



# Основы легирования сталей

**Лекция 12**

**Поток 1А**

**Лектор доц. Дощечкина И .В.**

**(lect\_12\_1A\_TKMiM\_DIV\_24-04-2015 ppt )**

(Использованы материалы электронного ресурса [www.google.com.ua / search](http://www.google.com.ua/search) )

# План лекции

12.1. Влияние легирующих элементов на критические точки и вид диаграммы Fe-Fe<sub>3</sub>C.

12.2. Структурные классы легированных сталей.

12.3. Влияние легирующих элементов на свойства феррита и карбидов .

12.4. Влияние легирующих элементов на размер зерна.

12.5. Влияние легирующих элементов на прокаливаемость

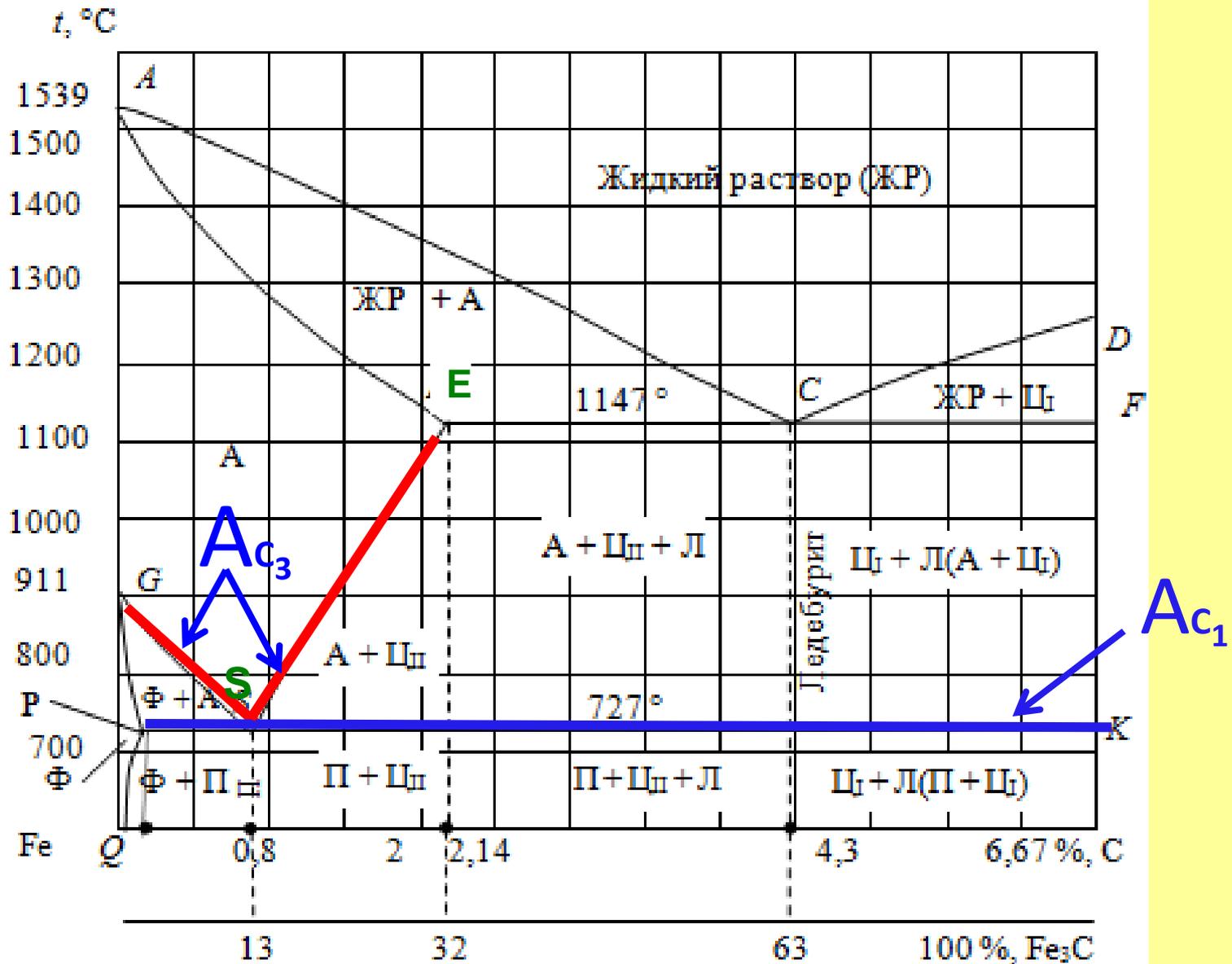
12.6. Влияние легирующих элементов на процессы, происходящие при отпуске .

