



# 第五章 常用 工程金属材料

安徽机电职业技术学院

张新建



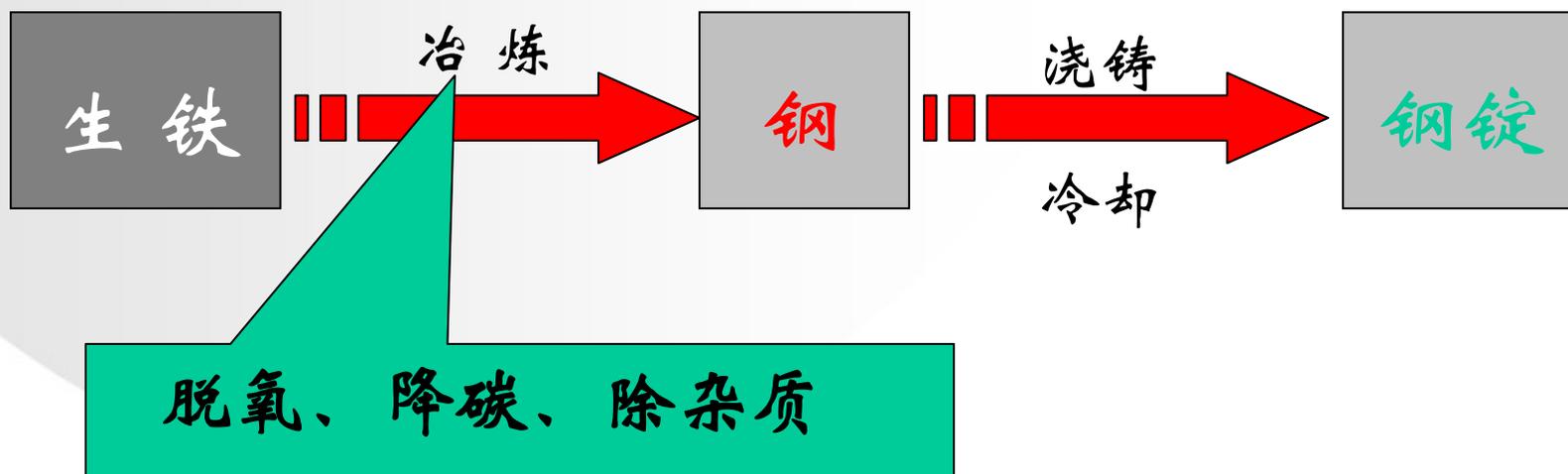
# 第五章 常用工程金属材料

- ① 第一节 碳钢
- ② 第二节 合金钢
- ③ 第三节 铸铁



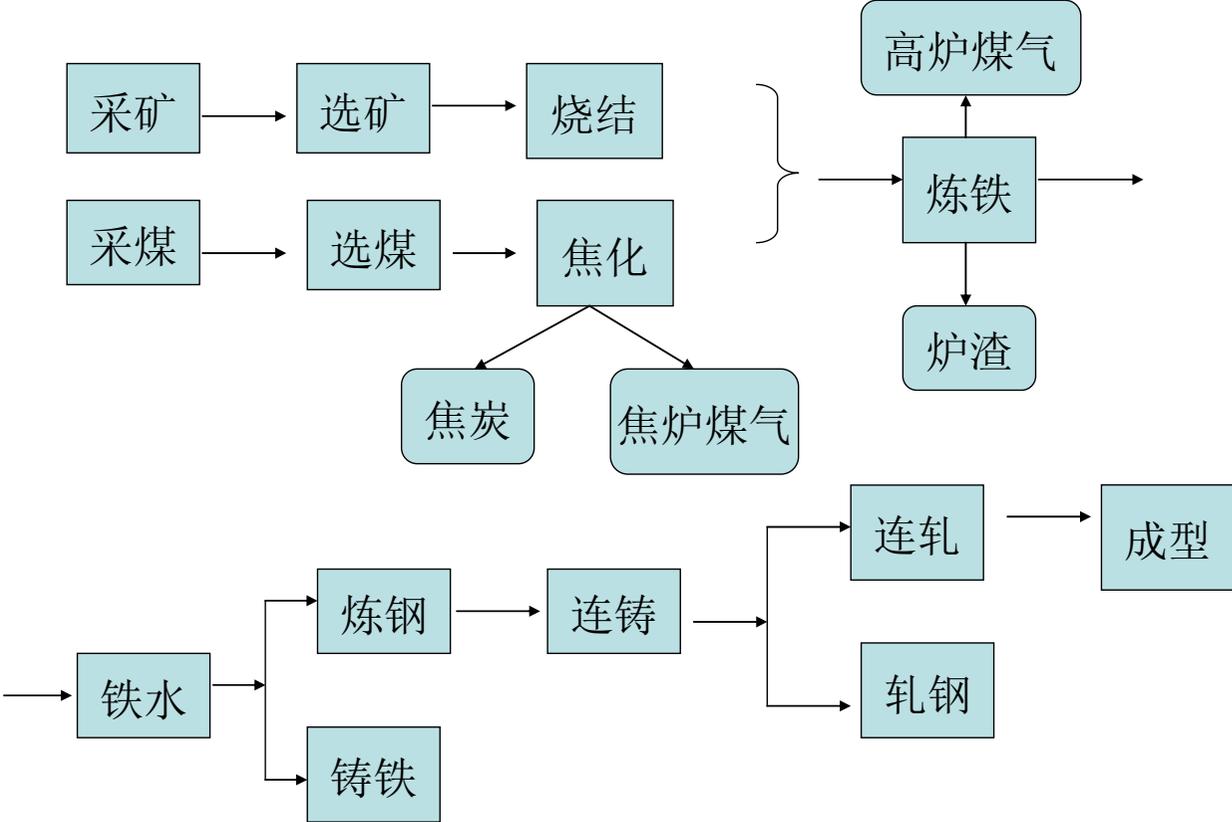
## 钢与铁的区别？

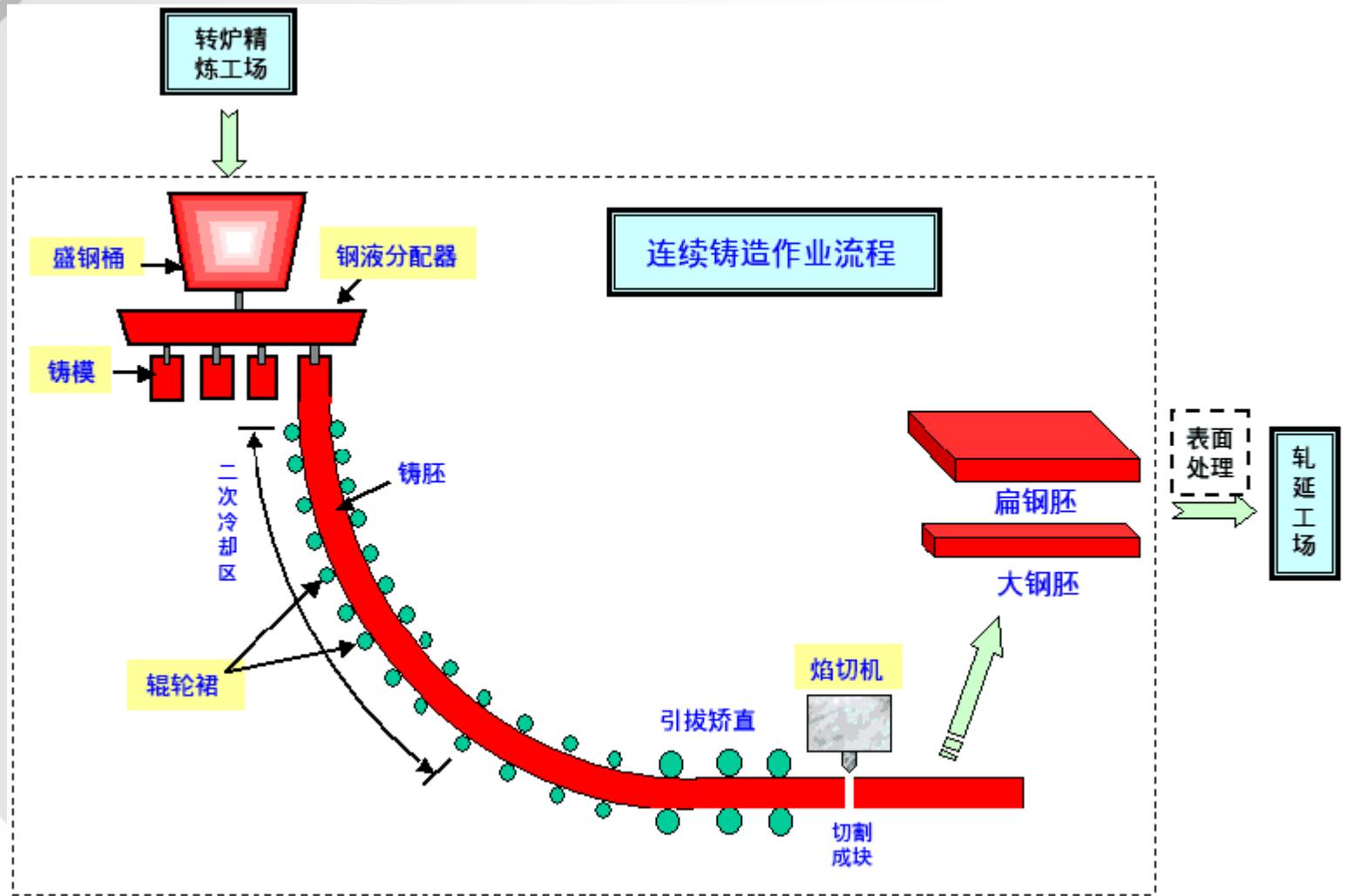
- ❖ 钢：铁碳合金，铁Fe为主要元素：
  - 碳C含量 $\leq 2.11\%$ ，
  - 杂质元素：Mn、Si、S、P、H、O、N等，含量少。
- ❖ 生铁：铁碳合金，C含量高，约为 $2.11\% \sim 6.69\%$ ，并含较多杂质的。



