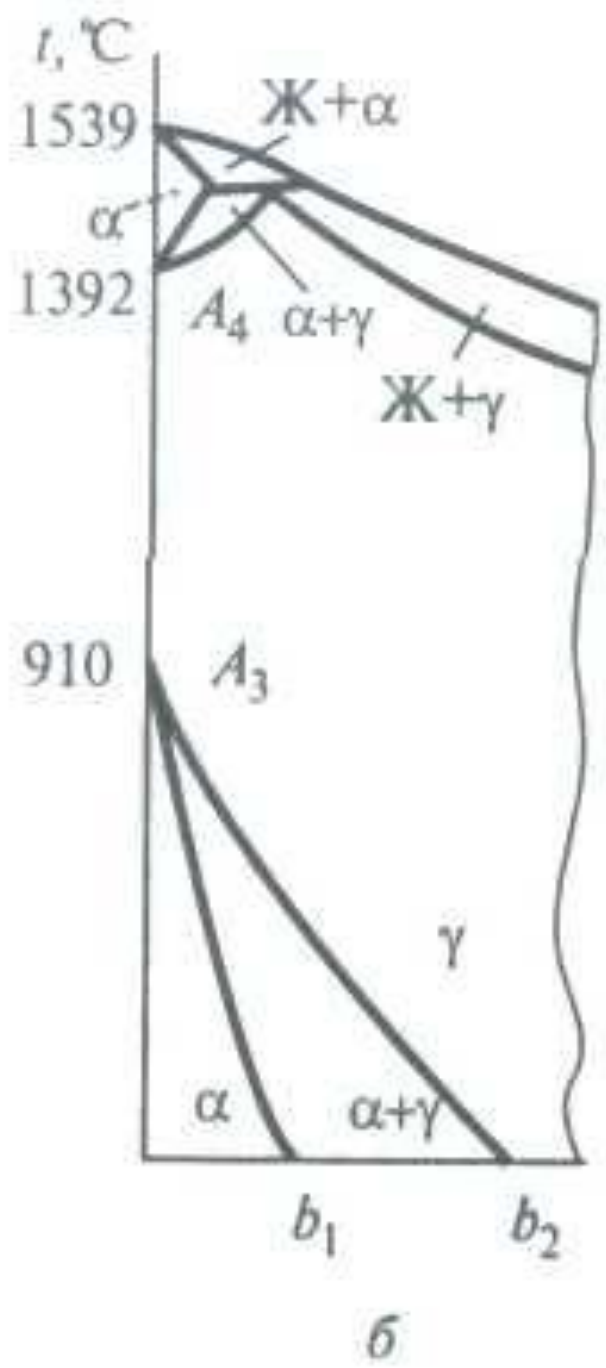
1. Влияние легирующих элементов на положение критических точек:

Элементы группы Ni – расширяют  $\gamma$  область

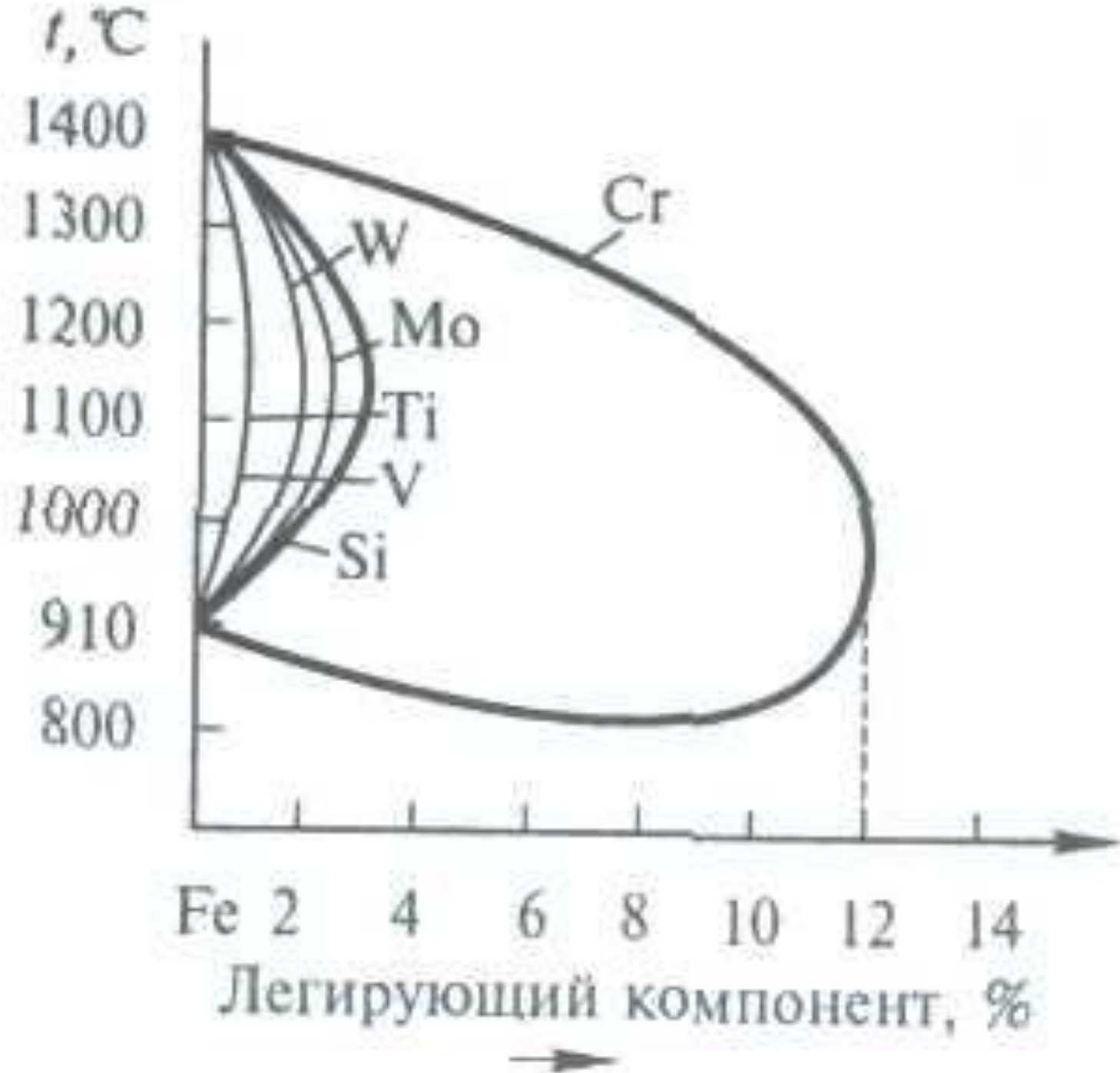
Элементы группы Cr – расширяют  $\alpha$  область



$\alpha$



$\gamma$





# Влияние легирующих элементов на изотермический распад аустенита

- Все элементы кроме Со замедляют распад аустенита и тем самым снижают критическую скорость закалки ( $V_{кр}$ )
- Снижение  $V_{кр}$  повышает **прокаливаемость**

## 2-ой вывод

- увеличение **прокаливаемости** – вторая главная цель легирования

# Третья важная цель – получение особых свойств сталей

Получение:

- нержавеющей сталей – за счет Cr
- жаростойких – за счет Si
- с высоким электросопротивлением - Ni

# Классификация и маркировка легированных сталей

## Признаки классификации:

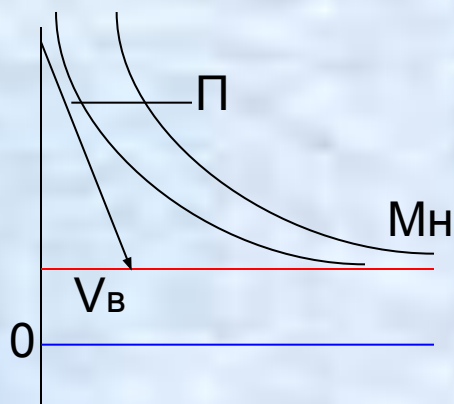
равновесная структура;

- структура после охлаждения на воздухе;
- состав;
- назначение.

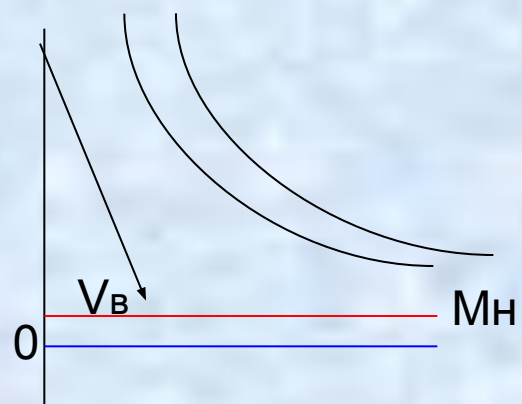
# Классификация по равновесной структуре:

- Доэвтектоидные стали – П + b
- эвтектоидные – П
- заэвтектоидные – П + карбиды
- аустенитные
- ферритные
- ледибуритные

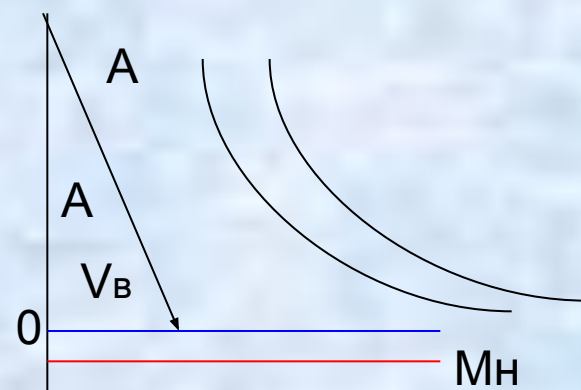
# Классификация по структуре после охлаждения на воздухе



Перлит



Мартенсит



Аустенит

# Классификация по составу

- Н – никелевые
- Х – хромовые
- ХН – хромоникелевые
- ХВГ - хромовольфрамомаргансовистые

# Классификация по назначению

- Конструкционные
- Инструментальные
- Стали и сплавы с особыми свойствами:
  - нержавеющие
  - жаропрочные
  - износостойкие
  - с особыми магнитными свойствами
  - с особыми тепловыми свойствами
  - с особыми электрическими свойствами



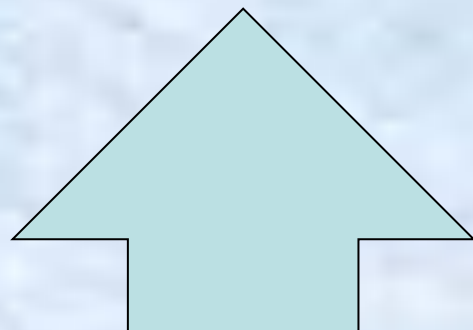
# Маркировка легированных сталей

- Обозначения легирующих элементов:
  1. Азот (N) - А
  2. Вольфрам (W)
  3. Молибден (Mo)
  4. Кобальт (Co) – К
  5. Никель (Ni) – Н
  6. Титан (Ti) – Т
  7. Хром (Cr) – Х
  8. Цирконий (Zr) – Ц
  9. Кремний(Si) – С
  10. Фосфор (P) – П
  11. Ванадий (V) – Ф
  12. Марганец (Mn) – Г
  13. Медь (Cu) – Д
  14. Бор(B) – Р
  15. Алюминий (Al) – Ю
  16. Ниобий (Nb) - Б

# Марка

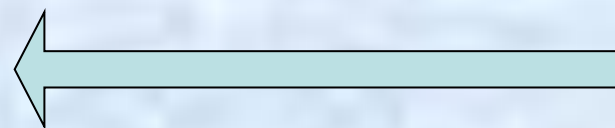
Цифра  
(ы)

Буква и  
цифра



Содержание  
углерода:

**для конструкционной**  
сталей – в сотых долях %  
**для инструментальной** –  
в десятых долях %



е  
н  
т  
Ц  
и  
ф  
р  
а  
.

с  
о

- Цифры не ставят:**
- при содержании углерода ~ 1%
  - содержании легирующих элементов ~ 1,0...1,5%

д  
е  
р  
ж  
а  
и

# Примеры

- **Конструкционные стали:**

12Г2 – марганцовистая;

08Х17Т – хромотитановая

40Х – хромистая

30ХГС – хромокремнемаргенцевая

30ХМЮА - А в конце означает

«высококачественная»

- **Инструментальные:**

Х – хромистая (0,95...1,1% С; ~ 1% Cr)

9ХС    11ХФ    (сравни: У9 и У13)

# В некоторых марках в начале ставят буквы, указывающие на применение сталей

- **А** – автоматные (А 20)
- **Ш** – шарикоподшипниковые (ШХ15)
- **Э** – электротехнические
- **Р** – быстрорежущие (Р18; Р от Radip – быстрый)

# Строительные стали

В России строительные стали подразделяют по прочности на 7 основных классов:

Класс	$\sigma_T$ , МПа*	Класс прочности
1	>225	нормальный
2	285	повышенный
3	325	
4	390	
5	440	высокий
6	590	
7	735	

\*Учитывают толщину (**s**) прокатки.