12.7. Влияние легирующих элементов на порог хладноломкости.



# Диаграмма состояния Fe–Fe<sub>3</sub>C

Критические точки Ac<sub>1</sub> и Ac<sub>3</sub>

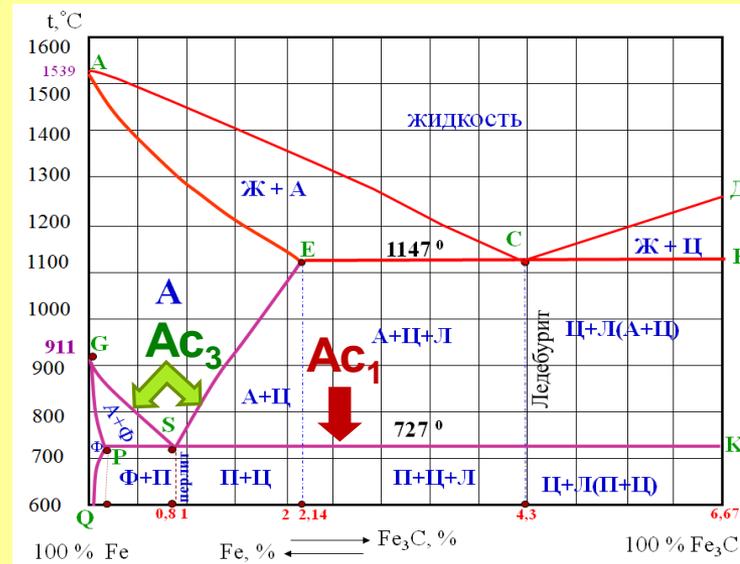


## 12.1. Влияние легирующих элементов на критические точки и вид диаграммы Fe-Fe<sub>3</sub>C.

Si, W, Ti, V, Co-  
повышают  $A_{c1}$ ↑  
и  $A_{c3}$ ↑.

Mn и Ni обе  
точки снижают-  
 $A_{c1}$ ↓ $A_{c3}$ ↓.

Cr и Mo повышают  
 $A_{c1}$ ↑ и снижают  
 $A_{c3}$ ↓, т.е. область  
аустенита  
сужается.



Легирование Mn и Ni  
приводит к тому, что  
аустенит может стать  
стабильной структурой  
при комнатной  
температуре.

Cr и Si за счет  
повышения  $A_{c1}$  и  
снижения  $A_{c3}$  позволят  
стали иметь ферритную  
структуру вплоть до  
линии солидуса.

Большинство легирующих элементов ( Cr, Ni, Mn, Si, W, Co) сдвигают критические точки S и E влево.

Легированные стали могут иметь чисто перлитную структуру при содержании углерода меньше 0,8%.

Если сталь содержит 5% W точка E будет отвечать концентрации углерода 0,8%.



## 12.2 Структурные классы легированных сталей

Стали подразделяют на 5 классов в зависимости от структуры, формирующейся при медленном охлаждении (на воздухе) от высоких температур:

Ферритный



Низкоуглеродистые (0,08-1,15%С) высокохромистые (> стали 12 %) : 08X13, 12X17, 15X25T.

Перлитный

Низко- и среднеуглеродистые стали, которые после охлаждения на воздухе имеют ферритно-перлитную структуру: 40X, 38XC, 20X, 60C2 и др.

Мартенситный



Высоколегированные хромистые стали с содержанием углерода >0,3% : 30X13, 40X13, 60X13 и сильхромы 40X9C2, 40X10C2M.

Аустенитный



Высокоуглеродистые стали, содержащие значительное количество марганца - 10Г13; хромоникелевые низкоуглеродистые - 12X18H9, 12X18H10T и среднеуглеродистые стали - 40X14H14B2.

Ледебуритный  
(карбидный)

Стали с большим содержанием углерода (~0,9%), в которых при кристаллизации выделяется из жидкой фазы ледебурит : P18, P9, P6M5, P6M5K5.



# Вопросы для самоконтроля.

1. Как легирующие элементы влияют на положение критических точек  $A_{c1}$  и  $A_{c3}$ ?
2. Как изменяется положение критических точек S и E при легировании стали?
3. Как влияют легирующие элементы на структуру стали при охлаждении на воздухе?
4. На какие структурные классы подразделяются легированные стали? Приведите примеры сталей.