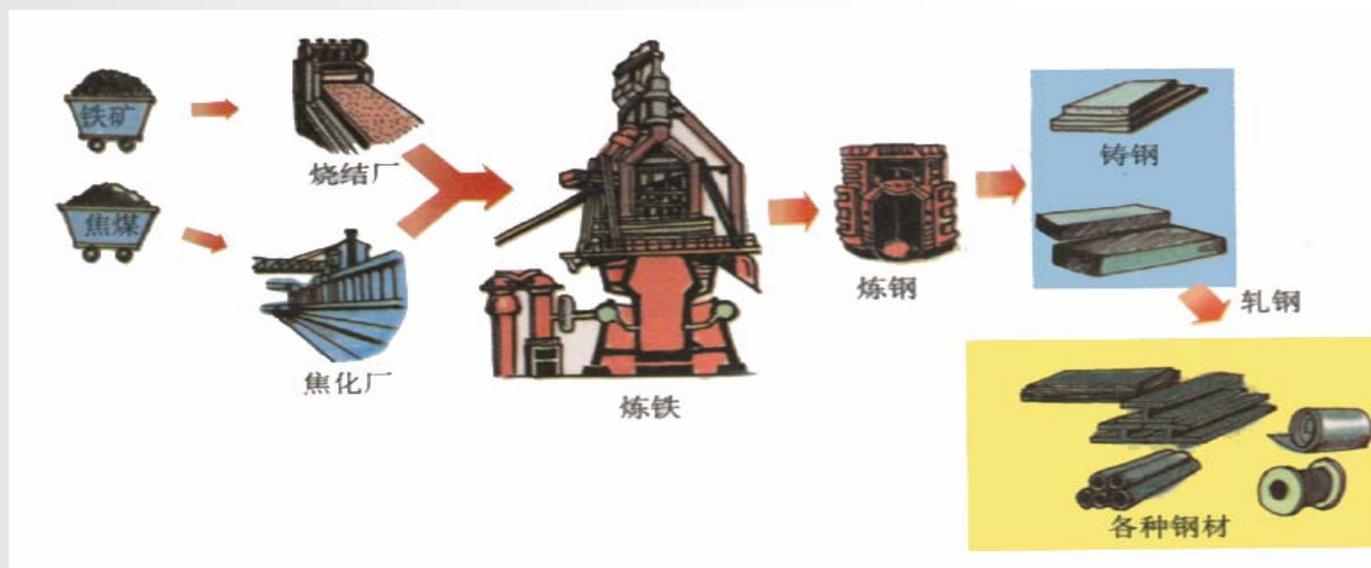


# 钢铁生产工艺流程





# 钢材及其生产过程



## 1、生铁的冶炼

原料：铁矿石

燃料：焦炭

熔剂：石灰石

设备：高炉

## 2、钢的冶炼

原料：生铁、废钢

燃料：焦炭

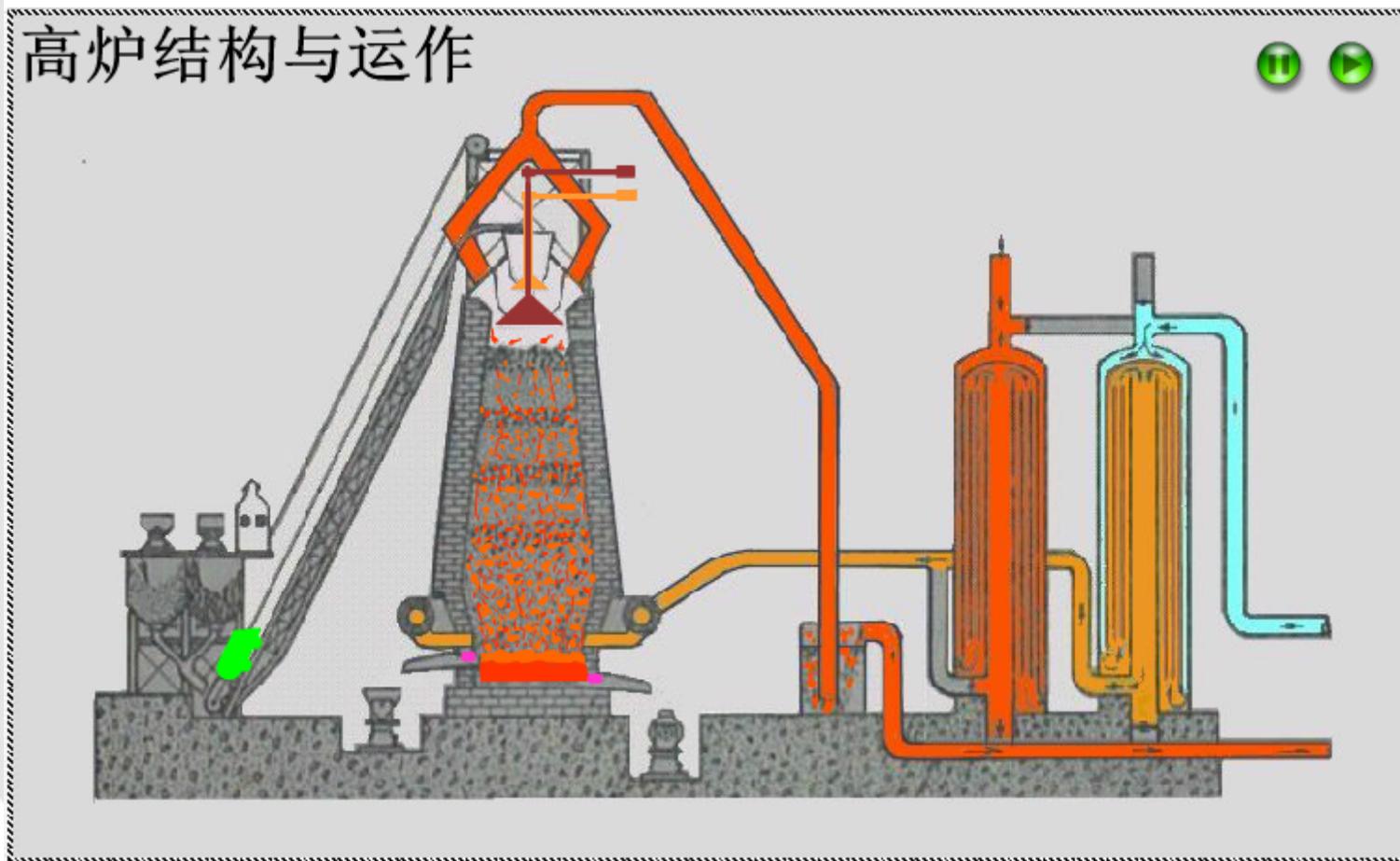
熔剂：石灰石；氧化剂，脱氧剂

设备：电弧炉



# 钢材及其生产过程

## 高炉结构与运作





# 钢材及其生产过程





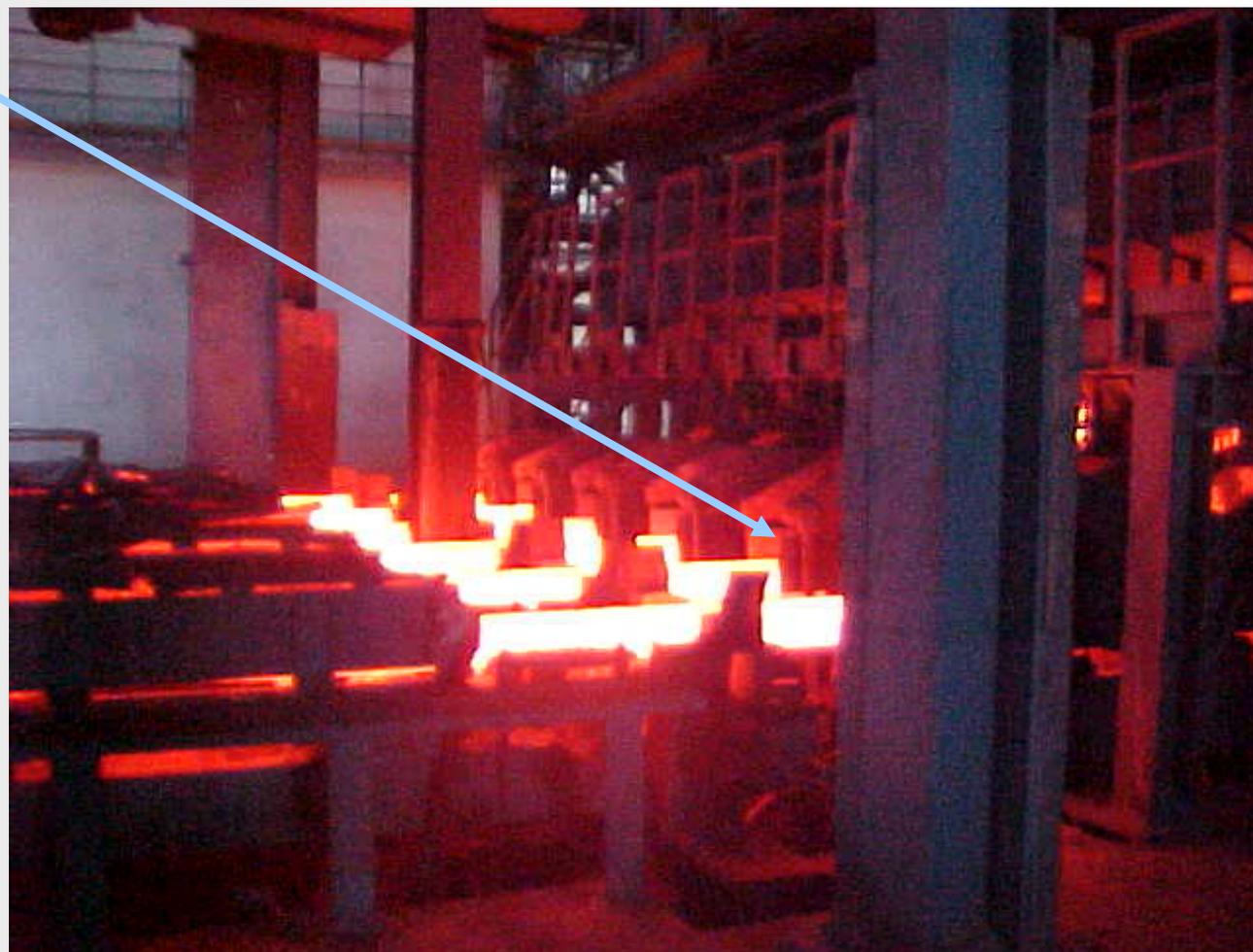
# 钢材及其生产过程





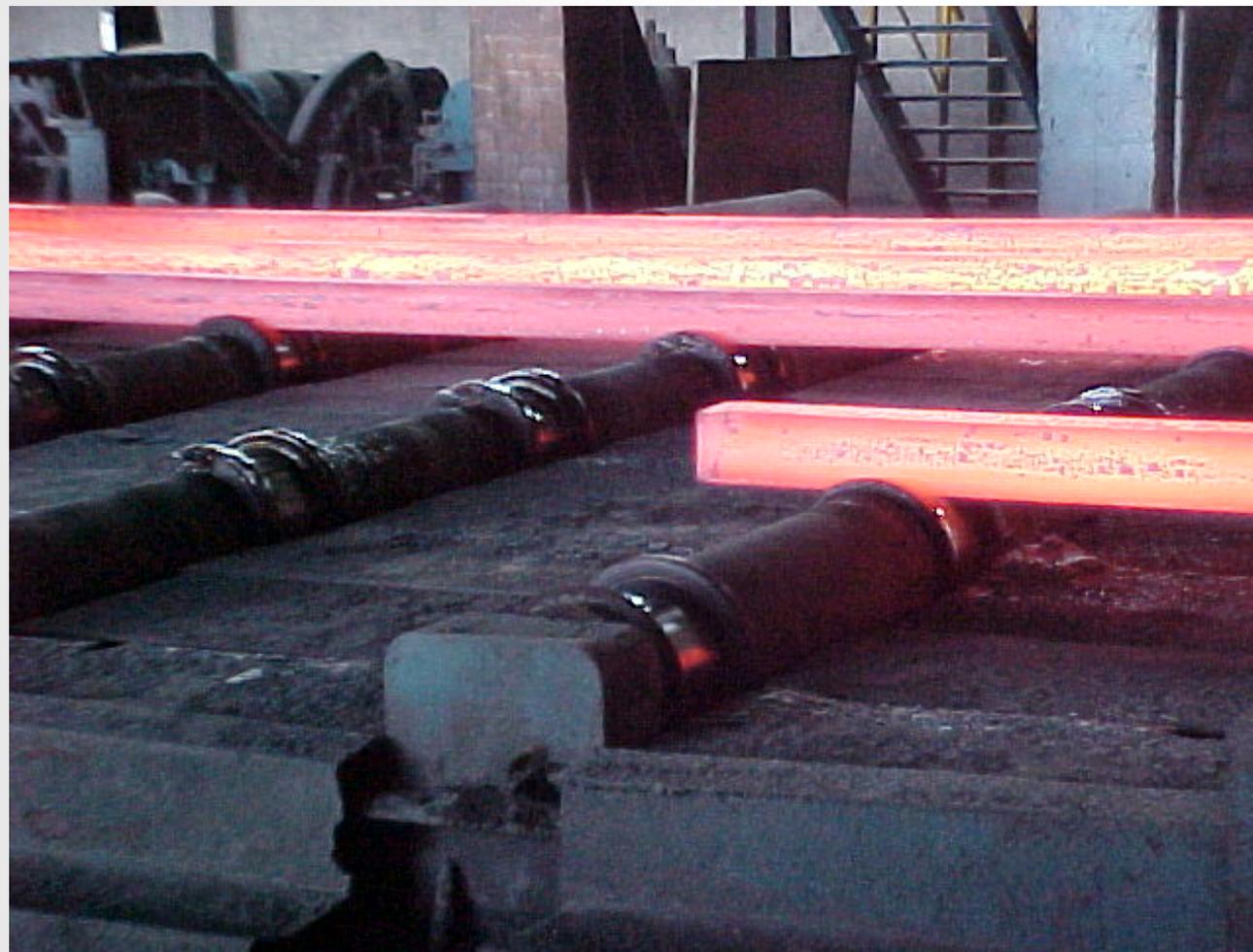
# 钢材及其生产过程

连铸





# 钢材及其生产过程





# 钢材及其生产过程

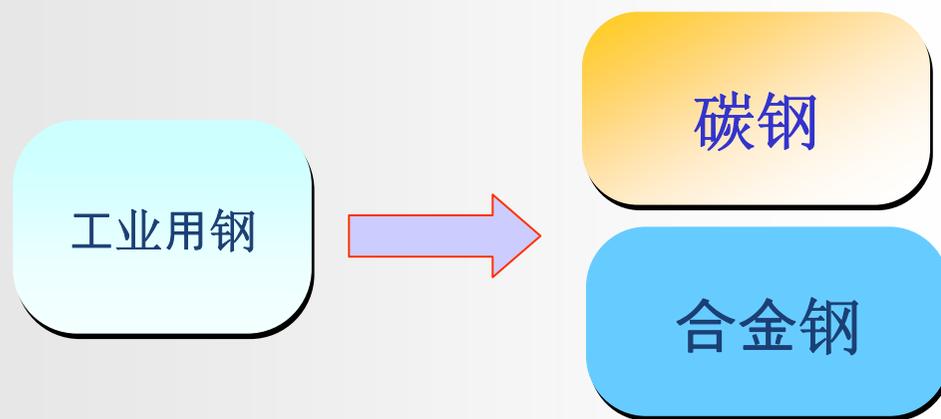






## 第五章 常用工程金属材料

- ❖ 以铁为主要元素，碳的质量分数一般在2%以下，并含有其他元素的材料称为**钢**。



- ❖ **碳钢**：指碳含量 $w_c < 2.11\%$ 的铁碳合金。
- ❖ **合金钢**：指为改善钢的组织、性能，在冶炼时特意加入合金元素的钢。

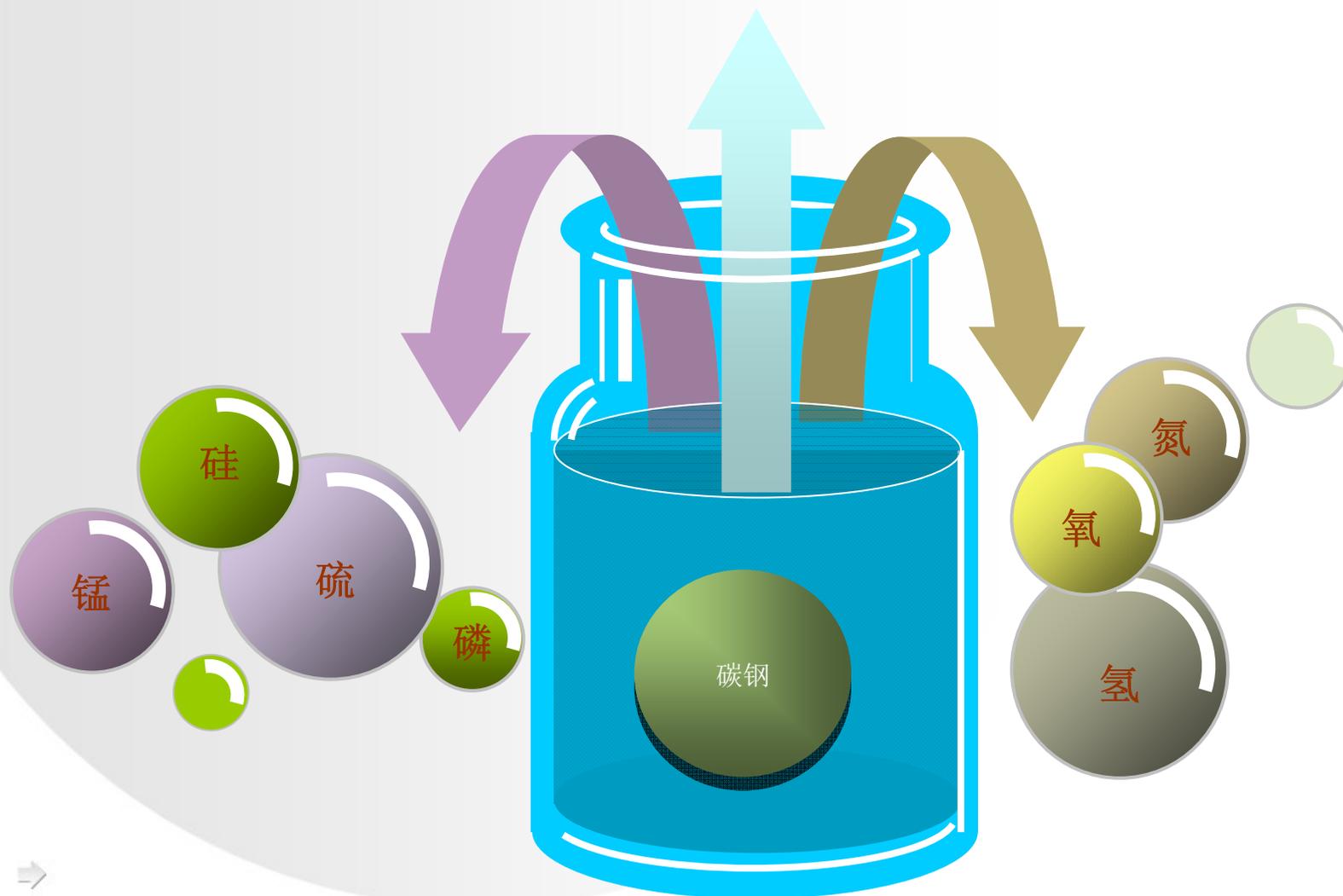


# 第一节 碳钢

- 1 一、碳钢中的长存杂质元素及其作用
- 2 二、碳钢的分类、牌号和用途

# 第一节 碳 钢

## 一、碳钢中的长存杂质元素及其作用



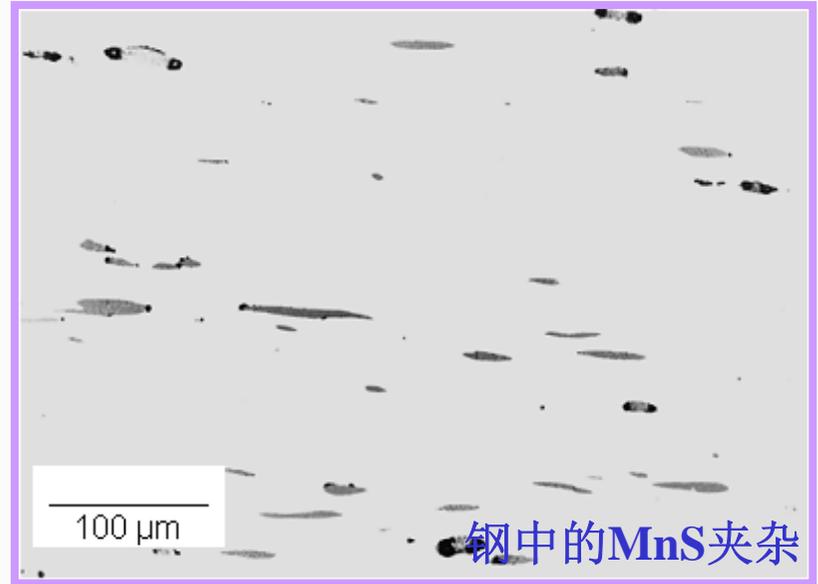


# 第一节 碳 钢

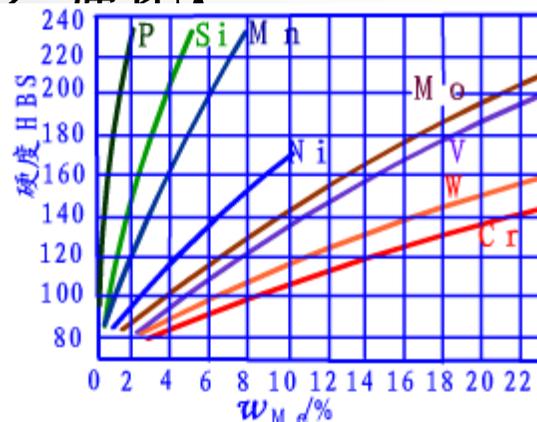
## 1、有益元素

**锰**——炼钢时加入的脱氧剂。能溶于F，使F强化，也能溶于渗碳体，提高其硬度；能增加并细化P，从而提高钢的强度和硬度；可与S形成MnS，以消除硫的有害作用。

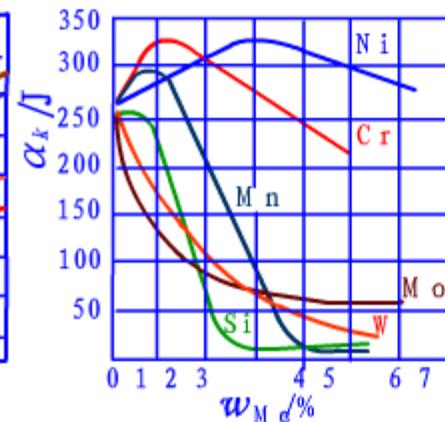
**硅**——脱氧残留在钢中，脱氧能力比Mn强，能溶于F使之强化，从而使钢的强度、得到提高。



钢中的MnS夹杂



合金元素对铁素体固溶强化的作用



合金元素对铁素体冲击韧度的影响



# 第一节 碳 钢

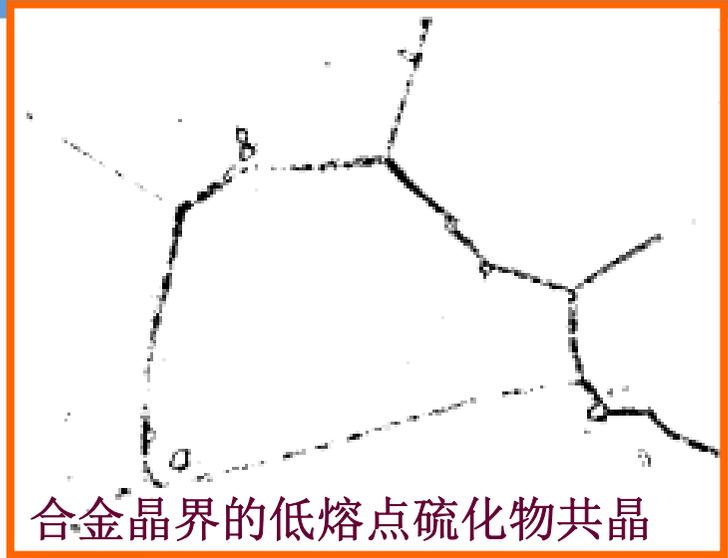
## 2. 有害元素:

**硫**——由矿石和燃料残留钢中，固态下S不溶于Fe，形成低熔点的FeS，使钢产生热脆。

**热脆:** FeS与Fe形成的熔点(985 °C)共晶体分布在晶界上当钢加热到1000-1200°C进行锻压或轧制时，由于晶界上的共晶体已经熔化，使钢在晶界开裂。这种现象称**热脆**。

**磷**——部分溶于F形成固溶体，部分在结晶时形成脆性很大的Fe<sub>3</sub>P，使钢在室温下的塑、韧性急剧下降。

**冷脆:** 低温时由磷导致钢严重变形的现象称钢的**冷脆**



合金晶界的低熔点硫化物共晶



比利时阿尔伯特运河钢桥因磷高产生冷脆性于1938年冬发生断裂坠入河中



## Titanic沉没原因

■ **Titanic** ——含磷高的钢板，韧性很差，特别是在低温呈脆性。所以，冲击试样是典型的脆性断口。近代船用钢板的冲击试样则具有相当好的韧性。

——该科学研究回答了80年未解之谜。



← / □ **Titanic** 号钢板（左图）和近代船用钢板（右图）的冲击试验结果

# 第一节 碳 钢

## 3. 气体元素

- ❖ ① N: 室温下N在铁素体中溶解度很低，钢中过饱和N在常温放置过程中以 $\text{FeN}$ 、 $\text{Fe}_4\text{N}$ 形式析出使钢变脆，这种现象称之为兰脆（时效脆化）。

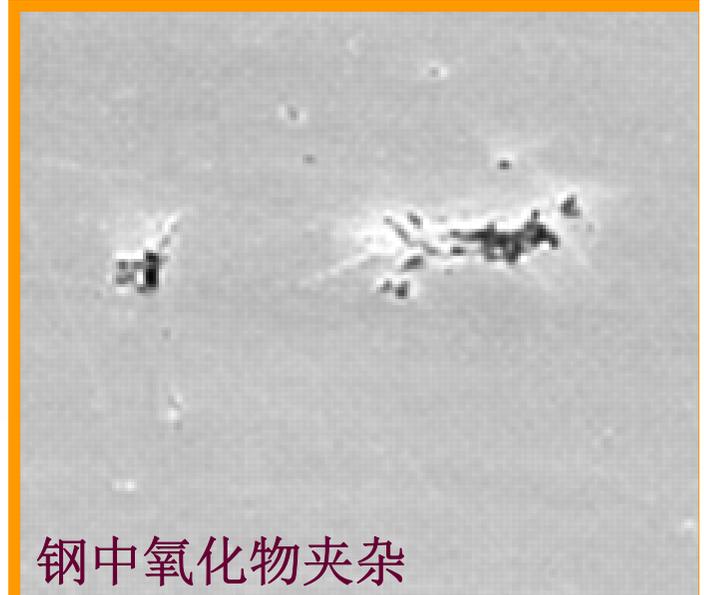
加Ti、V、Al等元素可使N固定在 $\text{AlN}$ 及 $\text{TiN}$ 中，消除时效倾向。

- ❖ ② O: 氧在钢中以氧化物的形式存在，其与基体结合力弱，不易变形，易成为疲劳裂纹源。



钢中TiN夹杂

Det WD | 2 μm  
BSE 9.9 2385/7 LUS



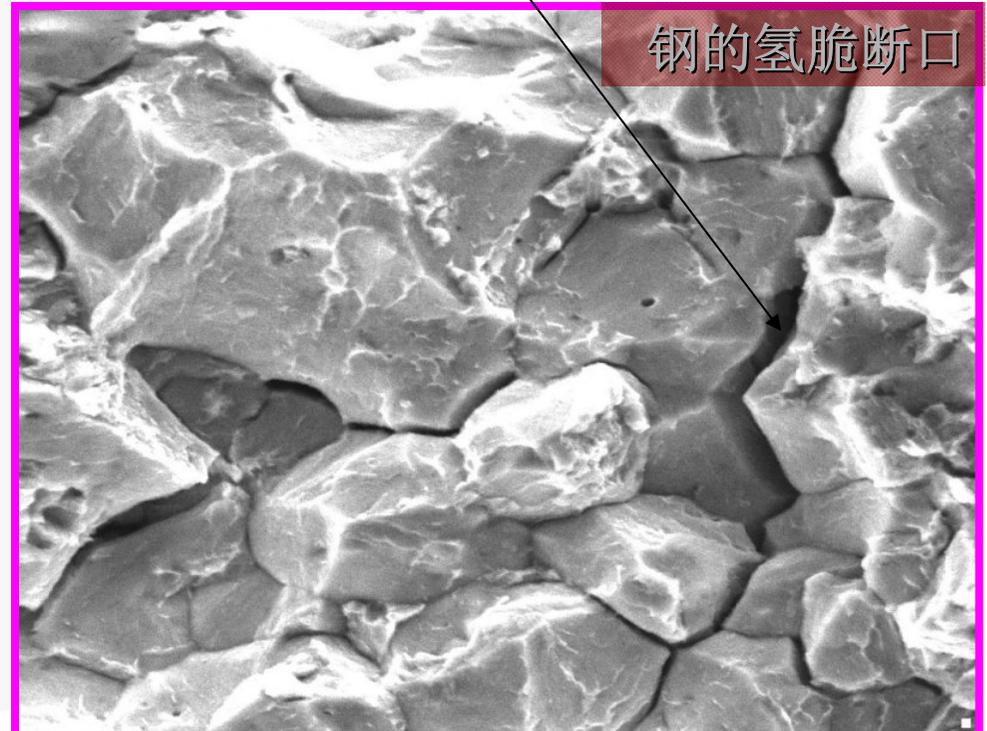
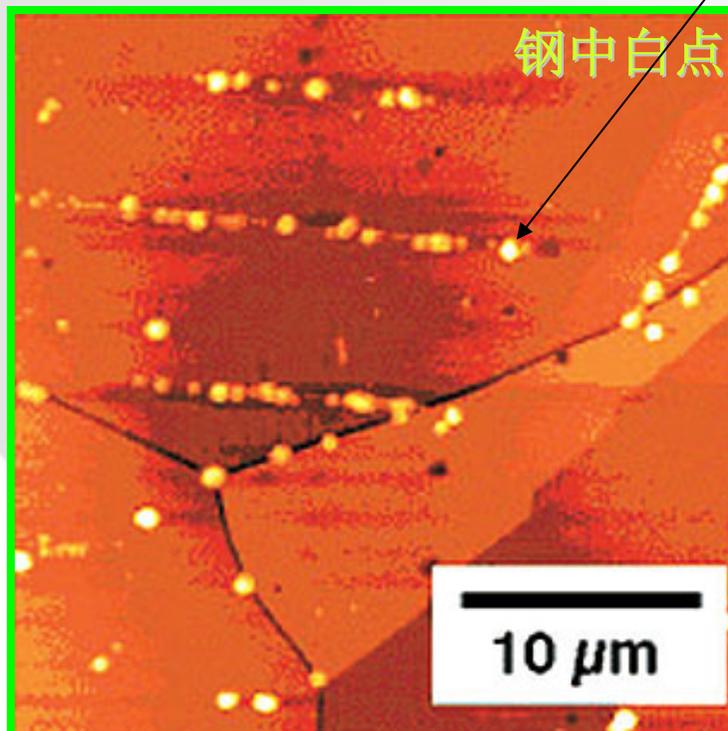
钢中氧化物夹杂



## 第一节 碳钢

③ H: 常温下氢在钢中的溶解度也很低。当氢在钢中以原子态溶解时，降低韧性，引起氢脆。

当氢在缺陷处以分子态析出时，会产生很高内压，形成微裂纹，其内壁为白色，称白点或发裂。



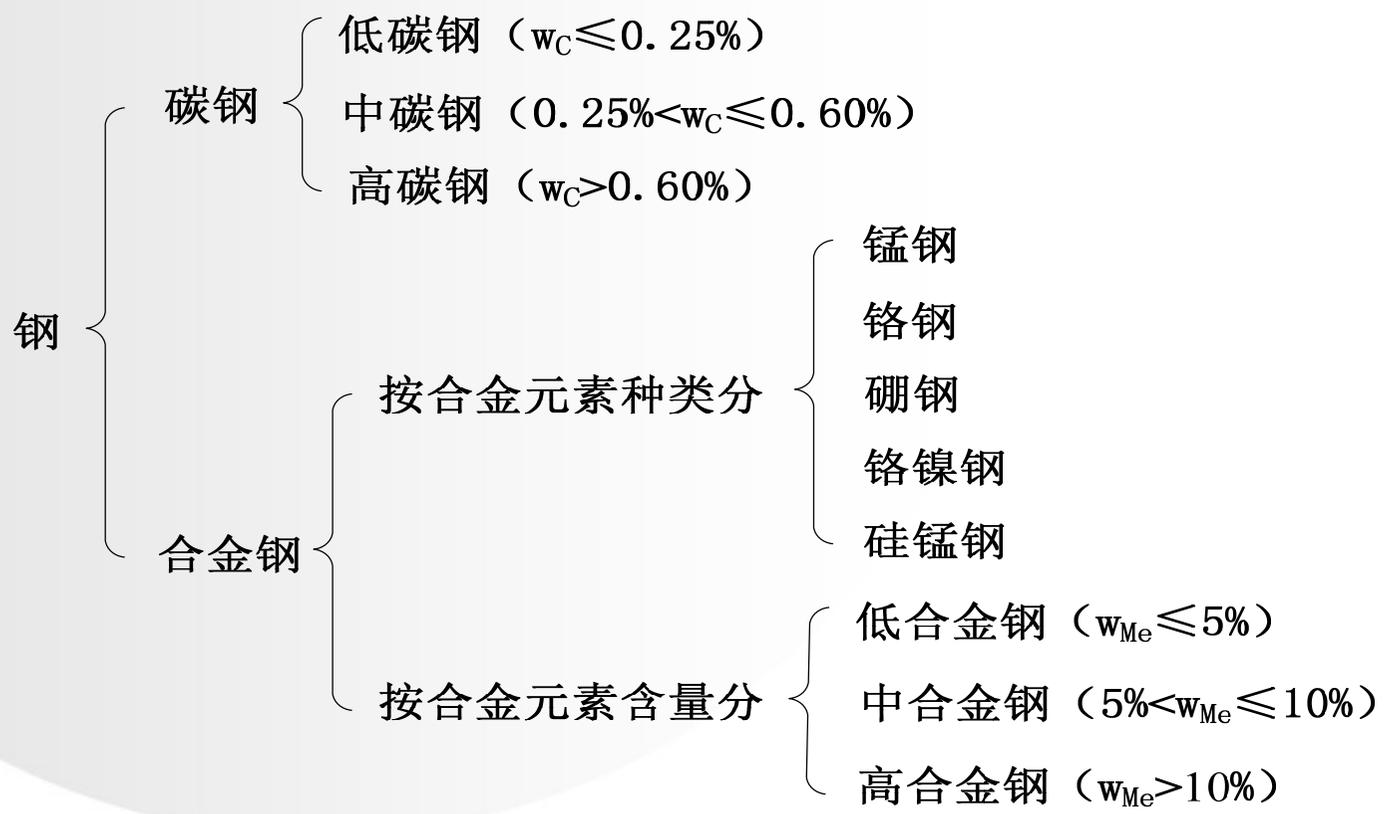


# 第一节 碳 钢

## 二、碳钢的分类、牌号和用途

### (一) 碳钢的分类

#### 1. 按化学成分分





# 第一节 碳 钢

## 2、按质量分

钢的质量是以磷、硫的含量来划分的。

分为普通质量钢、优质钢、高级优质钢和特级优质钢。

根据现行标准，各质量等级钢的磷、硫含量如下：

钢 类	碳 素 钢		合 金 钢	
	P	S	P	S
普通质量钢	$\leq 0.045$	$\leq 0.045$	$\leq 0.045$	$\leq 0.045$
优 质 钢	$\leq 0.035$	$\leq 0.035$	$\leq 0.035$	$\leq 0.035$
高级优质钢	$\leq 0.030$	$\leq 0.030$	$\leq 0.025$	$\leq 0.025$
特级优质钢	$\leq 0.025$	$\leq 0.020$	$\leq 0.025$	$\leq 0.015$