С ростом **s** структура становится грубее, снижается  $\sigma_T$

Основное технологическое требование – хорошая свариваемость, что зависит от содержания углерода

Влияние С, легирующих элементов и примесей оценивают по ГОСТ 27772-88 углеродным эквивалентом:

$$C_{\text{э}} = \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Mo}{5} + \frac{Cr}{4} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cu}{13} + \frac{V}{14} + \frac{P}{2}$$

При  $C_{\text{э}}=0,35$  сварка не вызывает затруднений

$C_{\text{э}}=0,35\dots0,6$  соблюдать меры предосторожности

$C_{\text{э}}>0.6$  – спец. меры для предупреждения возникновения трещин

В зависимости от требований к **хладостойкости** выделяют три группы

- I – без гарантированной хладостойкости
- II – с гарантированной хладостойкости для конструкций, эксплуатируемых при температурах до минус  $40^{\circ}\text{C}$
- III – то же при расчетных температурах ниже минус  $40^{\circ}\text{C}$  («северное исполнение»)

Важнейший фактор , влияющий на хладостойкость – дисперсность зерна

**Измельченное зерно** повышает **сопротивление** и **хрупкому, и вязкому разрушению** строительных сталей.

**Пластичность и вязкость** сильно снижают строчечные и вытянутые **включения оксидов и сульфидов**.

Модифицирование стали силикокальцием и РМЗ глобулирует неметаллические включения и подавляют влияние вредных примесей.



# Жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы

**Жаропрочные** – сохраняющие при высоких температурах ( $\sim 850^{\circ}\text{C}$ ) в течении определенного времени высокую механическую прочность.

**Жаростойкие (окалиностойкие)** – обладающие стойкостью против химического разрушения в газовых средах, работающие в ненагруженном (слабонагруженном) состоянии

- Жаропрочность обеспечивается химическим составом и структурой стали (сплава)
- Элементы повышающие жаропрочность:  
Mo, W, V, Nb, Ti, Co, Al, Ca, Ni.
- Наибольшую жаропрочность стали создает  
аустенитная структура.

# Механизм жаропрочности

## 1. Сплавы системы Ni - Cr - Ti - Al.

концентрация Ti и Al превышает предел растворимости при  $T=650\dots950^{\circ}\text{C}$ . После закалки и отпуска выделяются дисперсные частицы интерметаллической фазы типа -  $\text{Ni}_3(\text{Ti}, \text{NiAl})$  - происходит дисперсионное твердение сплава. Он становится устойчивым при  $T=700\dots800^{\circ}\text{C}$  и выше.

## 2. Сплавы на **Co** – **Ni** основе

- В наших сплавах **Co** от 5 до 15%
- в зарубежных – до 30%!
- Чем больше **Co**, тем выше рабочая температура сплава.

Сталь	Назначение	Рабочая т-ра, °С
12ХМ	Трубы паронагревателей, паропроводов, котлов...	510
15ХМ		530
18Х3мВ	Нефтехимическая аппаратура	500
25Х2М1Ф	Болты, шпильки, плоские пружины	550
12Х18Н9	Трубы, теплообменники, муфели, коллекторы выхлопных систем	800
ХН38ВТ	Детали газовых турбин	1000

Сталь	Назначение	Рабочая т-ра, °С
40Х9С2М 40Х10С2М (сильхромы)	Клапаны моторов, крепежные детали	650
45Х14Н14В2М	Клапаны моторов, детали трубопроводов	650
20Х23Н18	Детали установок химического и нефтяной промышленности, камеры сгорания, нагревательные эл-ты сопротивления	1000
ХН60Ю ХН70Ю	Литые детали турбин, эл- ты сопротивления нагревателей	1100

# Суперсплавы

Страна	Марка	Состав	$\sigma_B$ , МПа при T, °C	
			700 и 760	800 и 870
РФ	ХН55ВМКЮ	<0.1C; 9.5Cr; 7.2Mo; 6.5W; 5.7Al; 12Co; остNi	1080	1000
США	Udimet 720	0.03C; 17Cr; 3Mo; 1.3W; 2.5Al; 5Ti; 14.7Co; 0.03Zr; 55Ni	1455	1150

# Основные преимущества легирования сталей

- более высокая прочность
- повышенная ударная вязкость
- высокая прокаливаемость
- низкие закалочные напряжения
- более высокий уровень механических свойств после термической обработки

Цементуемые легированные стали (по ГОСТ4543-71): 15X; 25XГМ; 18X2Н4М



# Маркировка легированных сталей

Россия	США	Япония
15X	5115	SCr415
08X13	410S	SUS410S
10X13CЮ	405	SUS405