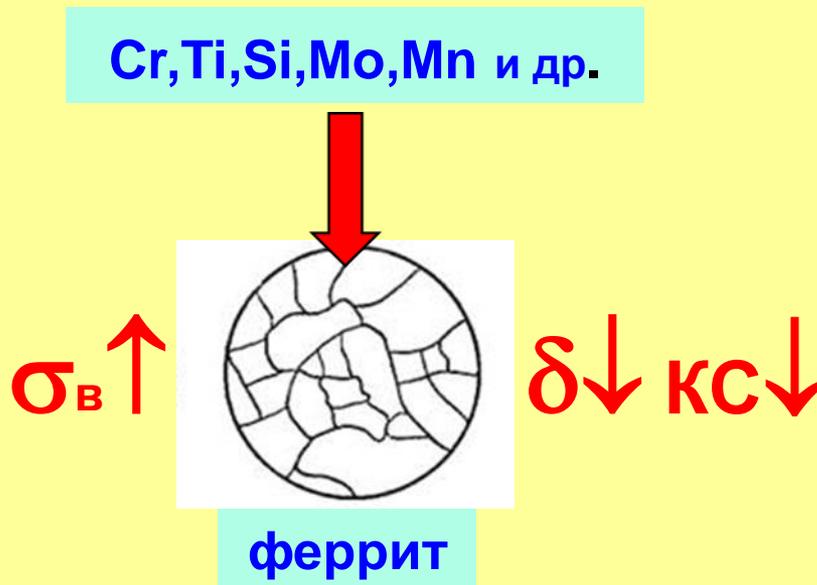


## 12.3. Влияние легирующих элементов на свойства феррита.

Легирующие элементы, растворяющиеся в феррите, вызывают изменение его свойств: прочность повышается, а пластичность и ударная вязкость уменьшаются.

Наиболее сильно упрочняют феррит **Si** и **Mn**.

Для **Si**  
коэффициент упрочнения  
 $K=86$ , для **Mn**  
 $K=33$ .



При упрочнении снижаются ударная вязкость и пластичность. Единственный элемент, который **положительно** влияет на пластичность и ударную вязкость – это **Ni**.

**Количество легирующих элементов** в конструкционных сталях ограничивается – не более **2-4%**.

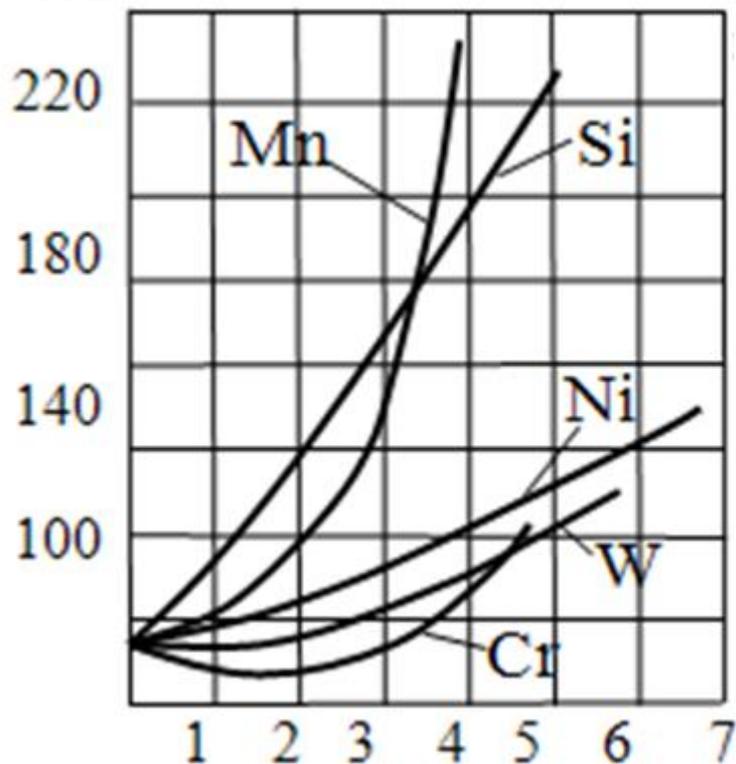
За счет только легирования невозможно достичь высокой конструкционной прочности - необходима термическая обработка.