# 第一节 碳 钢

## 3、按冶炼方法分

按 炉 别 分

平炉钢  
转炉钢  
电炉钢

按脱氧程度分

沸腾钢：脱氧不充分，浇注时C与O反应发生沸腾。这种钢成材率高，但不致密。  
镇静钢：脱氧充分，组织致密，成材率低。  
半镇静钢：介于前两者之间。  
特殊镇静钢



平炉炼钢

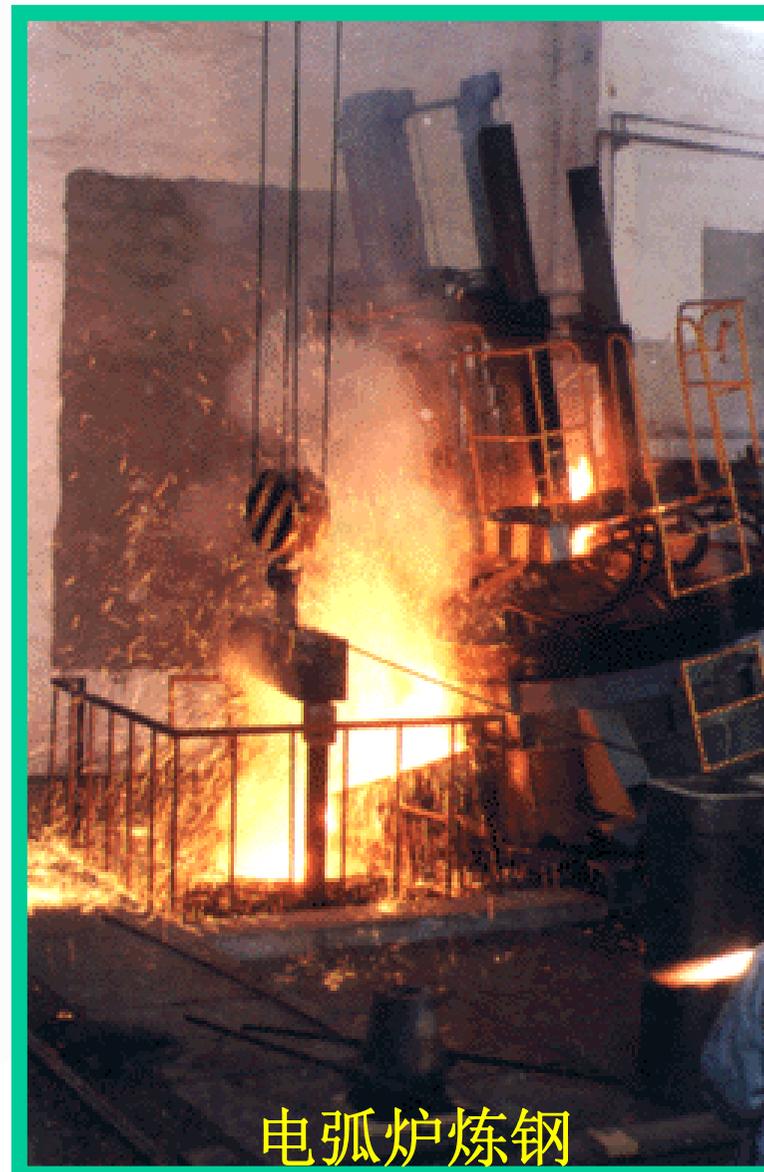
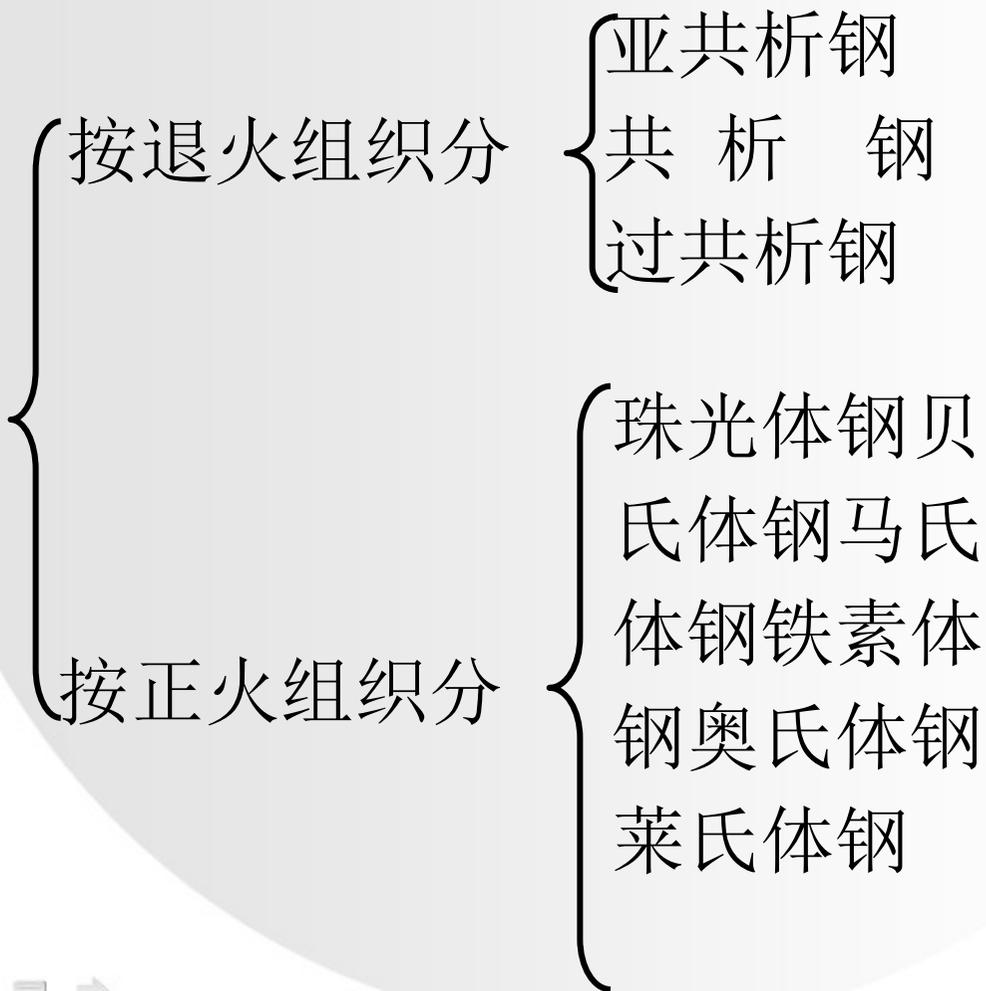


转炉炼钢



# 第一节 碳 钢

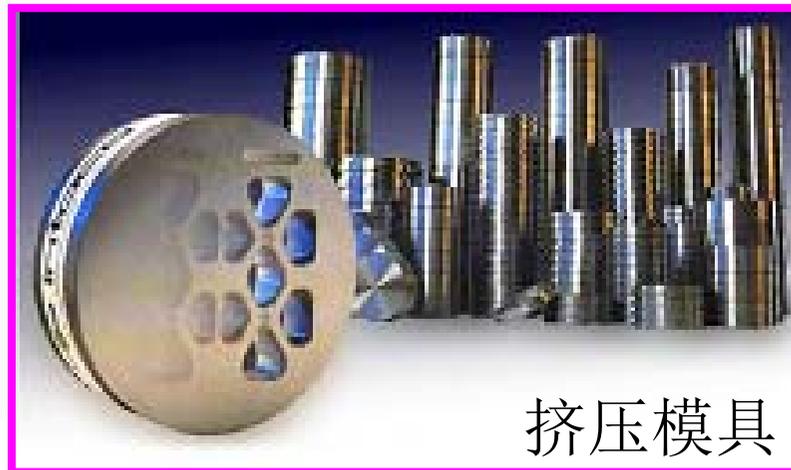
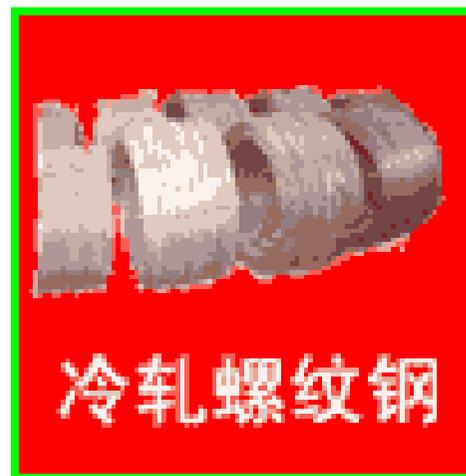
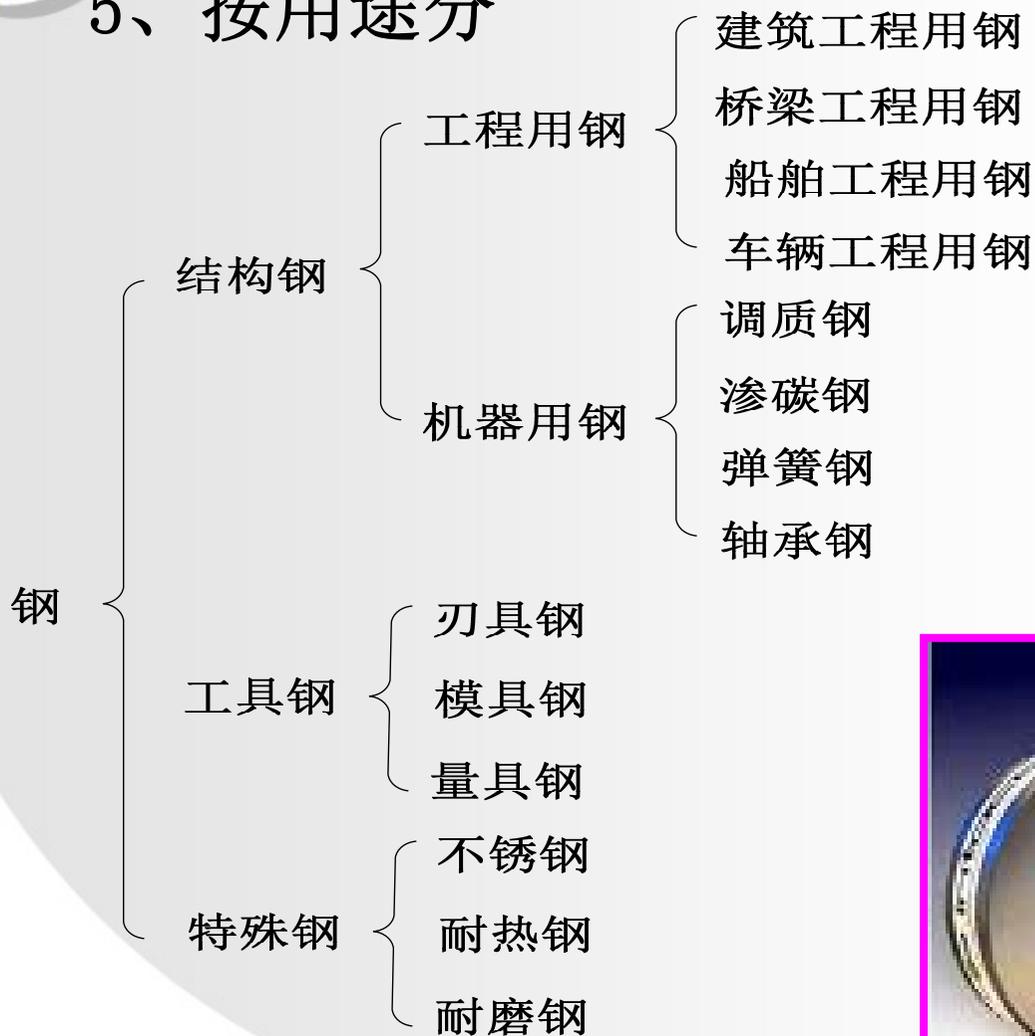
## 4、按金相组织分



电弧炉炼钢

# 第一节 碳钢

## 5、按用途分

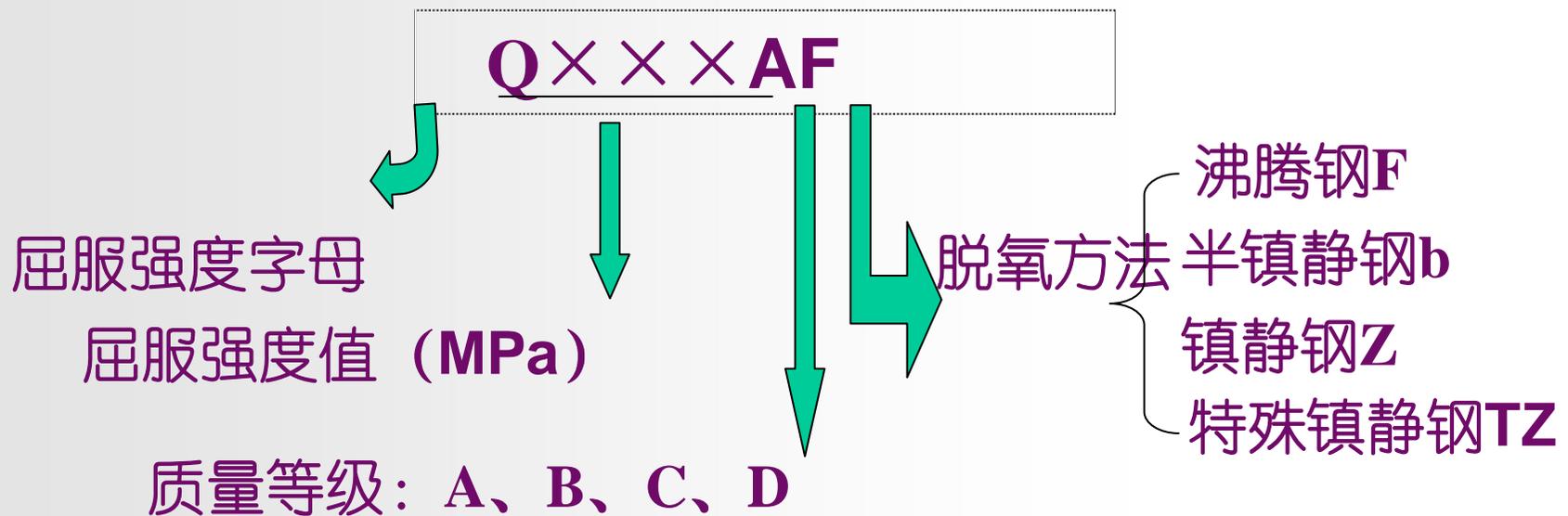




## 二) 钢的编号方法、性能及用途

### 1、碳素结构钢

要求：主要保证力学性能，在牌号上直接体现



**热处理：**这类钢常在**热轧状态下**使用，不再进行热处理。但对某些零件，也可以进行正火、调质、渗碳等处理，以提高其使用性能



例：

**Q235AF** 表示屈服强度为235MPa的A级  
沸腾钢。

**Q285B** 表示屈服强度为285MPa的B级的  
碳素结构钢，是镇静钢，省略Z。



用途:

用于桥梁、建筑、各种型钢、条钢和铆钉、螺钉、螺母等。



钢桥梁

建筑构件

钢筋、螺纹钢

螺钉、铆钉



## 2、优质碳素结构钢：

**化学成分：**  $W_c=0.08\%--0.85\%$   $W_{si}=0.17\%--0.37\%$   $W_{sp}\leq 0.035\%$

**牌号：** 两位数字+符号表示 数字表示含碳量万分之几，

**40** 表示钢中平均含碳量为0.40%。

若钢中锰的含量较高时，在数字后面附化学元素符号Mn

**60Mn** 表示钢中平均含碳量为0.60%，Mn的含量为0.70%~1.00%的优质碳素结构钢。

符号如果是F则表示是沸腾钢。例：08F 15F



## D 低碳钢

**化学成分:**  $WC \leq 0.15\%$

**组织:** 退火状态下, 组织为较多的F和较少P

**性能:**  $\sigma$  和HBS低, 而  $\delta$  .ak好, 焊接性好。

**用途:** 08F、10F、15F 冷变形加工成型件  
机壳、容器。

10~25钢 各种标准件、轴套、容器等。



外壳为**20#钢**、  
内壳为铜合金



08钢汽车覆盖件



弹簧垫圈



20钢焊接弯头





## 2) 中碳钢

化学成分:  $WC=0.30\% \sim 0.6\%$

组织: F+P,

性能:  $\sigma$ 、HBS比低碳钢略高, 而  $\delta$ 、 $a_k$ 略低。具有良好的综合力学性能, 切削加工性好, 但焊接性一般。

用途: 用于制作齿轮、主轴及连杆等重要的机械零件。



万向联轴器



曲轴



连杆



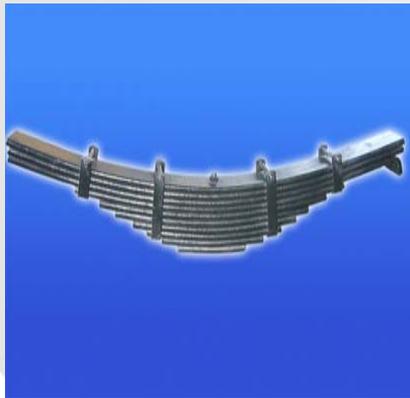
### 3) 高碳钢

化学成分:  $WC > 0.60\%$

组织: T回 (淬火+中温回火)

性能: 在淬火+中温回火后, 具有较高的 $\sigma$ 和良好弹性也叫弹簧钢。具有较好的耐磨性和中等硬度。

用途: 主要用于制作弹簧和易磨损的零件。



汽车板簧



螺旋弹簧



65弹簧钢板



### 3、碳素工具钢

化学成分： $W_c=0.65\%--1.35\%$

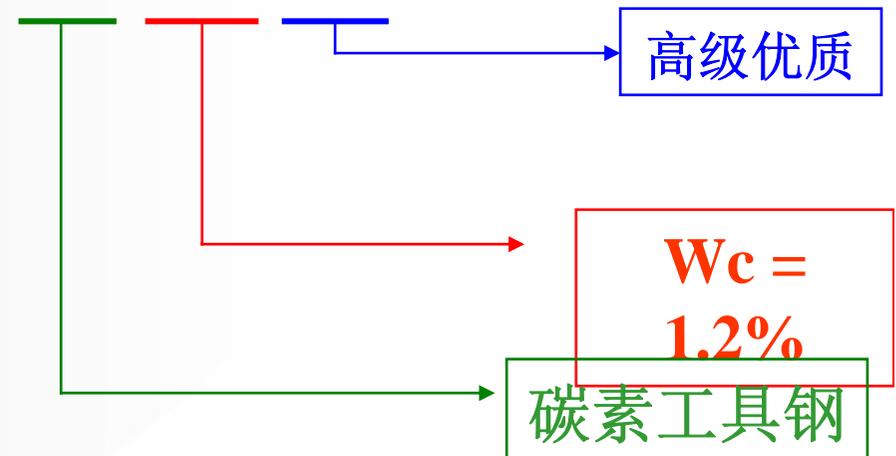
牌号：用“T”加数字表示，该数字表示钢中平均含碳量的千倍。

**T8**：表示碳的平均含碳量为**0.8%**的碳素工具钢。

组织：M回（淬火+低温回火处理）

性能：具有很高的硬度和耐磨性，**T 12 A**  
但淬透性差，热硬性差。

用途：用于制作手动和低速切削的工具和要求不高的量具和模具等





## 第二节 合金钢

### 用途

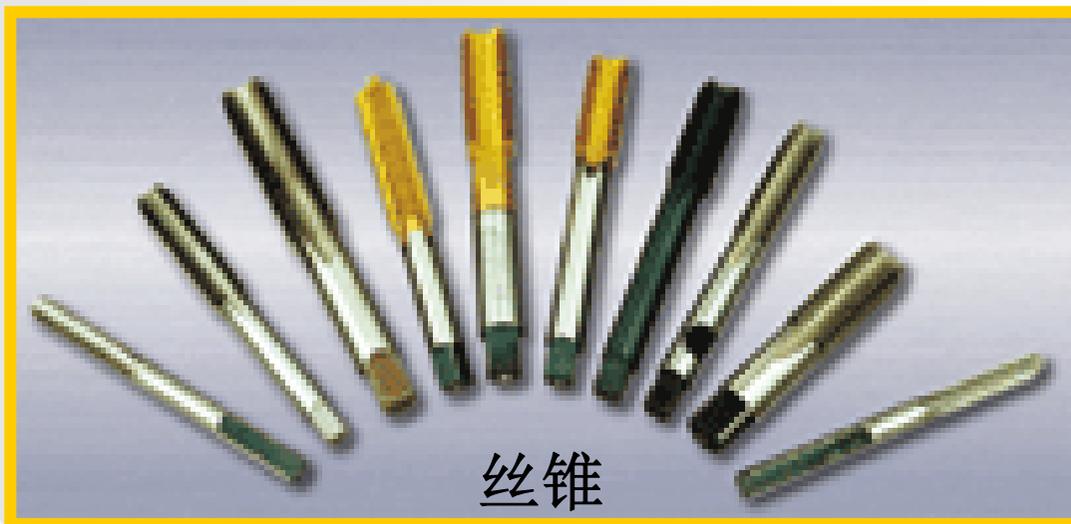
- ❖ 由于碳工钢热硬性、淬透性差，只用于制造小尺寸的手工工具和低速刃具。
- ❖ T7-T9：制造承受冲击的工具，如木工工具：冲子、凿子、锤子等。