**Легированные стали рационально использовать только в термообработанном состоянии**



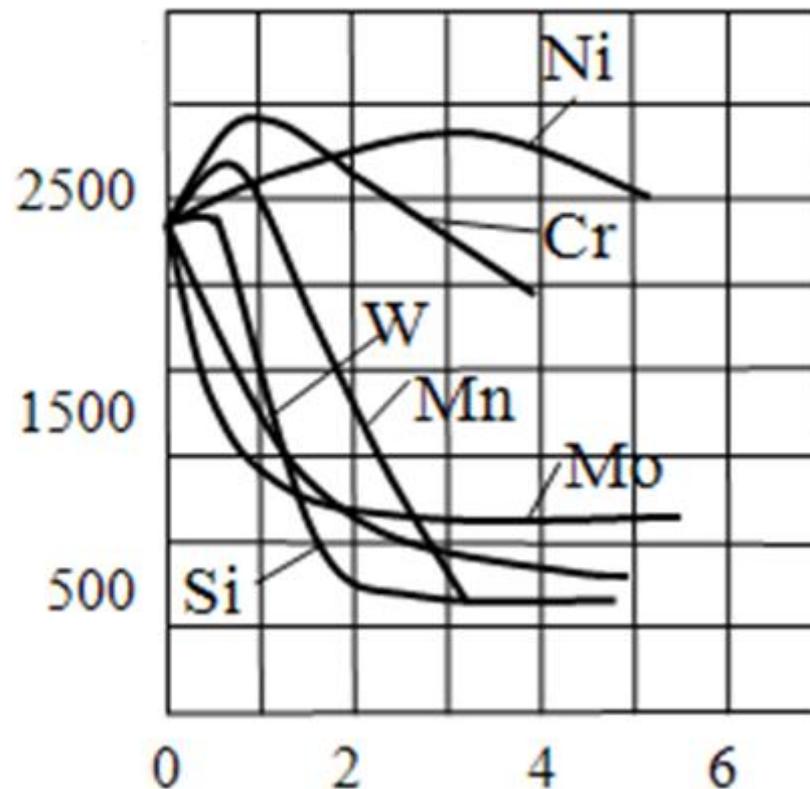
# Изменение свойств феррита при легировании

**НВ**



**Твердость.**

**КС, кДЖ/м<sup>2</sup>**



**Ударная вязкость.**



# Влияние легирующих элементов на свойства карбидов

Все л.э. можно разделить на две группы:

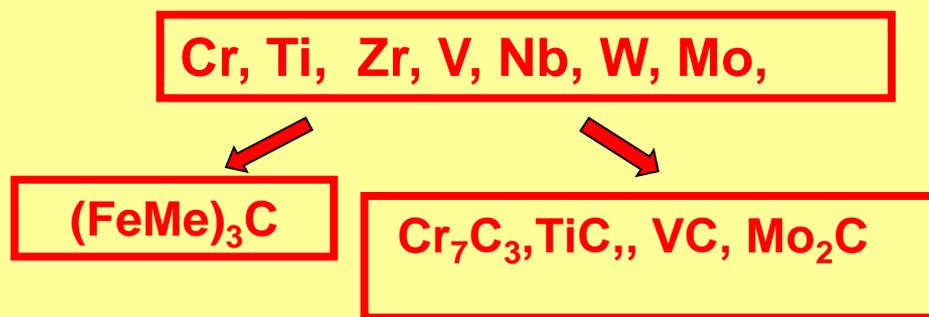
1 - карбидообразующие ; 2- некарбидообразующие.

Большинство легирующих элементов являются карбидообразователями: Cr, Mo, W, Ti, V, Nb, Co, Zr, Ta.

Некарбидообразующие элементы – Si, Cu, Ni, Co, Al, влияющие только на свойства феррита.

Карбидообразующие элементы образуют легированный цементит и специальные карбиды.

По своим свойствам легированный цементит практически не отличается от нелегированного и имеет твердость ~850 HV.



Специальные карбиды очень дисперсные и имеют очень высокую твердость ( $Cr_{23}C_6 \sim 2700HV$ ) и высокую температуру плавления.

При небольшом содержании карбидообразующие элементы растворяются в феррите или цементите, образуя легированный цементит –  $(FeMn)_3C$ ,  $(FeCr)_3C$ .

При повышенном содержании карбидообразующих элементов могут образовываться не только простые специальные карбиды, но и сложные (двойные) карбиды –  $Fe_2W_2C$ ,  $Fe_2Mo_2C$ .