## 第二节 合金钢

- ❖ T10-T11: 制造低速切削工具，如钻头、丝锥、车刀等。
- ❖ T12-T13: 制造耐磨工具，如锉刀、锯条等。



丝锥



锉刀



钻头



手锯条



## 碳素钢牌号

### 1. 碳素结构钢

Q235-A, F; Q255

### 2. 优质碳素钢

20钢 (0.2%) ; 45钢 (0.45%) 万分之一

### 3. 碳素工具钢

T8 (0.8%) ; T12 (1.2%) 千分之一

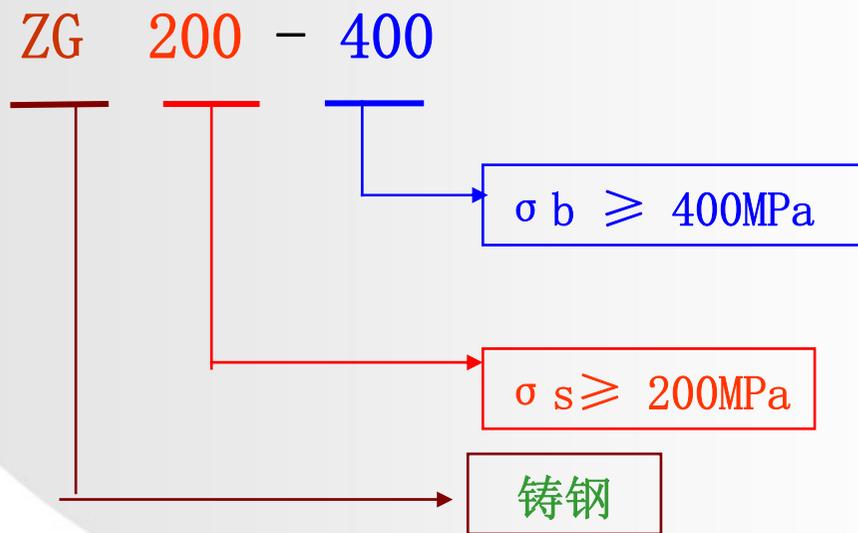


# 第一节 碳 钢

## 4. 铸钢

铸钢用于浇注成铸件的钢。其强度高于各类铸铁，同时具有良好的塑性和韧性，适于制造形状复杂、强度和韧性要求高的零件，如火车轮、大齿轮等

牌号以“铸钢”二字的汉语拼音首“ZG”加其后的两组数字构成，第一组数字代表最低屈服点，第二组数字代表最低抗拉强度值。





### ❖ 三、碳钢的优缺点

- ❖ 1. 优点：可热处理强化，冶炼工艺简单，压力加工和机械加工性能好，价格低廉。
- ❖ 2. 不足：
  - ❖ ① 碳钢淬透性低，不适宜形状复杂和尺寸大的工件。只能水冷，易变形开裂，性能不均。
  - ❖ ② 强度和屈强比低。回火稳定性差。
  - ❖ ③ 不能满足特殊性能的要求。耐热、耐蚀、抗氧化、耐磨、红硬性等。



## 第二节 合金钢

1

一、合金元素在钢中的主要作用

2

二、合金钢分类和编号

3

三、合金结构钢

4

四、合金工具钢

5

五、特殊性能钢

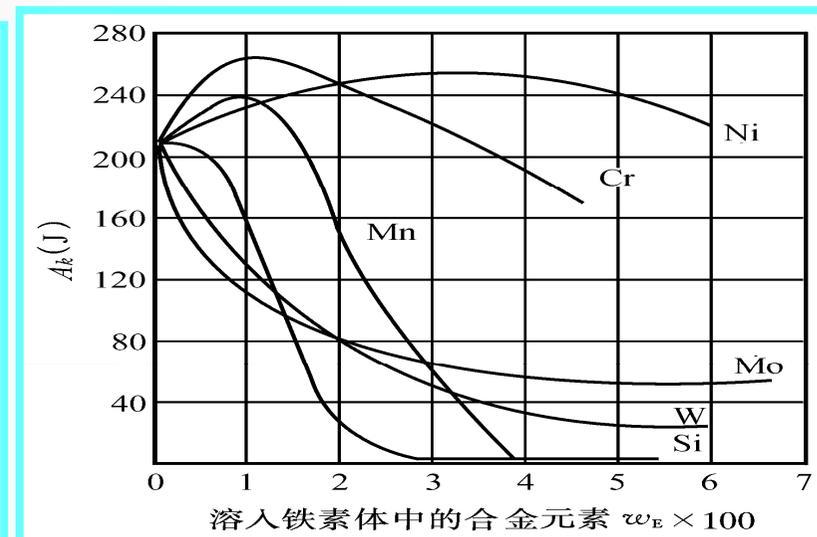
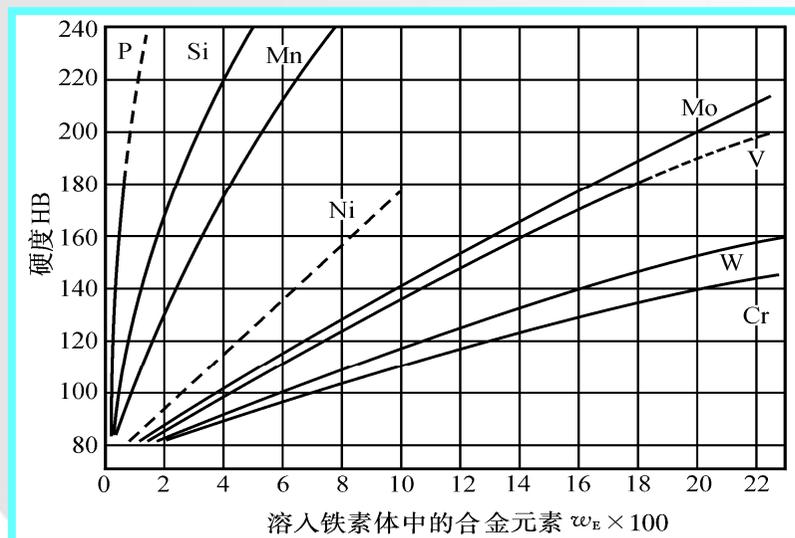


## 第二节 合金钢

### 一、合金元素在钢中的主要作用

#### 一) 合金元素对钢中基本相的影响

- (1) 溶于基体中形成合金 F 或合金 A 。





## 第二节 合金钢

### (2) 与碳作用形成合金碳化物

Fe、Mn、Cr、Mo、W、V、Ti、Nb、Zr

弱

强

- ❖ 1、弱碳化物元素：Fe、Mn。如 $(\text{Fe、Mn})_3\text{C}$
- ❖ 熔点较低，硬度较低，稳定性差
- ❖ 2、中强碳化物元素：Cr、Mo、W。
- ❖ 如 $(\text{Fe、Cr})_3\text{C}$ ， $\text{Cr}_7\text{C}_3$ 、 $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ 、 $\text{MoC}$ 、 $\text{WC}$
- ❖ 熔点、硬度、耐磨性及稳定性比渗碳体高
- ❖ 3、强碳化物元素：V、Ti、Nb、Zr。
- ❖ 如 $\text{VC}$ 、 $\text{TiC}$ 、 $\text{NbC}$
- ❖ 稳定性最高，熔点、硬度和耐磨性也最高



## 第二节 合金钢

### 二) 合金元素对Fe-Fe<sub>3</sub>C相图的影响

(1)

扩大奥氏体相区的合金元素

(2)

缩小奥氏体相区的合金元素

(3)

改变共晶点、共析点参数的元素



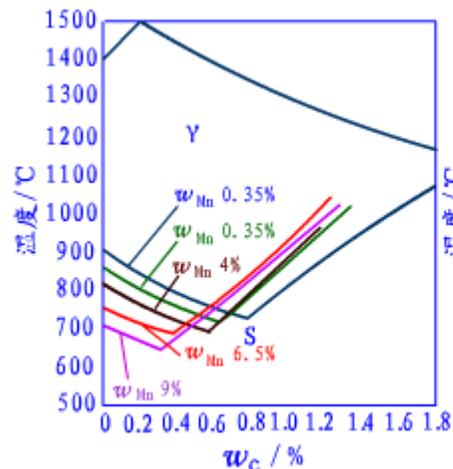
## 第二节 合金钢

### (1) 扩大奥氏体相区的合金元素

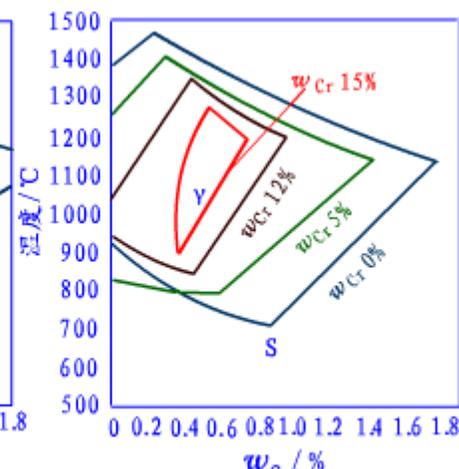
Mn、Ni、Cu等元素。

作用:使 $A_1$ 、 $A_3$ 线温度下降。

若钢中 $Mn > 13\%$ 或 $Ni > 9\%$ , 会使钢在室温下也可以获得A, 称A钢。



(a) Fe-C-Mn系



(b) Fe-C-Cr系



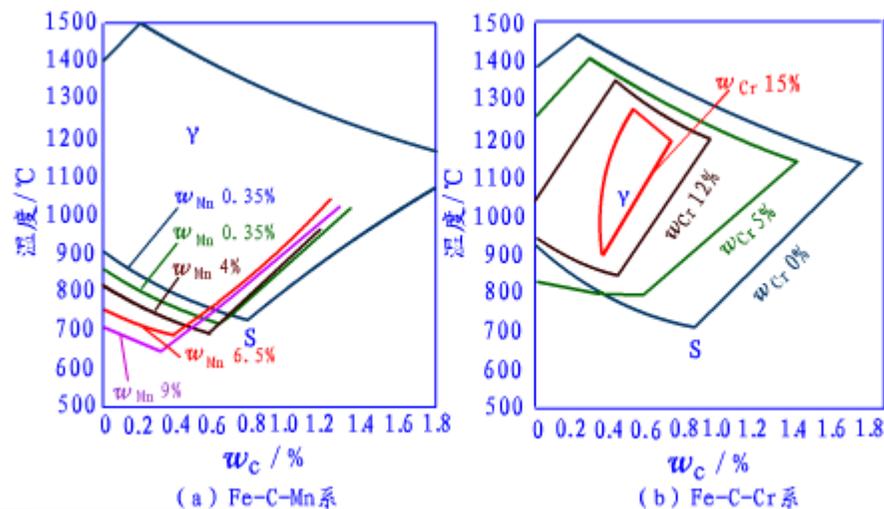
## 第二节 合金钢

### (2) 缩小奥氏体相区的合金元素

Cr、Mo、W、V、Ti、Si 等元素。

作用:使 $A_1$ 、 $A_3$ 线温度上升。

若Cr >13%，会使钢在高温下也保持F组织，称F钢。

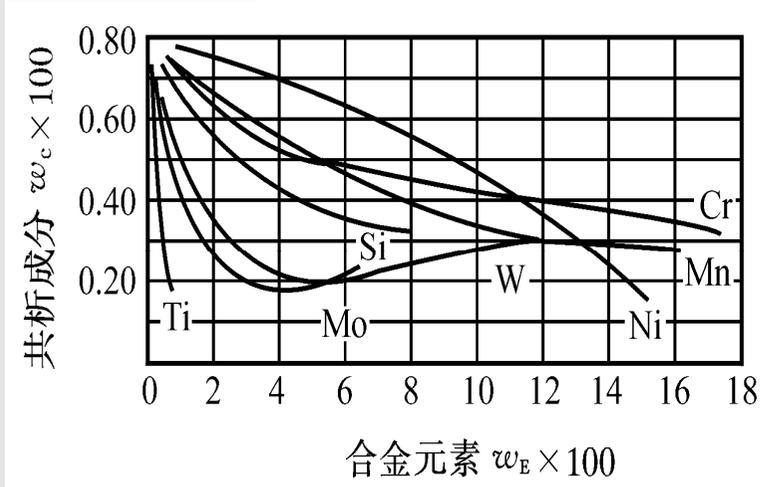




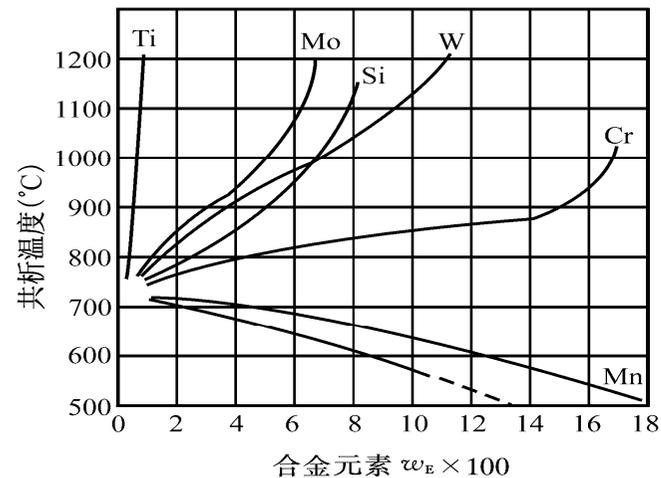
## 第二节 合金钢

### (3) 改变共晶点、共析点参数的元素

几乎所有的合金元素，会使S点和E点的成分向左移。使A<sub>1</sub>线的温度变化。



合金元素对S 点成分的影响



合金元素对A<sub>1</sub>线的影响



- ❖ (1) 致使含碳量小于0.77%的钢成为过共析钢。
- ❖ 例1、餐具厂用4Cr13钢制作餐刀是由于大量Cr的加入使S点左移，虽然它的平均含碳量为0.4%，但已是过共析钢了。
- ❖ (2) 绝大多数合金元素的加入使E点左移，致使含碳量小于2.11%的钢中出现莱氏体（称这类钢为莱氏体钢）。
- ❖ 例2、如高速钢W18Cr4V中的平均含碳量为0.7%~0.8%，但它属于莱氏体钢。



## 第二节 合金钢

### 三) 合金元素对钢的热处理的影响

#### 1、对奥氏体的影响

(1) . 除**Ni**、**Co**外,大多数合金元素均使奥氏体的形成速度减慢。

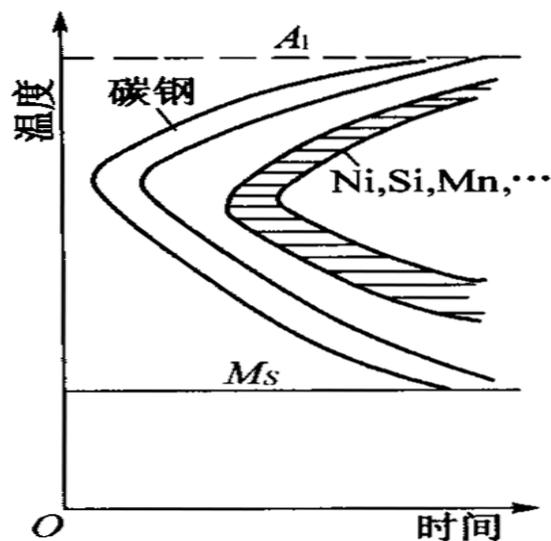
(2) . 除**Mn**外,合金元素能阻止奥氏体晶粒长大。

( 强碳化物形成元素能强烈的阻止奥氏体晶粒长大(**Ti**、**V**、**Zr**、**Nb**等; 非碳化物形成元素能轻微的阻止奥氏体晶粒长大(**Si**、**Ni**、**Cu**、**Co**等)。

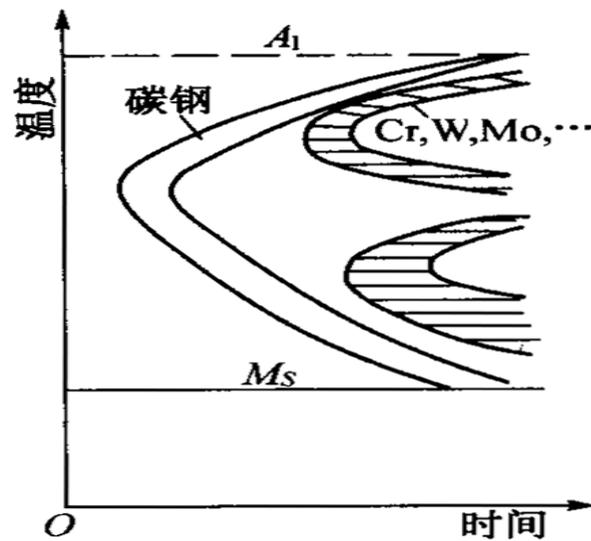
## 第二节 合金钢

### 2. 合金元素对过冷奥氏体转变的影响

- (1) . 除 Co 元素外，所有的合金元素均使钢的 C 曲线向右移。降低了钢的临界冷却速度，提高了淬透性。（提高钢的淬透性，常用的元素有：Cr、Mn、Mo、Si、Ni、B等）。
- (2) . 除 Co、Al 元素外，所有的合金元素都使马氏体转变温度下降。



(a)



(b)



## 第二节 合金钢

### 3. 合金元素对回火转变的影响

提高淬火钢的回火稳定性

二次硬化的产生

产生回火脆性



## ❖ (1) 提高淬火钢的回火稳定性

❖ **回火稳定性：** 淬火钢在回火时，抵抗软化（强度、硬度下降）的能力。

❖ 在保持相同硬度的条件下，合金钢的回火温度比碳钢高些，从而使内应力消除得充分一些，韧性也就更高一些。

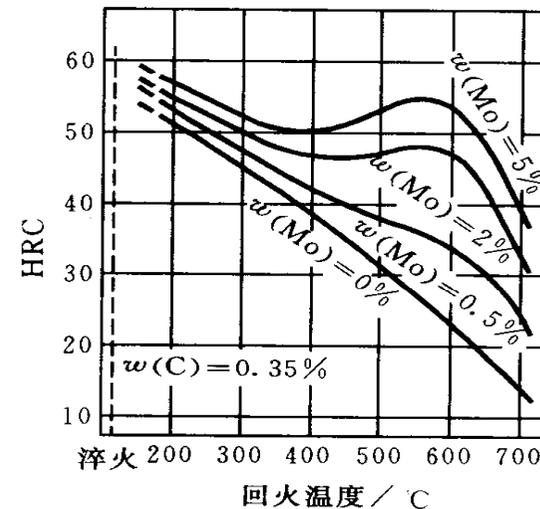


图 2-107 碳质量分数为 0.35% 钼钢的回火温度与硬度关系曲线



例

	T10	9SiCr
100℃	62HRC	65HRC
200℃	57HRC	63HRC
300℃	52HRC	61HRC

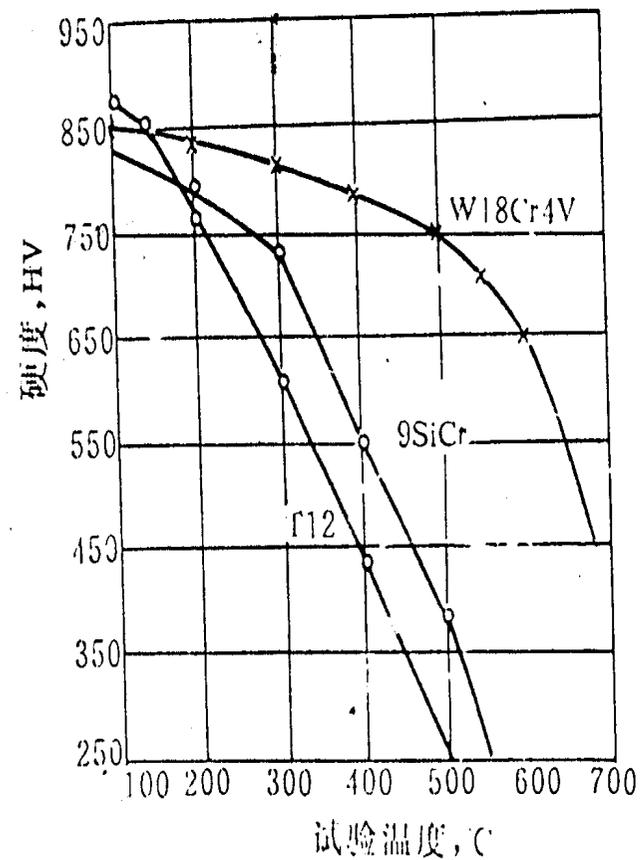


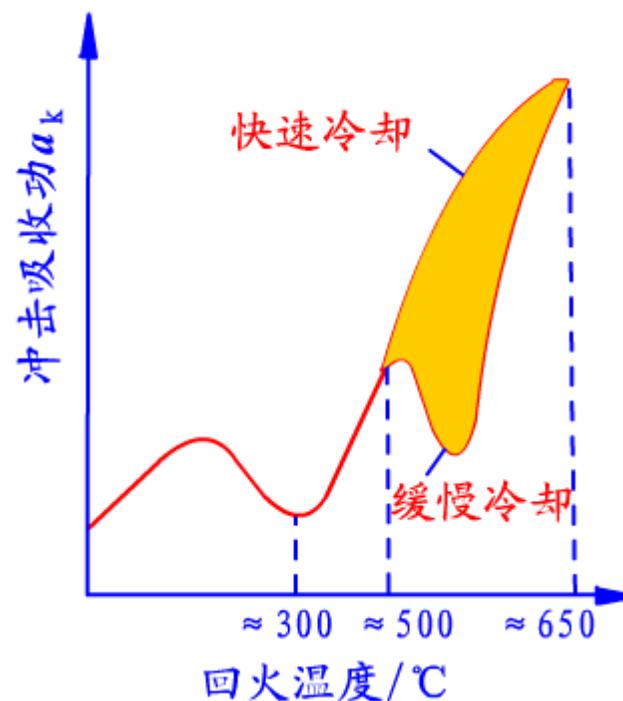
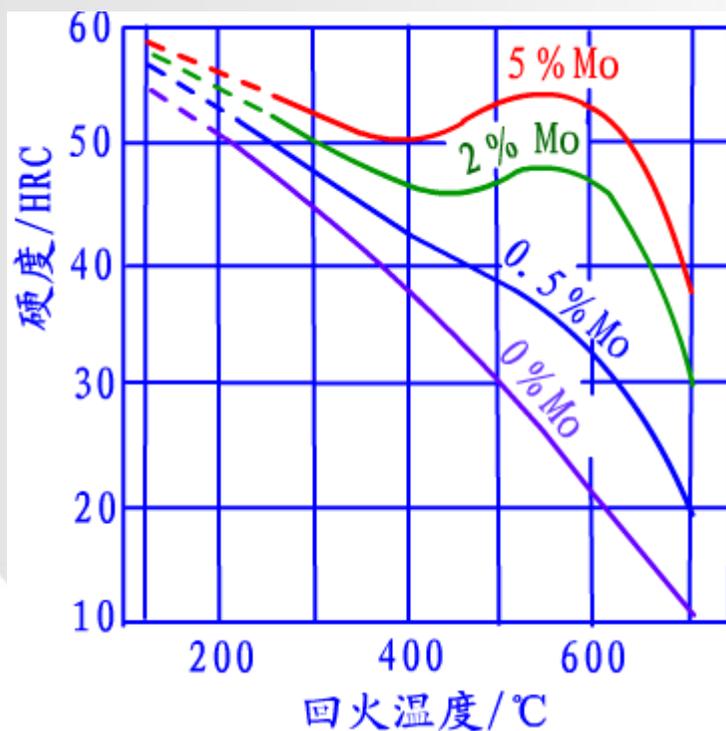
图 8-25 T12、9SiCr、W18Cr4V 的硬度与温度



## 第二节 合金钢

### (2) 产生二次硬化现象

- ❖ W、Mo、V 等碳化物在 $550^{\circ}\text{C}$ 时,使钢达到最高硬度,产生二次硬化。





**机理：**造成二次硬化的主要原因是钢中加入强碳化物形成元素以后，在 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ 回火时，从马氏体中析出与母相保持共格关系的高度弥散的特殊碳化物（如 $\text{Mo}_2\text{C}$ ， $\text{W}_2\text{C}$ ， $\text{VC}$ 等）使硬度反而上升。

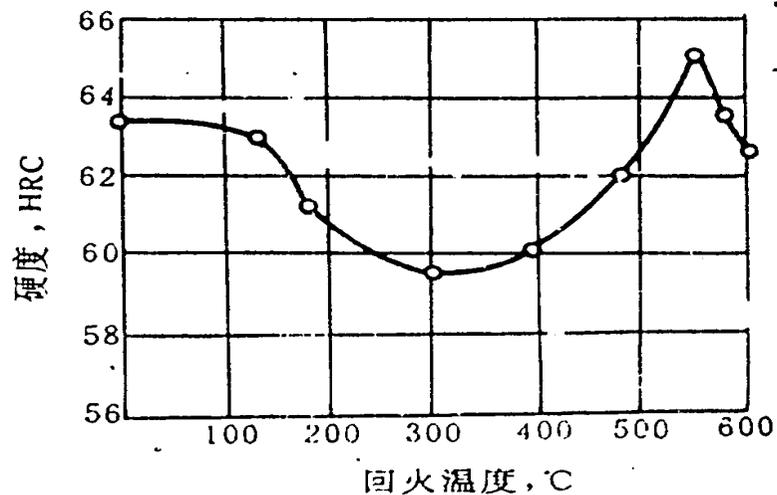


图 8-23 W18Cr4V 钢硬度与回火温度的关系



### ❖ (3) 出现第II类回火脆性

- ❖ ①第II类回火脆性：镍铬钢在450~650℃回火后缓慢冷却会出现冲击韧性剧烈下降。

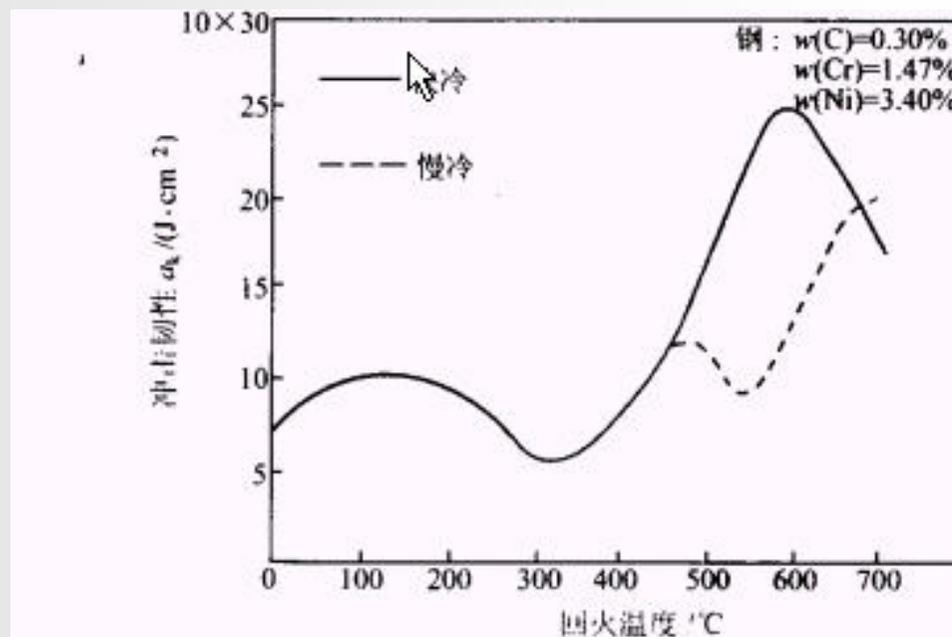


图 2-108 铬镍钢的韧性与回火温度的关系



②产生的原因：镍、铬造成杂质在晶界偏析。

③防止第二类回火脆性的产生的方法：

- ❖ 1. 在500~600 °C快速冷却。
- ❖ 2. 加入合金元素W、Mo。

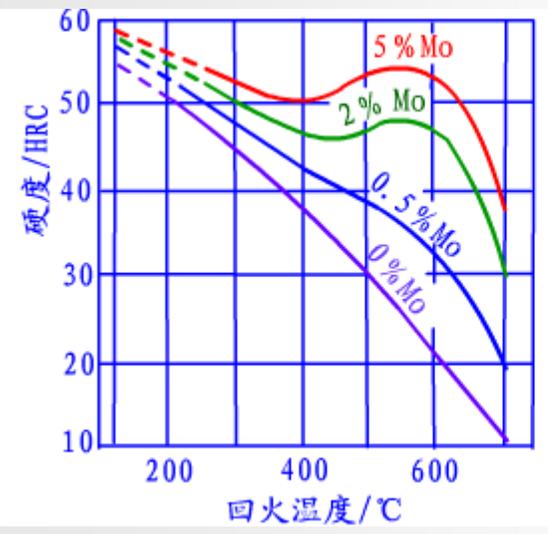


图  $w_c=0.35\%$ 的钢加入不同量Mo对回火硬度的影响

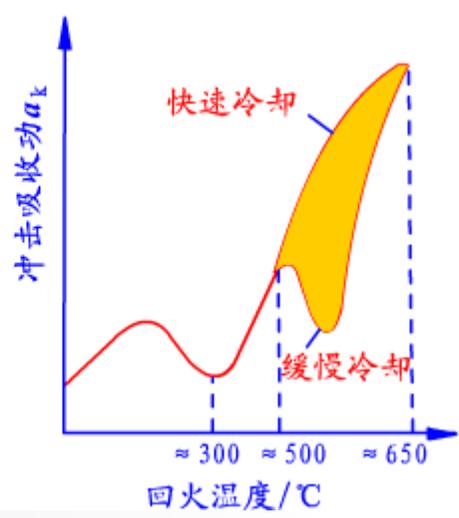


图 合金钢回火脆性示意图



# 总 结

## 1、合金元素的主要作用；

序号	作 用	合金元素
1	提高淬透性	强：Mo、Cr、Mn、B 其次：Ni、Si
2	细化晶粒	强：Ti、V 其次：W、Mo、Cr
3	消除回火脆性	W、Mo
4	强化铁素体	Si、Mn、P、Ni
5	二次硬化	Mo、V、W
6	提高回火稳定性	V、Mo、Si、W、Cr
7	促使晶粒长大	Mn、B
8	促使第二类回火脆性	Cr、Ni



- ❖ 2、合金钢优点：
- ❖ 淬透性好，可油淬，变形小；
- ❖ 红硬性高；（是指外部受热升温时工具钢仍能维持高硬度（大于 60 HRC）的功能）。
- ❖ 屈强比的数值一般为0.85—0.9；
- ❖ 可节省20—30 %材料，可制作大尺寸、复杂、高强零件。



## 第二节 合金钢

### 二、合金钢分类和编号

#### (一) 合金钢的分类

##### 1、按合金元素含量

(合金元素总量)

微合金钢 0.001-0.1%

低合金钢 1-5%

中合金钢 5-10%

高合金钢 >10%

##### 2、按钢的金相组织

铁素体钢 Cr17、Cr25、Cr28。

奥氏体钢 1Cr18Ni9、0Cr19Ni9、Mn13。

马氏体钢 3Cr13、4Cr13、1Cr11MoV、1Cr12WmoV。

珠光体钢 15CrMo、12CrMoV。

贝氏体钢 12MoVWBSiRE



## 第二节 合金钢

### 3、按钢中S、P杂质含量

- ❖ 普通合金钢  $S \leq 0.050\%$   $P \leq 0.045\%$
- ❖ 优质合金钢  $S \leq 0.035\%$   $P \leq 0.035\%$
- ❖ 高级优质合金钢  $S \leq 0.025\%$   $P \leq 0.025\%$
- ❖ 特级优质合金钢  $S \leq 0.015\%$   $P \leq 0.020\%$

### 4、按合金组元

- ❖ 二元合金钢 Mn钢、硅钢、铬钢。
- ❖ 三元合金钢 CrMn、Si-Cr、Si-Mn、Cr-Ni。
- ❖ 多元合金钢 Cr-Mn-Ti、Ni-Cr-Mo-V。

### 5、按用途

- ❖ 合金结构钢，合金工具钢，特殊性能钢：不锈钢、耐热钢、超强钢。



## (二) 合金钢的编号



### (1) 合金结构钢

#### ▶ 合金结构钢牌号的一般命名原则

(1) 合金钢的含碳量、合金元素的种类、合金元素的含量均应在牌号中体现出来。

(2) 两位数字（表示平均含碳量的万分之几）+合金元素符号+该元素百分含量数字+.....

(3) 当合金元素的平均含量小于1.50%时，只标元素符号，不标含量；

例：合金弹簧钢 60Si2Mn

含碳量 ~0.6%；硅含量 ~2%；锰含量 Mn~1%。

高级优质钢在牌号后加字母A，如60Si2MnA。

特级优质钢在牌号后加字母E，如30CrMnSiE。



## 合金工具钢

- ❖ (1) 含碳量+合金元素符号+该元素百分含量+.....
- ❖ (2) 当含碳量小于1.00%时，含碳量用一位数字标明，这一位数字表示平均含碳量的千分之几，如8MnSi。
- ❖ (3) 当含碳量大于1.00%时，不标含碳量。

\* 高速钢不标含碳量，如  
W6Mo5Cr4V2 (含0.85%C)。

\*\* 含铬量小于1%时，在含铬量  
(以千分之一为单位)前加数字  
“0”，如Cr06。



铣刀



## ➤ 轴承钢



- (1) G+Cr+铬含量(不标含碳量)
  - (2) “G”表示“滚动轴承钢”。
  - (3) 铬含量以千分之一为单位。
- 如“GCr15”的平均含铬量为1.5%。

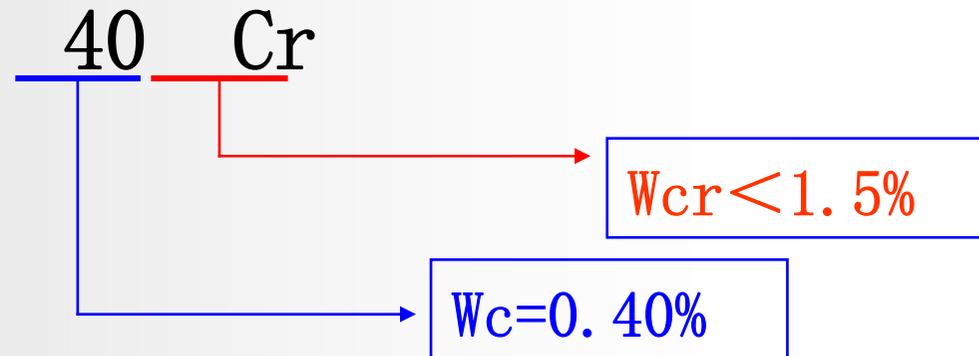




## 第二节 合金钢

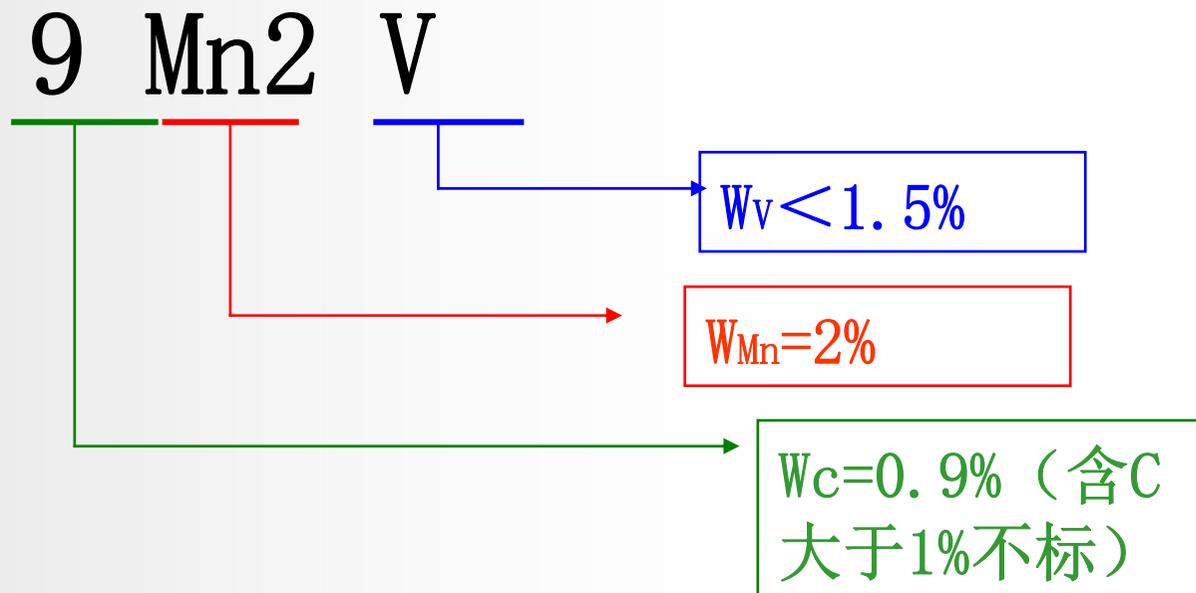
### (二) 合金钢的编号

例题：(1) 合金结构钢



## 第二节 合金钢

### (2) 合金工具钢





## 第二节 合金钢

### (3)、特殊性能钢

0 Cr19Ni9

W<sub>Ni</sub>=9%

W<sub>Cr</sub>=19%

W<sub>C</sub> ≤ 0.08%

00 Cr18Ni10

W<sub>C</sub> ≤ 0.03%

000

W<sub>C</sub> ≤ 0.003%



## 第二节 合金钢

### 三、合金结构钢

合金结构钢：分为低合金结构钢、合金渗碳钢、合金调质钢、合金弹簧钢和滚动轴承钢。

#### (一) 低合金结构钢

##### ❖ 1. 性能特点

有较高的强度、良好的塑性、韧性以及焊接工艺性能

##### ❖ 2. 化学成分特点

平均含碳量小于0.2%。主要加入以Mn为主的合金元素

##### ❖ 3. 热处理特点

一般在热轧或正火状态下使用  
组织为F+P

##### ❖ 4. 常用钢种



九江长江大桥



## ❖ 常用牌号和用途:

- ❖ Q345钢(16Mn)综合性能好,用于船舶、桥梁、车辆等大型钢结构。
- ❖ Q390钢含V、Ti、Nb,强度高,用于中等压力的压力容器。
- ❖ Q460钢含Mo、B,强度高,用于石化中温高压容器,组织为贝氏体。

南京长江大桥





应用：在大气和海洋中工作的的大型焊接结构件，如建筑结构、桥梁、车辆、船舶、输油输气管道、压力容器等。

桥梁



车辆



船舶



高压容器





## ❖ 芜湖长江大桥采用哪种钢建造？

制造芜湖长江大桥钢梁所采用的14MnNbq钢，是武汉钢铁集团和中铁大桥工程局共同研究开发的新型桥梁用钢，该钢种系首次在我国大型桥梁上使用。





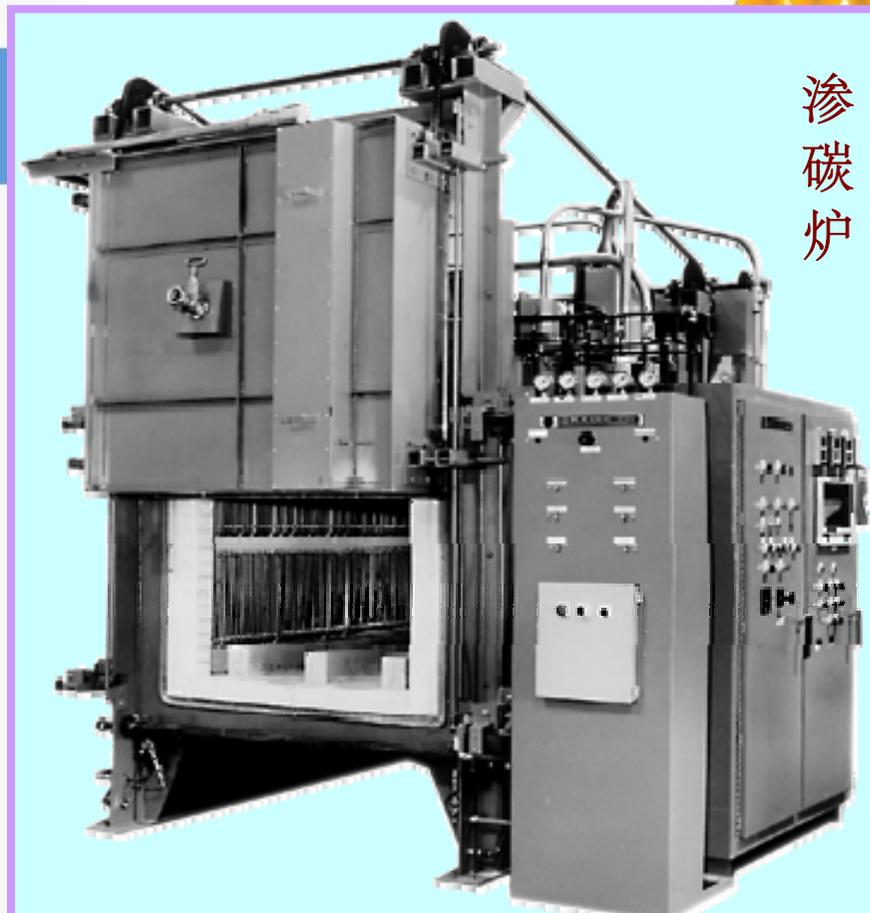
## (二)、渗碳钢

❖ **应用**：汽车、重型机床齿轮、活塞销，内燃机的凸轮轴等。

### ❖ 1、性能要求

❖ (1) “表硬心韧”

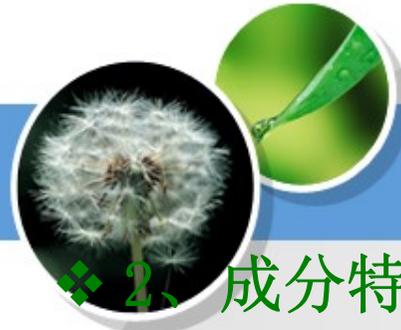
❖ (2) 良好的热处理性能，如淬透性和渗碳能力。



渗碳炉



渗碳件—传动齿轮



## ❖ 2、成分特点

❖ (1) 低碳： $0.1 \sim 0.25\%C$

❖ (2) 合金元素作用：

❖ ① 提高淬透性：

Cr、Mn、Ni、B

❖ ② 强化铁素体：

Cr、Mn、Ni

❖ ③ 细化晶粒：

W、Mo、Ti、V



渗碳件

高精密独立导柱





### ❖ 3、热处理特点

❖ 渗碳件的加工工艺路线为：下料→锻造→正火→机加工  
→渗碳→淬火+低温回火

❖ 正火目的为调整硬度，便于切削加工。

❖ 淬火温度一般为

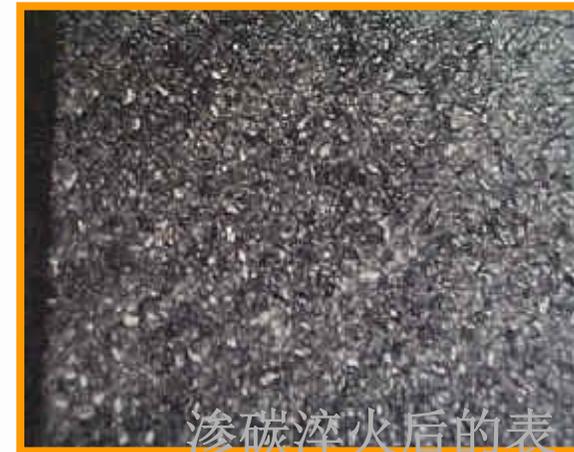
$$Ac_1+30-50^{\circ}C。$$

❖ 4、室温组织：

❖ 表面是回火马氏体+合金碳化物+残余奥氏体，60-62HRC

❖ 心部淬透时：低碳回火马氏体+铁素体

❖ 心部为淬透：索氏体+铁素体



渗碳淬火后的表  
层组织



## 常用牌号及用途

### ①低淬透性合金钢

如20Cr、20Mn2等，其淬透性差，渗碳淬火后，心部强韧性较低。

只要用于受力尺寸较小耐磨件，如活塞销、凸轮轴等。

柴油机  
凸轮轴



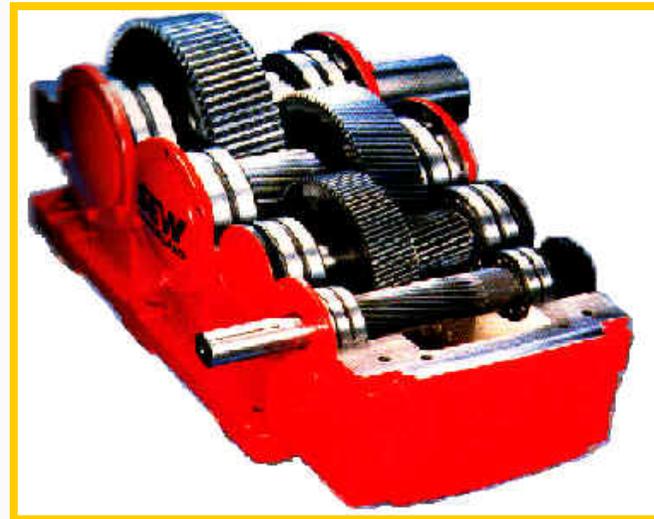
活塞销(20Cr)