# Вопросы для самоконтроля

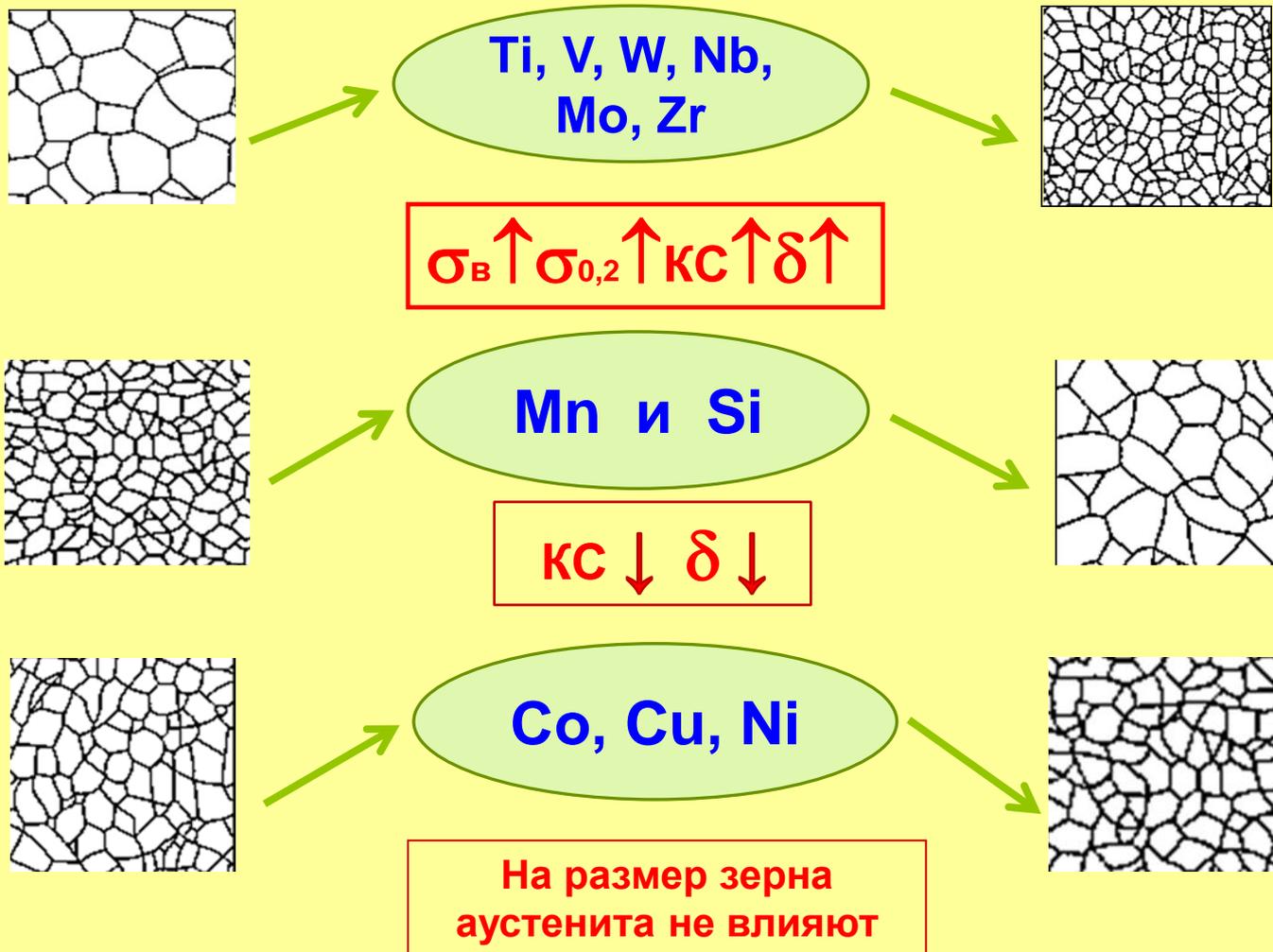
1. Как влияют легирующие элементы на свойства феррита?
2. Какой легирующий элемент не охрупчивает феррит?
3. Какое влияние оказывают легирующие элементы на карбидную фазу?



## 12.4. Влияние легирующих элементов на размер зерна

Размер зерна стали сильно влияет на её свойства и особенно на сопротивление хрупкому разрушению. Чем мельче зерно, тем выше комплекс механических характеристик и выше конструкционная прочность.

Большинство легирующих элементов способствуют измельчению зерна.



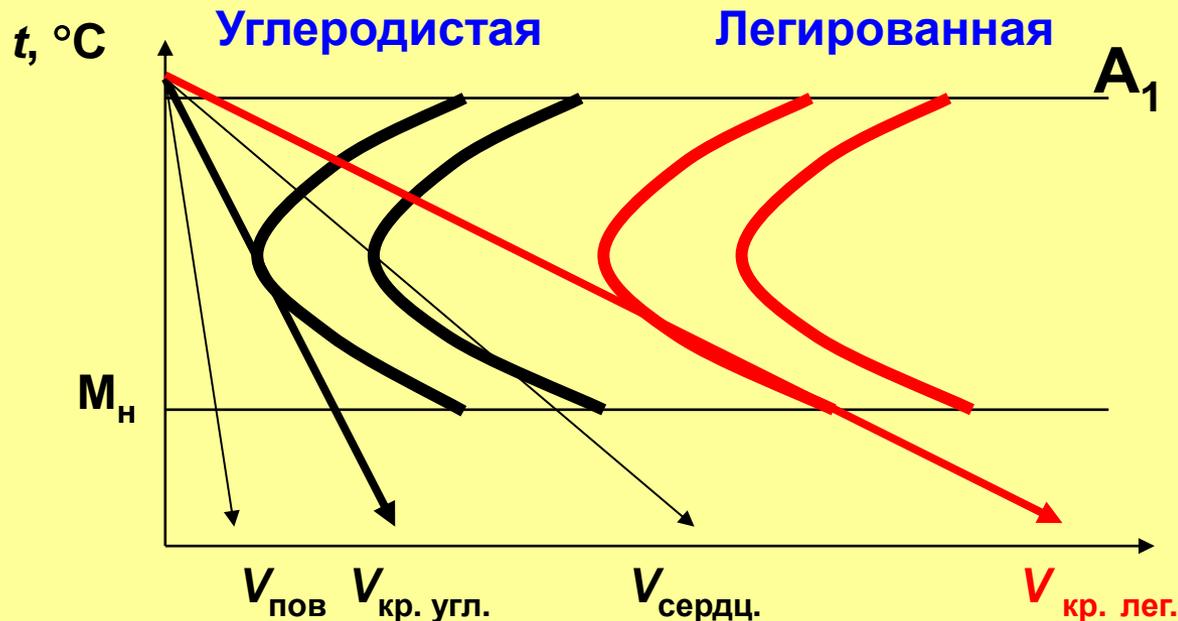
# Вопросы для самоконтроля.

1. Какие легирующие элементы способствуют измельчению зерна?
2. Укажите элементы, которые не влияют на размер зерна.
3. Какие легирующие элементы повышают склонность аустенитного зерна к росту?



## 12.5. Влияние легирующих элементов на прокаливаемость

Известно, что **легирующие элементы ( кроме  $Co$  )** сдвигают  $C -$  образную диаграмму вправо, уменьшают критическую скорость охлаждения и **способствуют повышению прокаливаемости.**



Наиболее активными элементами, влияющими на прокаливаемость , являются **Cr, Si, Mn, Ni, Mo.**

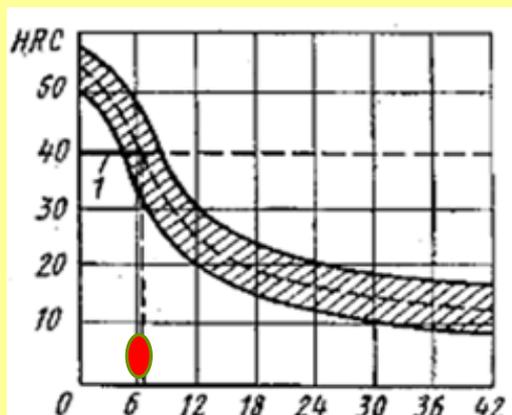
Очень **сильно повышает прокаливаемость бор**, даже в тысячных долях процента..



# Влияние легирующих элементов на критический диаметр $D_{кр}$

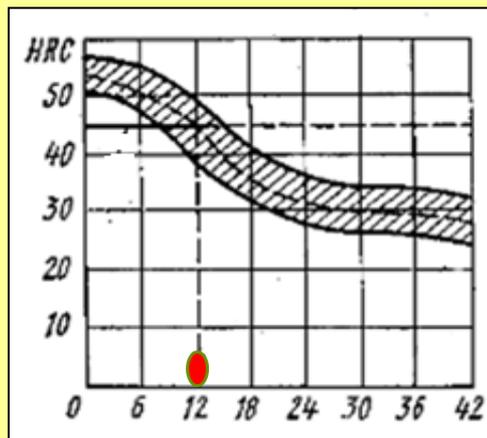
Наибольшее влияние на  $D_{кр}$  оказывает комплексное легирование.

0,4%С



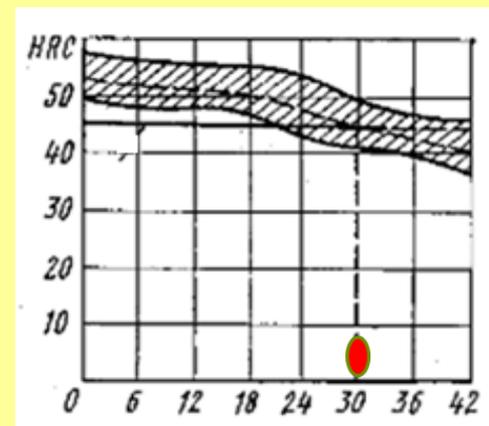
$D_{кр} = 6 \text{ мм}$

0,4%С и 1%Cr



$D_{кр} = 12 \text{ мм}$

0,4%С;1,5%Cr;0,2% Mo



$D_{кр} = 30 \text{ мм}$

Комплексное легирование позволяет получить сквозную прокаливаемость (когда  $D_{изд} \sim D_{кр}$  по всему сечению изделия будет мартенситная структура).