## ②中淬透性合金钢

- ❖如20CrMnTi、20SiMnVB等，其淬透性较好。淬透直径（25~60）mm油。
- ❖主要用于制造承受中等载荷、要求足够冲击韧性和耐磨性的零件，如汽车、拖拉机的变速齿轮、离合器轴等。





### ③高淬透性合金钢：

如20Cr2Ni4A、18Cr2Ni4WA等，其淬透性好，淬透直径（100）mm油。主要用于制造大截面、承受高负荷的重要耐磨件，如飞机、坦克中的曲轴、齿轮等。



齿轮



增压柴油机曲轴



## 选材及工艺路线

- 1 汽车齿轮：根部承受较大的交变弯曲应力；齿和齿啮合时齿面承受较大的接触压应力并受强烈的摩擦和磨损；换档、变速、制动时承受较大的冲击力。

选材： **20CrMnTi**

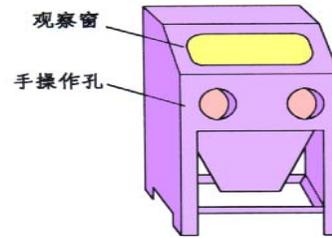


喷丸是以金属弹丸，利用压缩空气或机械离心力为动力和摩擦力来除去金属锈蚀的方法。

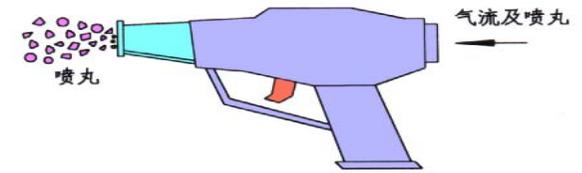
汽车齿轮的工艺路线：

下料 → 锻造 → 正火 → 机加工 → 渗碳 + 淬火 + 低温回火

喷丸 → 精磨 → 成品



a) 喷丸机

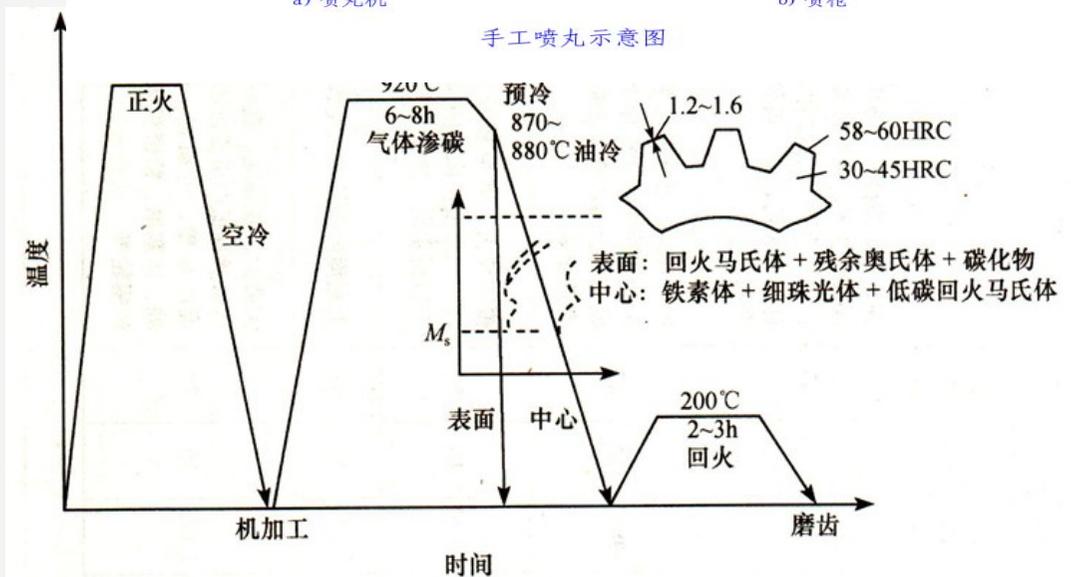


b) 喷枪

手工喷丸示意图

组织：表面高碳回火马氏体 + 碳化物 + 少量残余奥氏体，

心部：铁素体 + 细珠光体 + 低碳回火马氏体



20CrMnTi 钢制造齿轮的热处理工艺曲线



## 第二节 合金钢

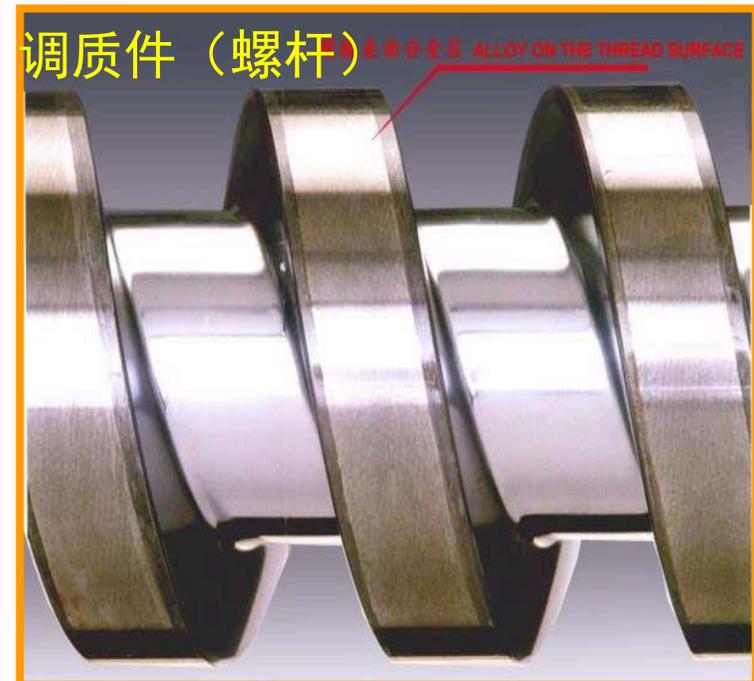
### (三) 调质钢

- 1、应用：精密机床主轴、火车发动机曲轴、连杆螺栓、汽车后桥半轴等。
- 2、对调质钢的性能要求：既强又韧
- 3、对调质钢成分的要求：

中碳(0.3% ~0.5%)

合金元素作用为：

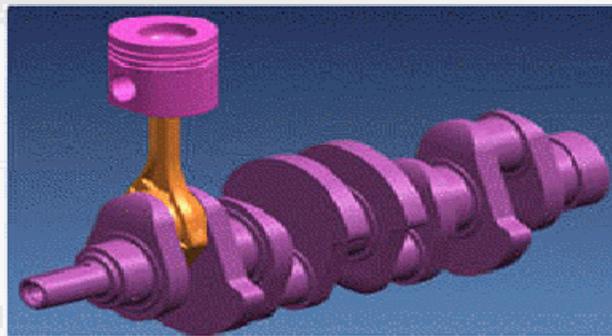
- ① 提高淬透性：Mn、Si、Cr、Ni、B
- ② 强化铁素体：Mn、Si、Cr、Ni
- ③ 细化晶粒：Ti、V
- ④ 防止第二类回火脆性：W、Mo





4、**热处理**：退火或正火+淬火+高温回火（快速冷却）

5、**室温组织**：回火索氏体



曲轴



连杆



回火索氏体



## 6、合金调质钢的牌号

- ❖ (1) **40Cr** 低淬透性合金调质钢，钢含合金元素总量 < 3%。油淬临界直径为 **30 mm ~ 40 mm**，用于制造一般尺寸的重要零件。
- ❖ (2) **35CrMo** 中淬透性合金调质钢，钢含合金元素总量在 4% 左右。油淬临界直径为 **40 mm ~ 60 mm**，加入 Mo 不仅可提高淬透性，而且可防止第二类回火脆性。常用于制造较小的齿轮、轴、螺栓等零件。
- ❖ (3) **40CrNiMo** 高淬透性合金调质钢，钢含合金元素总量在 4% ~ 10%。油淬临界直径为 **60 mm ~ 100 mm**。用于制造大截面重载零件，如曲轴等。



## 第二节 合金钢

### 7、应用举例 40Cr



举例说明：40Cr做拖拉机连杆螺栓

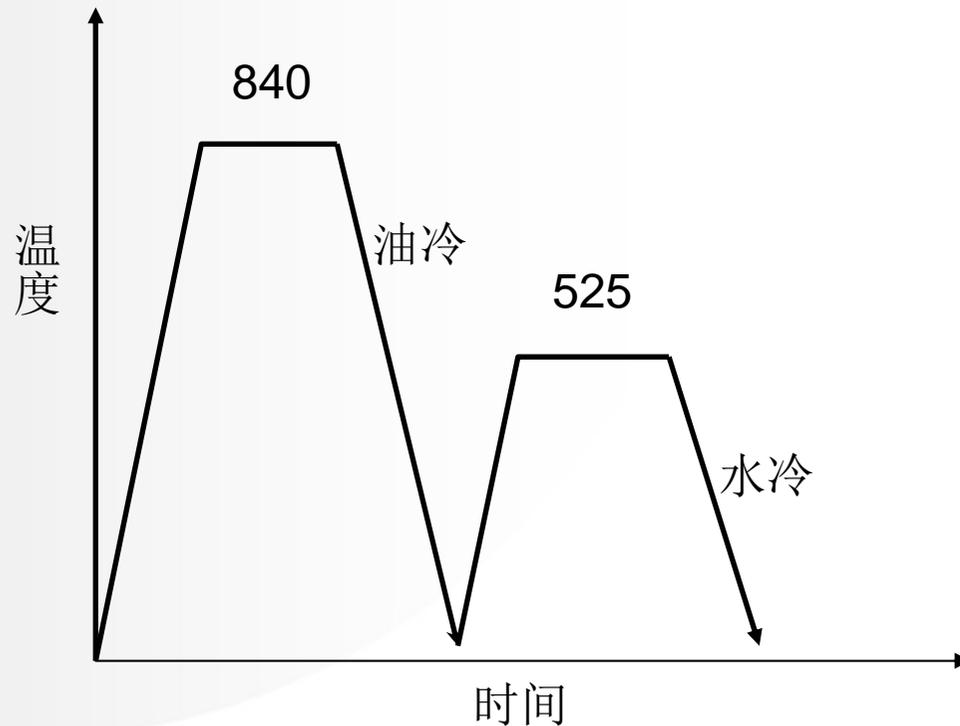
工艺路线：下料→锻造→退火（或正火）→粗加工→调质→精加工→装配

技术要求：处理后组织为回火索氏体，30-38HRC

调质处理工艺：



525度保温后水冷是否属于淬火工艺，能否得到M组织？？





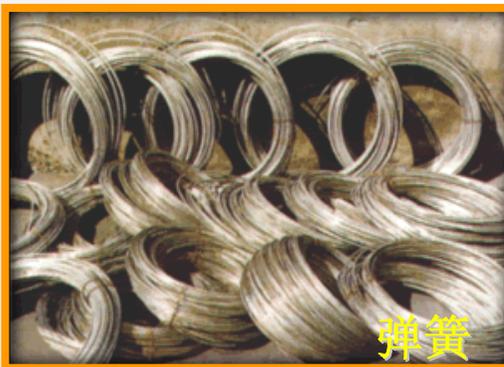
## 第二节 合金钢

### (四) 弹簧钢

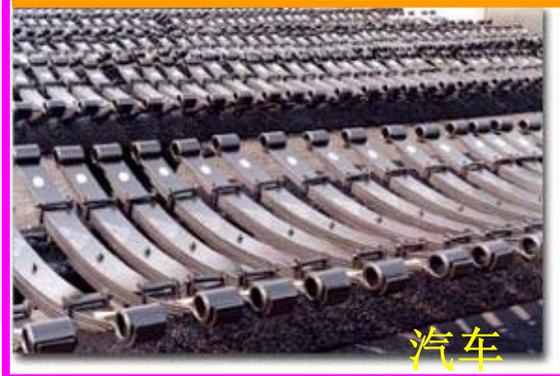
1.用途 主要用于制造各种弹簧和弹性元件。



火车螺旋弹簧



弹簧  
丝



汽车  
板簧



大型热卷弹  
簧



离合器弹簧



拉力弹簧



## 第二节 合金钢

### 2、对弹簧钢的性能要求:

(1) 高的  $\sigma_s$ 、 $\sigma_{-1}$  和  $\sigma_s/\sigma_b$ ; (2) 一定的  $\alpha_k$ ; (3) 淬透性好; (4) 好的环境稳定性。

### 3、成分特点:

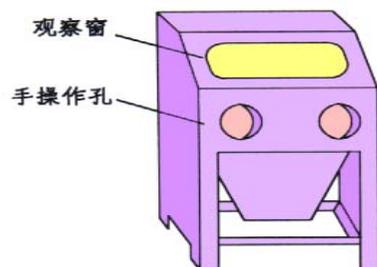
- ❖ (1) 中、高碳  $0.50\% \sim 0.70\%$ 。
- ❖ (2) 合金元素作用:
  - ❖ ① 提高淬透性、强化铁素体: Mn、Si、Cr
  - ❖ ② 提高  $\sigma_s/\sigma_b$ : Si
  - ❖ ③ 细化晶粒: V



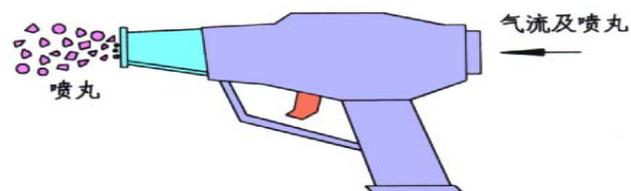
## 4、弹簧钢的热处理特点：

热轧弹簧：热成型 → 淬火 + 中温回火 → 喷丸

冷轧弹簧：淬火 + 中温回火 → 冷成型 → 去应力 → 喷丸

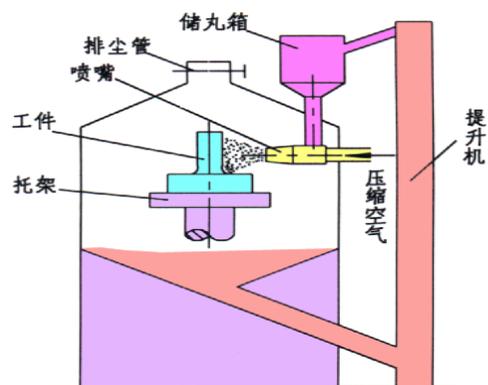


a) 喷丸机



b) 喷枪

手工喷丸示意图



机械喷丸示意图





## 第二节 合金钢

### 5、合金弹簧钢的牌号

(1) **65Mn**和**60Si2Mn** Si、Mn的复合合金化，性能比只用Mn的好得多。这类钢主要用于汽车、拖拉机上的板簧和螺旋弹簧。

(2) **50CrVA** Cr、V复合合金化，不仅大大提高钢的淬透性，而且还提高钢的高温强度、韧性和热处理工艺性能。这类钢可制作在350 °C~400 °C温度下承受重载的较大弹簧。

## 第二节 合金钢

### (五) 滚动轴承钢

用于制造**轴承套**和**滚动体**的专用钢种。

#### 1、性能要求

轴承工作时，承受接触应力(达3000-3500MPa)、周期性交变

载荷(频率达数万次/分)和摩擦。

- ❖ (1) 高而均匀的硬度和耐磨性。
- ❖ (2) 高的 $\sigma_b$ 和接触疲劳强度。
- ❖ (3) 足够的韧性、淬透性和耐蚀性。



圆柱滚子轴承



自动调心球轴承



## 第二节 合金钢

### 2、成分特点

- ❖ (1) 高碳：0.95-1.10%C
- ❖ (2) 合金元素：以Cr为主，加入Mn、Si。
- ❖ Cr、Mn、Si的主要作用是提高淬透性
- Cr还提高耐磨性（形成合金渗碳体）和耐蚀性。
- 当 $>1.65\%Cr$ 时，会因 $A'$ 增加而使硬度和稳定性下降。



推力球轴承



滚针轴承



## 第二节 合金钢

### 3、热处理和组织特点

- ❖ 滚动轴承钢是过共析钢。
- ❖ (1) 热处理：球化退火+淬火+低温回火
- ❖ (2) 组织： $M_{\text{回}}$ +颗粒状碳化物+A' (少量)  
淬火后进行冷处理 ( $-60 \sim -80^{\circ}\text{C}$ )，可以减少A'、稳定尺寸。





## 第二节 合金钢

### 4、常用钢号及用途

- ❖ 应用最广的是GCr15，大量用于大中型轴承；
- ❖ 大型轴承用GCr15SiMn。
- ❖ 这类钢还可用于制造模具、量具等。



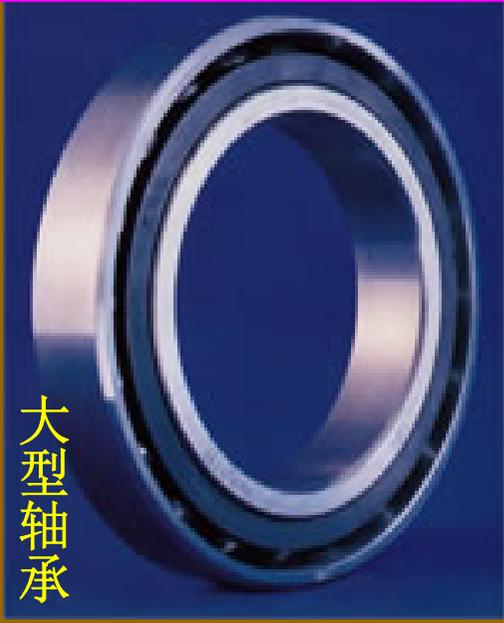
滚针轴承



滚柱轴承



滚珠轴承



大型轴承



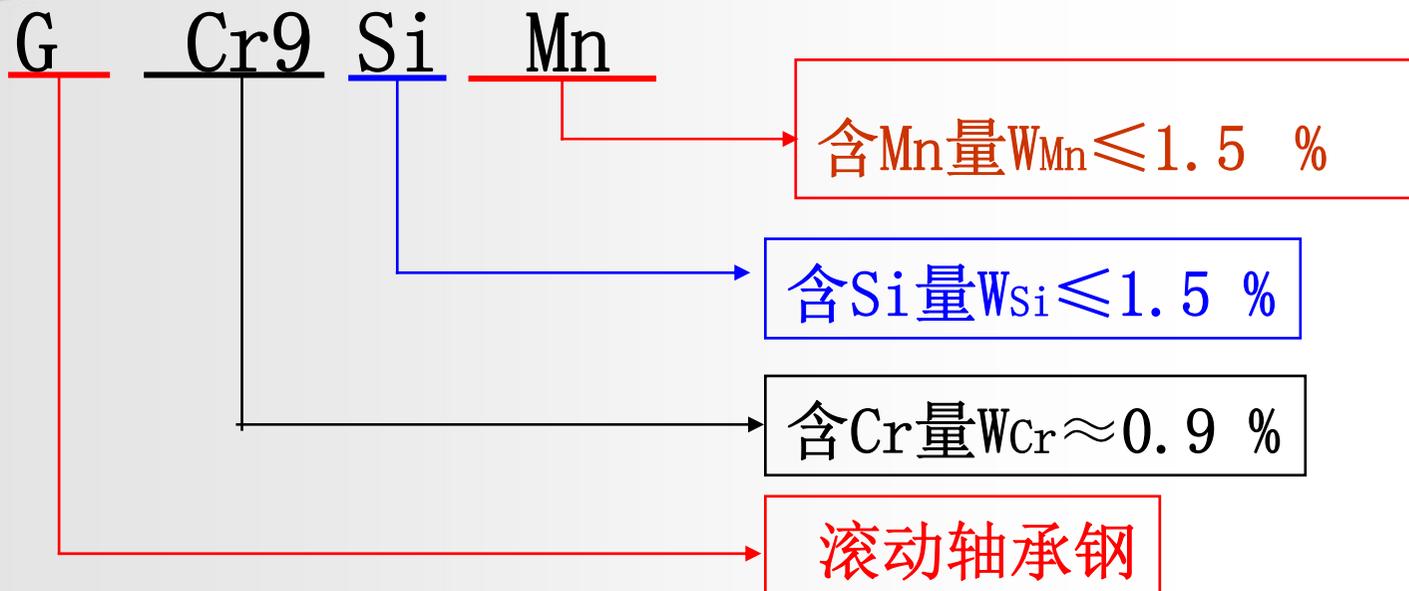
表 3-10 滚动轴承钢的钢号、热处理工艺、力学性能及用途

钢 号	热处理工艺/℃		回火后硬度 HRC	用 途 举 例
	淬 火	回 火		
GCr6	800~820 水油	150~170	62~64	$\phi < 10\text{mm}$ 的滚珠, 滚柱及滚针
GCr9	810~830 水油	150~170	62~64	$\phi < 20\text{mm}$ 的滚珠, 滚柱及滚针
GCr9SiMn	810~830 水油	150~160	62~64	壁厚 $< 12\text{mm}$ , 外径 $> 250\text{mm}$ 的套圈, $\phi > 50\text{mm}$ 的钢球, $\phi > 22\text{mm}$ 的滚子
GCr15	820~840 油	150~160	62~64	与 GCr9SiMn 相同
GCr15SiMn	820~840 油	150~170	62~64	壁厚 $\geq 12\text{mm}$ , 外径大于 $250\text{mm}$ , 的套圈, 直径 $> 50\text{mm}$ 的钢球, 直径 $> 22\text{mm}$ 的滚子