Это необходимо для тяжело нагруженных деталей ответственного назначения, так как после отпуска при распаде мартенсита формируются зернистые структуры с высоким комплексом механических характеристик по всему сечению.



## Свойства стали 40 с пластинчатой и зернистой структурой

Тип структуры	Свойства					
	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	$T_{хр}$ , °С
Пластинчатая (после нормализации)	570	320	17	40	50	- 40
Зернистая (после улучшения)	700	550	20	60	120	- 90

Основная цель легирования конструкционных сталей – повышение прокаливаемости.



# Вопросы для самоконтроля

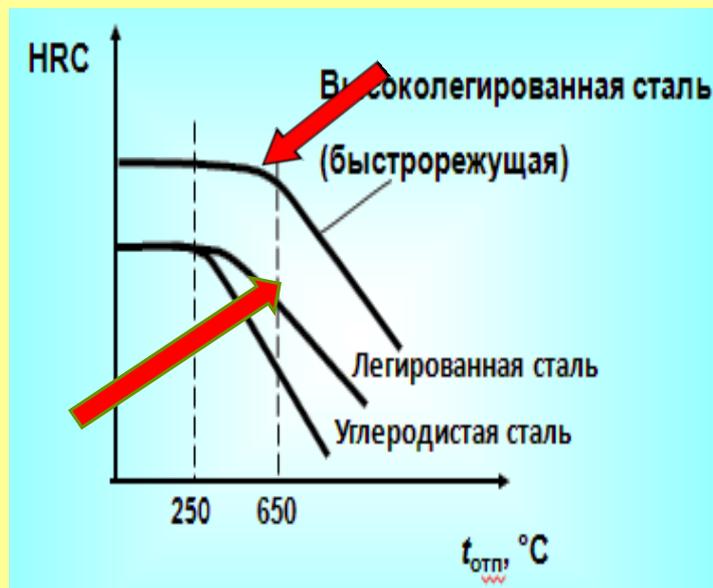
1. Как влияют легирующие элементы на прокаливаемость?
2. Структуры после нормализации или после улучшения имеют более высокий уровень механических свойств? И почему?
3. Какая основная цель легирования конструкционных сталей?



## 12.6. Влияние легирующих элементов на процессы, происходящие при отпуске.

Легирующие элементы (особенно Cr и Mo) задерживают распад мартенсита на ферритно-карбидную смесь и укрупнение карбидных частиц.

После одинакового отпуска твердость легированных сталей (при одинаковом содержании углерода), как правило, выше, чем углеродистых.



Легирование сильными карбидообразующими элементами позволяет сохранить мартенситную структуру до температуры  $\sim 600^{\circ}\text{C}$ .

Свойство стали сохранять свою твердость при нагреве до определенной температуры называется теплостойкостью (если нагрев ниже  $600^{\circ}\text{C}$ ) или красностойкостью (нагрев выше  $600^{\circ}\text{C}$ ).

Это свойство очень важно для инструмента, который нагревается при эксплуатации и твердость снижается.

Основная цель легирования инструментальных сталей – это повышение теплостойкости (красностойкости).



## Влияние легирующих элементов на отпускную хрупкость.

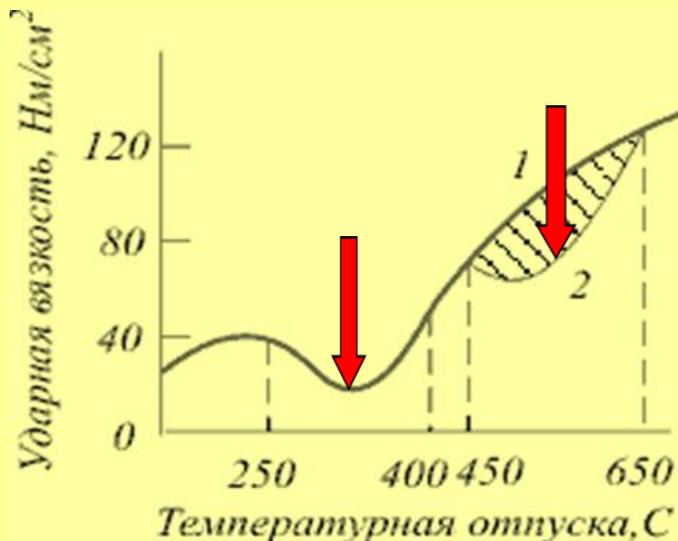
В легированных сталях при отпуске в определенном интервале температур происходит снижение ударной вязкости (охрупчивание).

Это явление называется **отпускной хрупкостью**.

Различают два вида отпускной хрупкости.

**Отпускная хрупкость**

**I рода** - при температурах **250–350 °С**.



**Отпускная хрупкость**

**II рода** имеет место в интервале температур **500- 550 °С** при медленном охлаждении (обычно на воздухе).

Она **повышает порог хладноломкости**.

**Отпускная хрупкость I рода** присуща как легированным, так и углеродистым сталям.

**Отпускная хрупкость II рода** наблюдается только у легированных сталей.

Отпускную хрупкость **I рода** можно **устранить** повышением температуры отпуска.

Отпускной хрупкостью **II рода** можно **избежать** при быстром охлаждении ( в воде или в масле- кривая1).



## **Вопросы для самоконтроля.**

- 1. Как влияют легирующие элементы на процессы, происходящие при отпуске?**
- 2. Что такое теплостойкость и красностойкость?**
- 3.Какая основная цель легирования инструментальных сталей?**

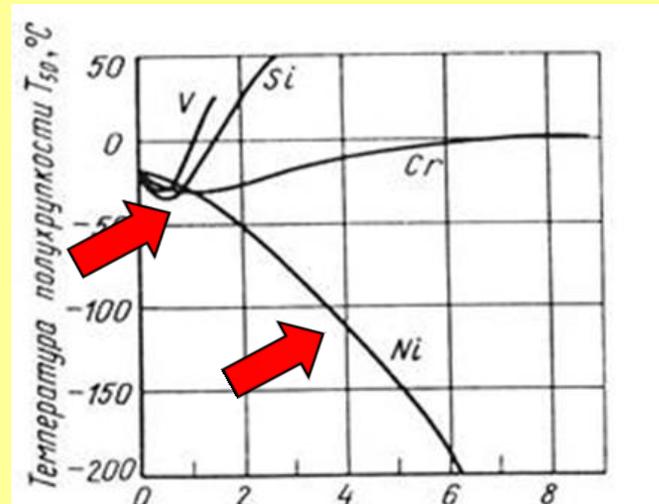


## 12.7. Влияние легирующих элементов на порог хладноломкости.

Почти все легирующие элементы повышают порог хладноломкости.

Смещают  $T_{хр}$  в область более **высоких температур**.

Исключение составляют **Cr** в количестве до 1-2 % и **Ni**, который при любом содержании **снижает  $t_{хр}$** .



Однако большинство легирующих элементов измельчает зерно и это **снижает  $t_{хр}$** .

**Наилучшее сочетание свойств** (прочности, пластичности, вязкости, температуры вязко-хрупкого перехода, прокаливаемости) обеспечивает комплексное **легирование карбидообразующими и некарбидообразующими элементами**.

**Например:** 35ХНМ, 30ХГС, 40ХГН, 10ХСНД, 20Х2Н4ВА.



## **Вопросы для самоконтроля.**

- 1. Как влияет большинство легирующих элементов на порог хладноломкости?**
- 2. Каким элементом следует легировать сталь, которая эксплуатируется при температуре  $-70^{\circ}\text{C}$ ?**



# Вопросы для самостоятельной работы

- 1. Области использования легированных сталей разных структурных классов.**
- 2. Почему легированные стали целесообразно использовать только после термической обработки, какова её роль?**



# Литература

- ✘ 1. Дьяченко С.С. Материаловедение : учебник / С.С. Дьяченко, И.В. Дощечкина, А.А. Мовлян, Э.И. Плешаков.- Харьков: Издательство ХНАДУ, 2010.-464 с. (стр.247–256).
- ✘ 2. Гладкий И.П. Технология конструкционных материалов и материаловедение : учебное пособие / И.П. Гладкий, В.И. Мощенок, В.П. Тарабанова, Н.А. Лалазарова, Д.Б. Глушкова.- Харьков: ХНАДУ, 2011.-460 с. ( стр.359-364).





Кафедра технології металів и  
матеріалознавства

Доц. Дощечкина Ирина Васильевна

**E-mail: [div\\_khadi@ukr.net](mailto:div_khadi@ukr.net)**

**Харьков, ул. Петровского, 25, ХНАДУ**