## 第二节 合金钢

### 5、滚动轴承钢的牌号



### 6、铬轴承钢制造轴承的工艺路线





## 第二节 合金钢

### 四、合金工具钢

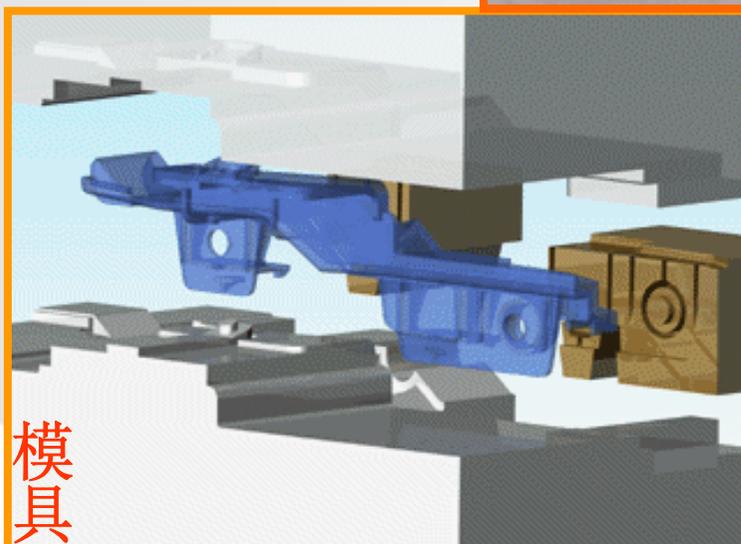
按用途分为:

刀具钢

模具钢

量具钢

刀具



模具

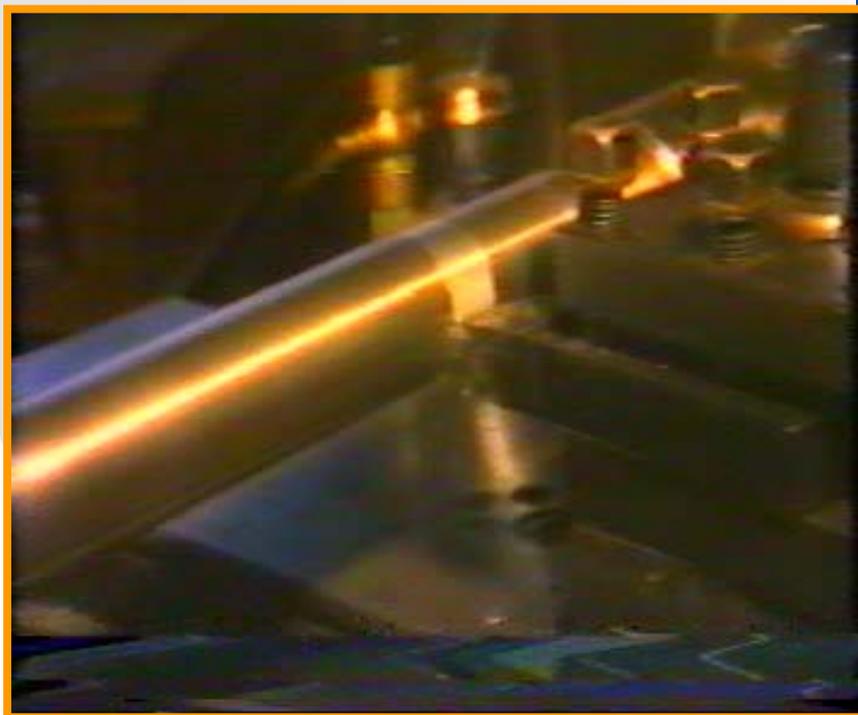


量具



## 第二节 合金钢

### (一)、刀具钢



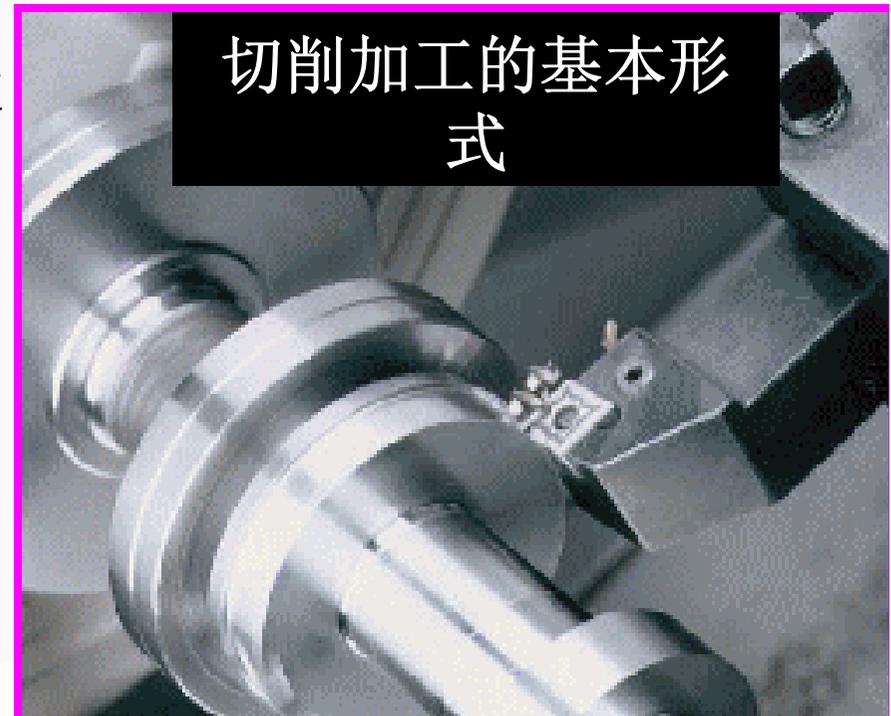
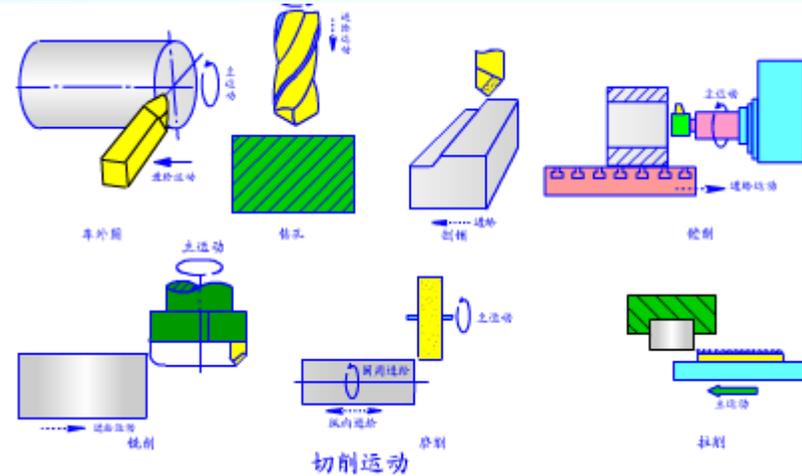
用来制造各种切削刀具的钢种。



## 第二节 合金钢

### (一) 性能要求

- ❖ 1、高硬度 ( $\geq$ HRC60), 主要取决于含碳量。
- ❖ 2、高耐磨性 靠高硬度和析出细小均匀硬碳化物来达到。
- ❖ 3、高热硬性 即高温下保持高硬度的能力。
- ❖ 4、足够的韧性 以防止脆断和崩刃。





## 第二节 合金钢

### (二) 碳素工具钢

❖ 共有七个牌号：

T7~T13

❖ 1、成分特点：

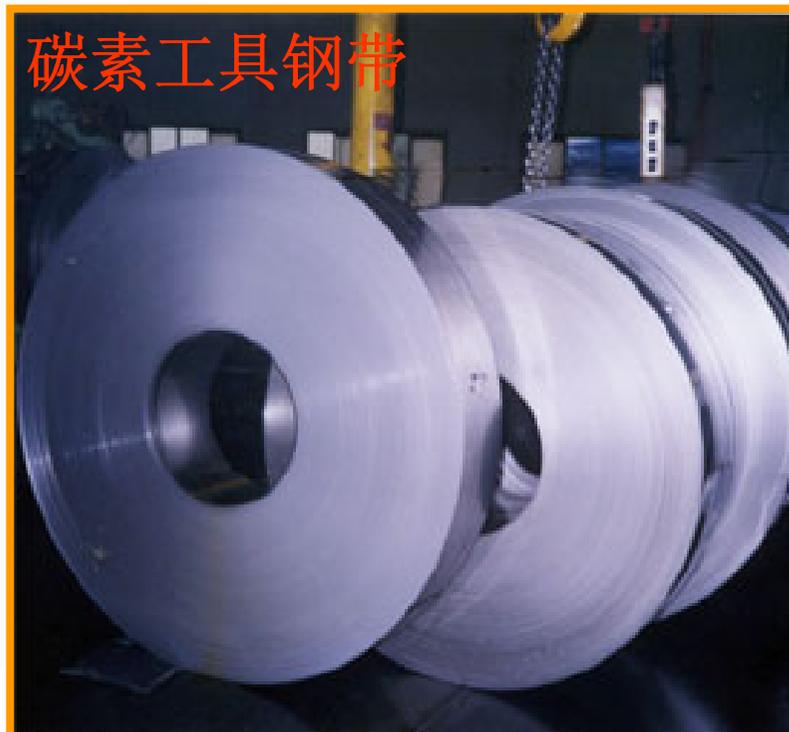
- 高碳(0.65-1.35%C)

随含碳量提高，碳化物量增加，耐磨性提高，但韧性下降。

碳素工具钢材料



碳素工具钢带



## 第二节 合金钢

### 2、热处理及组织

- ❖ (1) 热处理：正火+球化退火  
+淬火+低温回火

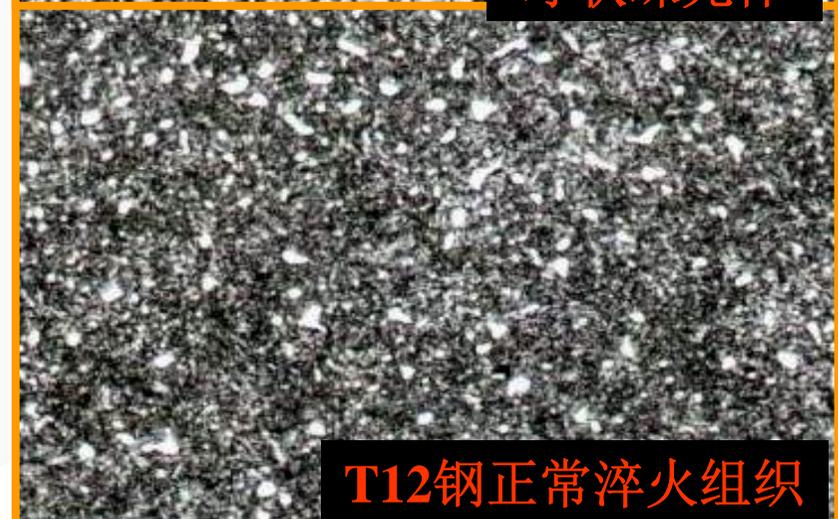
球化退火目的：

- ❖ ① 降低硬度，便于加工；
- ❖ ② 为淬火作组织准备。
- ❖ (2) 使用状态下的组织：

$M_{\text{回}} + \text{颗粒状碳化物} + A'$  (少量)



球状珠光体



T12钢正常淬火组织



## 第二节 合金钢

### 3、用途

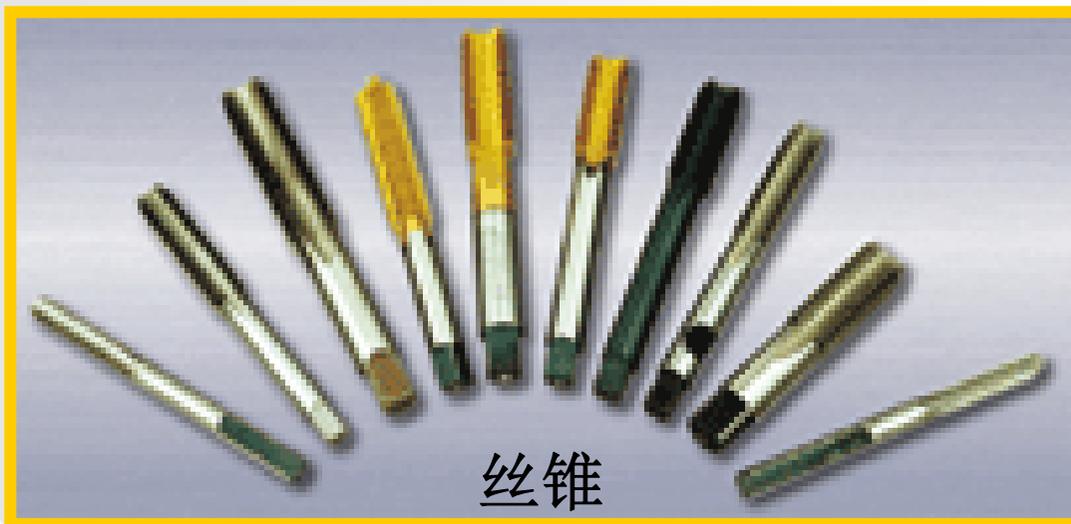
- ❖ 由于碳工钢热硬性、淬透性差，只用于制造小尺寸的手工工具和低速刃具。
- ❖ T7-T9：制造承受冲击的工具，如木工工具：冲子、凿子、锤子等。





## 第二节 合金钢

- ❖ T10-T11: 制造低速切削工具，如钻头、丝锥、车刀等。
- ❖ T12-T13: 制造耐磨工具，如锉刀、锯条等。



丝锥



锉刀



钻头



手锯条



## 第二节 合金钢

### (三) 低合金工具钢

由碳素工具钢基础上加入少量合金元素( $\leq 3-5$ )形成。

#### 1、成分特点:

- ❖ (1) 高碳: 0.75-1.5%C
- ❖ (2) 合金元素作用
  - ❖ ① 提高淬透性: Cr、Mn、S
  - ❖ ② 提高耐回火性: Si
  - ❖ ③ 提高耐磨性、细化晶粒:

W、V



低合金工具钢制品



## 第二节 合金钢

### 2、热处理及组织

- ❖ 同碳素工具钢，只是淬火介质为油（碳素工具钢为水）。
- ❖ 使用状态下的组织为：

$M_{\text{回}} + \text{颗粒状碳化物} + A'$  (少量)

### 3、常用钢号及用途

- ❖ 应用最多的是9SiCr。用于制造形状复杂、要求变形小的低速刃具，如丝锥、板牙等。





应用举例：

### 1、用9SiCr钢制造圆板牙

要求：碳化物分布均匀，防止崩刃；热处理变形小（标准件）；良好的耐磨性，硬度

**HRC60-63**

下料 → 球化退火 → 机械加工 → 淬火，低温回火  
→ 磨平面 → 抛槽，开口 → 成品

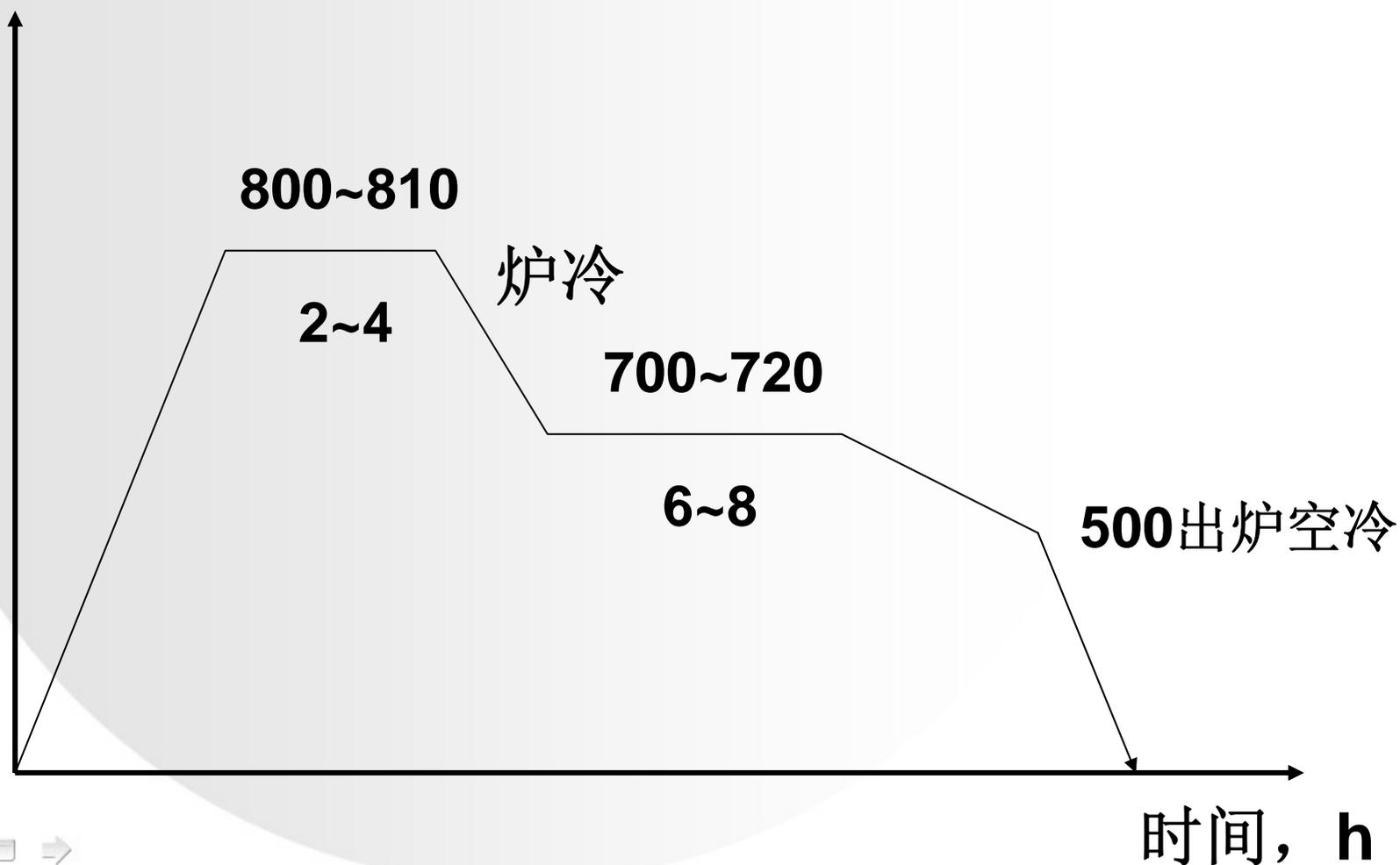


板牙



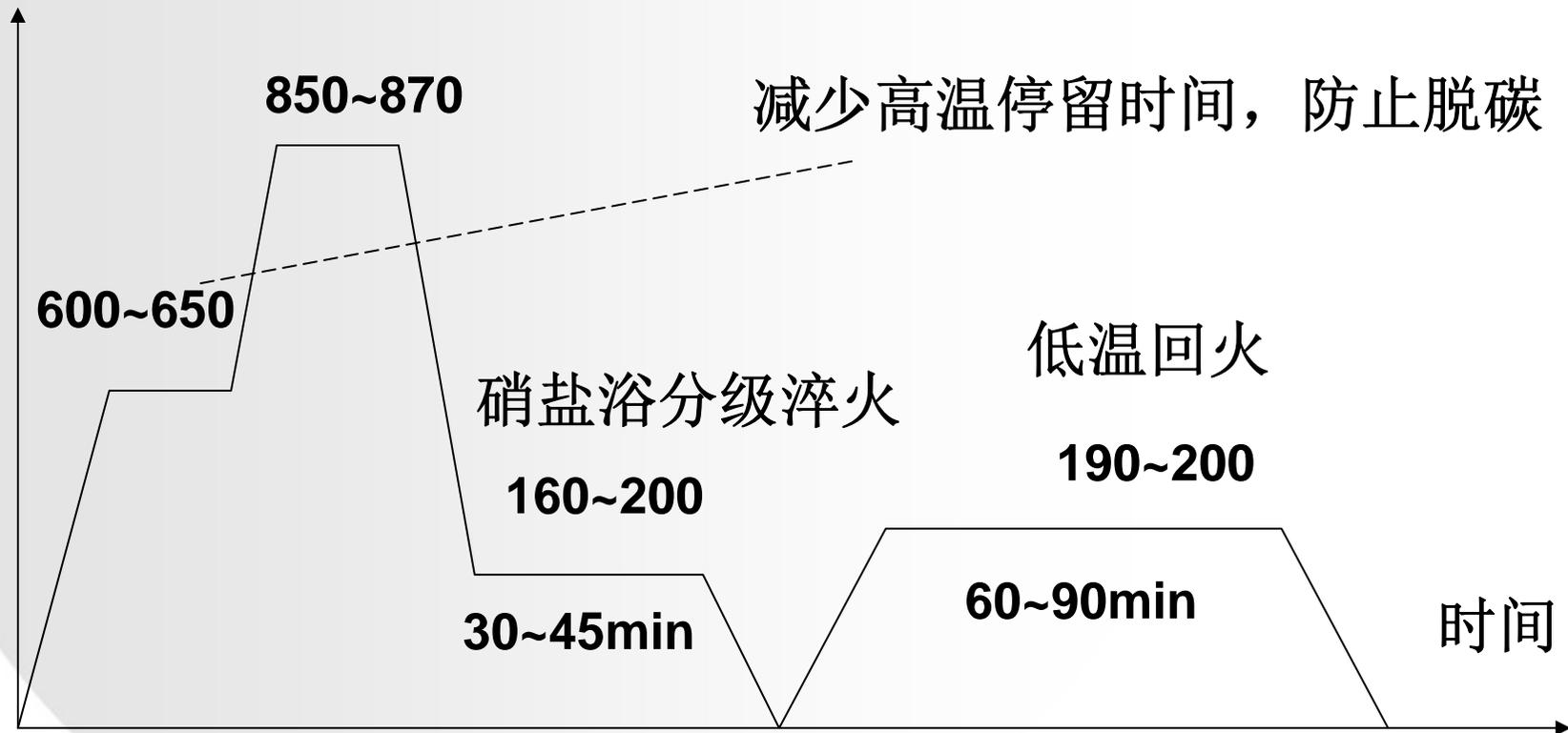
## 9SiCr球化退火工艺

温度, °C





温度°C





## 第二节 合金钢

### (四) 高速钢（俗称风钢）

制造高速切削刀具用钢。

1、性能特点：高热硬性

(600℃)、高淬透性

2、成分特点

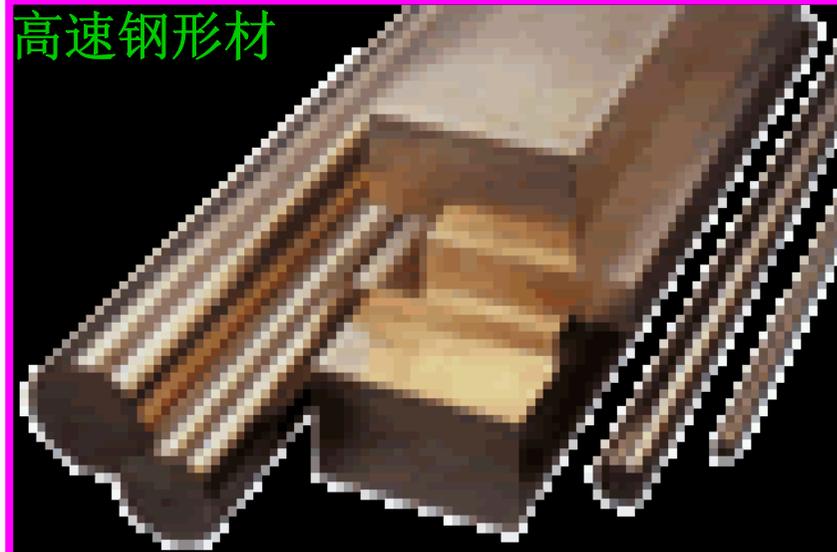
❖ (1) 高碳：0.70-1.5%C

❖ (2) 合金元素作用

❖ ① 提高淬透性：Cr

❖ ② 提高热硬性、耐磨

性：W、Mo、V





## 第二节 合金钢

### 3、加工与热处理

- 加工工艺路线：下料→锻造→退火→机加工→淬火→回火→磨削
- ❖ 高速钢是莱氏体钢，其铸态组织为亚共晶组织，由鱼骨状莱氏体与树枝状M+T组成，脆性大且无法热处理改善。



W18Cr4V钢的铸态组织

## 第二节 合金钢

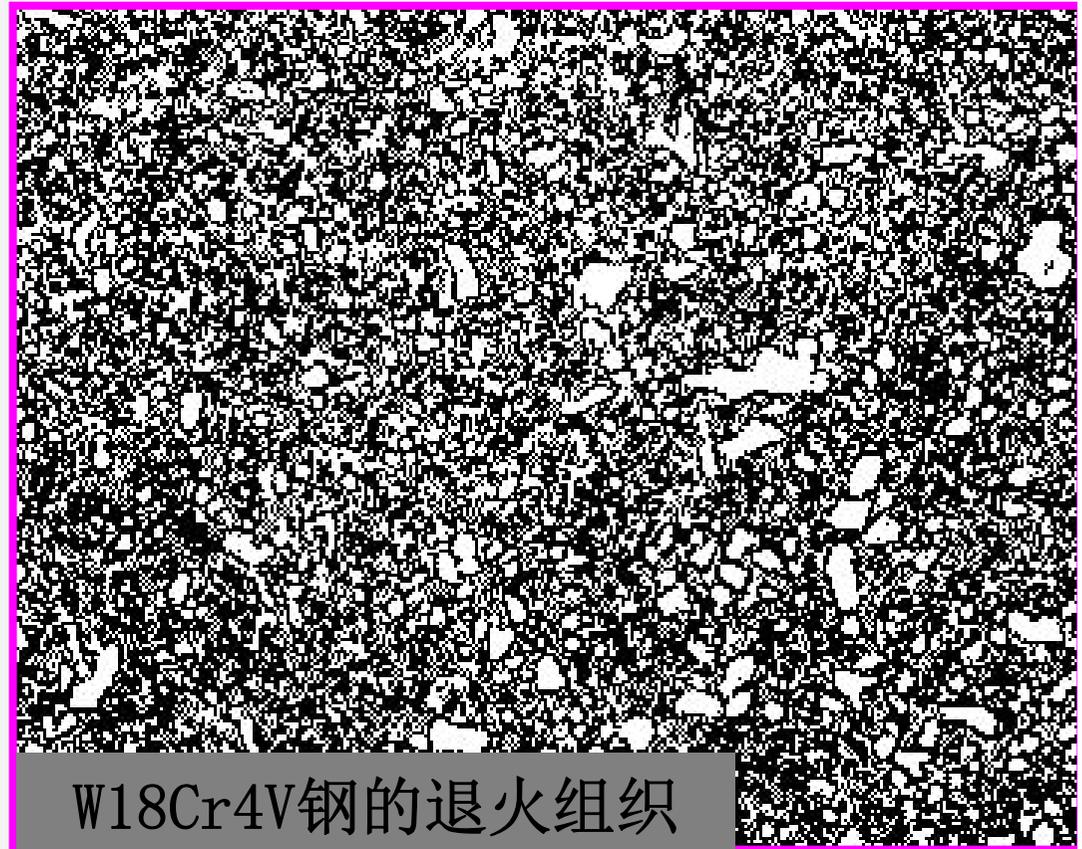


(1) **锻造目的：**打碎粗大的鱼骨状碳化物，使其均匀分布于基体中。

(2) **退火目的：**

- ❖ 降低硬度，便于切加工；
- ❖ 为淬火作组织准备。
- ❖ 退火后组织：

S+颗粒状碳化物



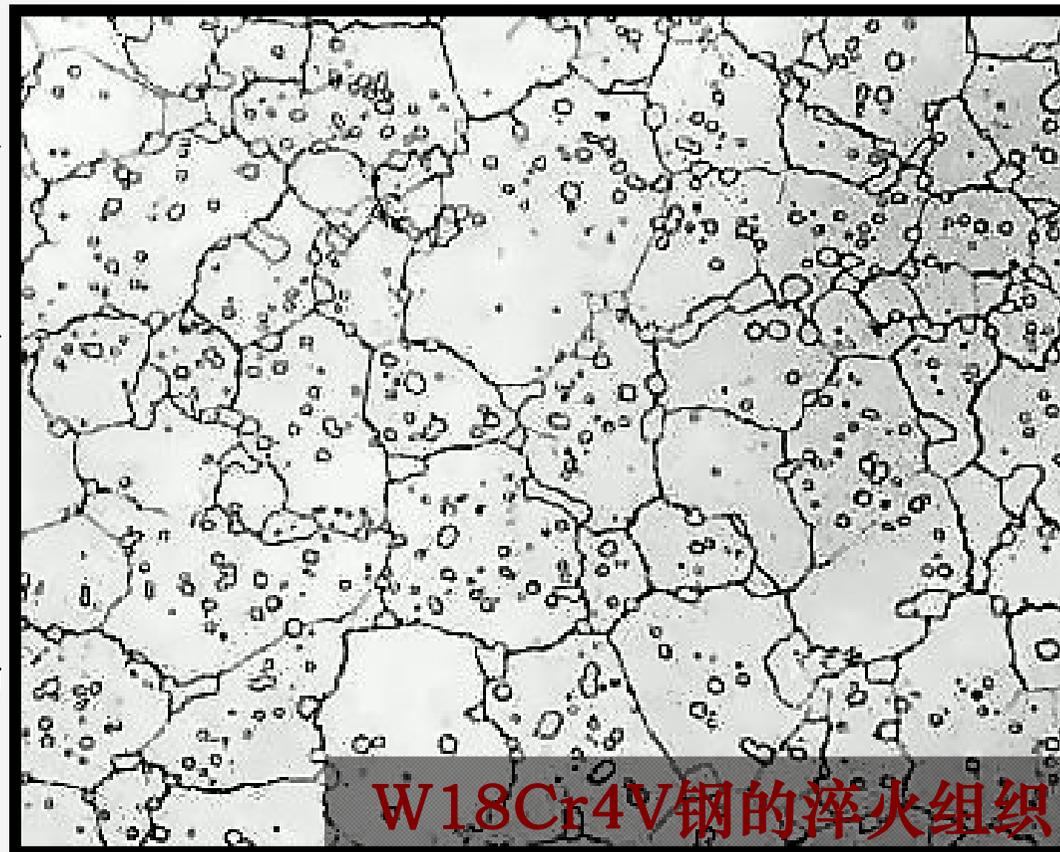
W18Cr4V钢的退火组织



## 第二节 合金钢

(3) 淬火目的：  
获得高合金元素含量的马氏体。  
因此淬火温度高  
( $>1200^{\circ}\text{C}$ )。

- ❖ 淬火后组织：
- ❖ M+未溶碳化物  
(10%)+A' (20%)



## 第二节 合金钢

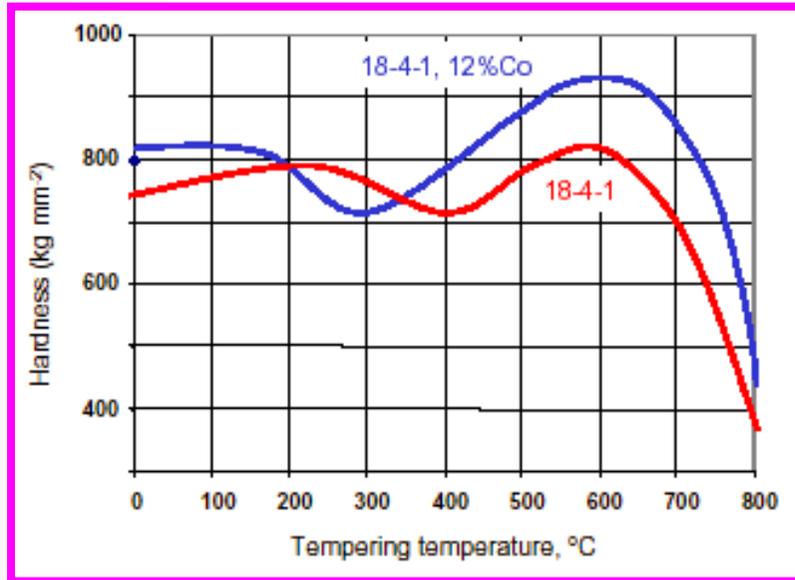


(4) 回火目的：主要为减少A'。消除内应力、稳定组织。

- 常用560℃三次回火。
- 回火时的组织变化：

- ① 析出W、Mo、V的碳化物，产生二次硬化。
- ② 碳及合金元素含量下降，Ms点上升，回火冷却时，A'转变为M。

❖ 每次回火加热都使前一次的淬火马氏体回火。

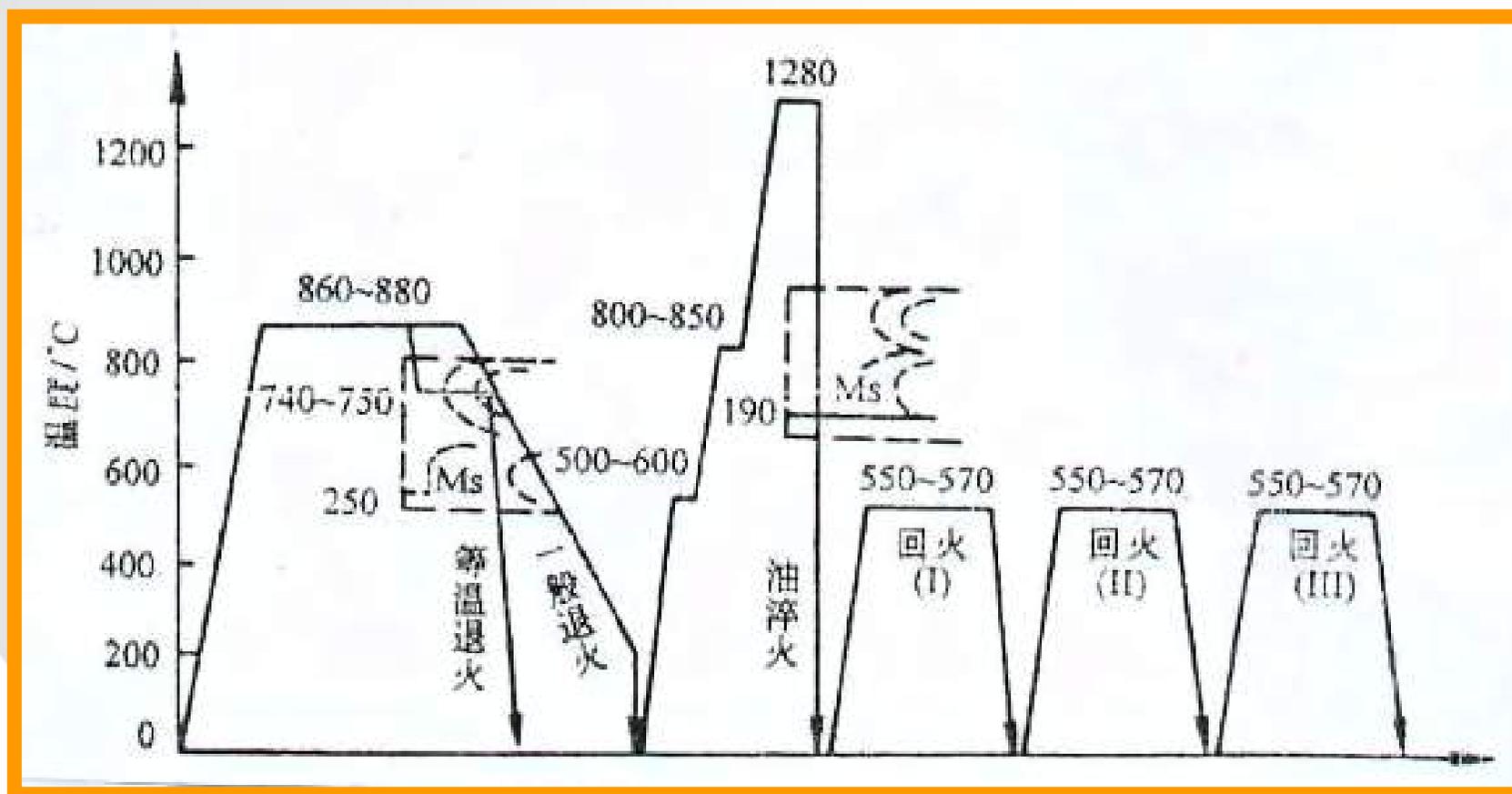


高速钢硬度与回火温度关系



## 第二节 合金钢

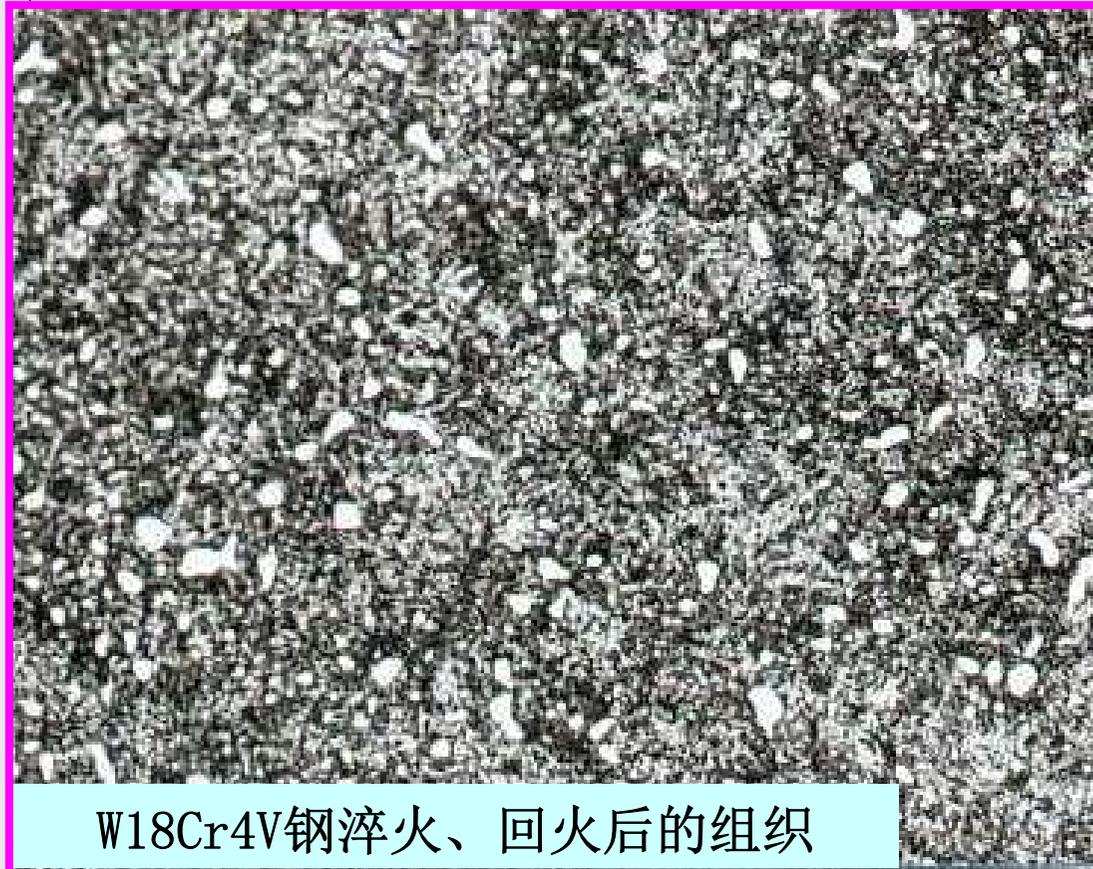
# W18Cr4V钢热处理工艺示意图



## 第二节 合金钢

### 4、使用状态下组织

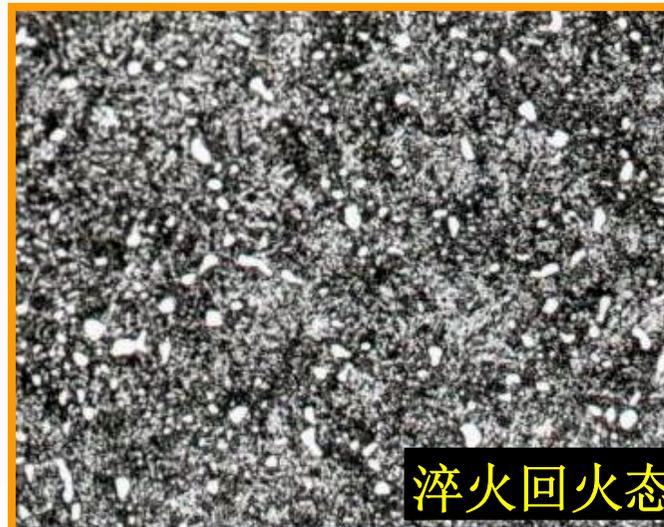
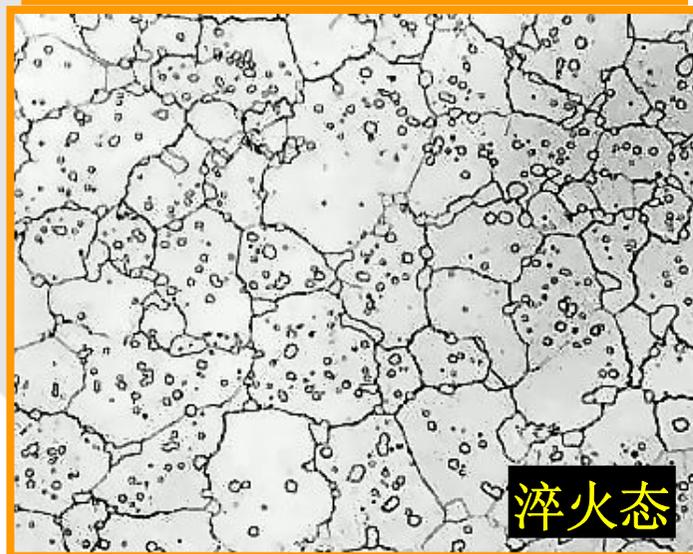
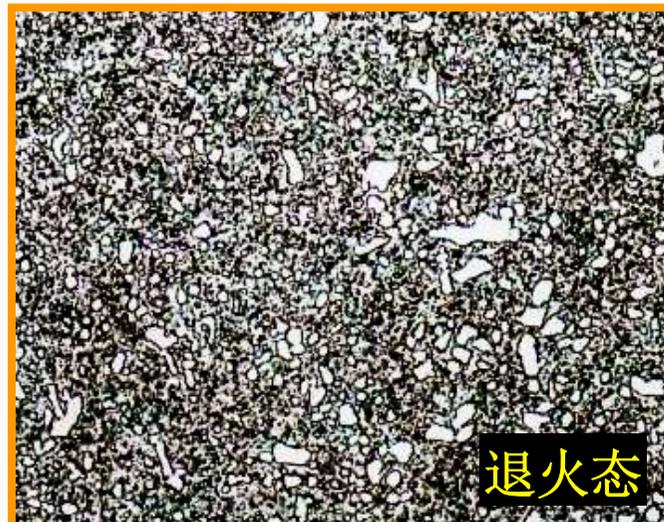
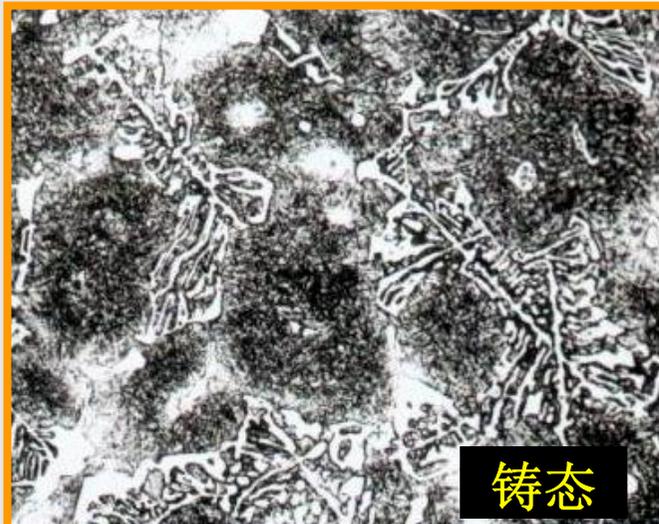
$M_{\text{回}}$ +颗粒状碳化物+A' (少量)





## 第二节 合金钢

### 不同状态下W18Cr4V的组织





## 第二节 合金钢

### 5、常用钢号及用途

- ❖ 常用钢号为W18Cr4V (18-4-1) 和W6Mo5Cr4V2 (6-5-4-2)。
- ❖ 用于高速切削刀具，如车刀、刨刀、铣刀、钻头。



高速钢铣刀



车刀



铣刀



钻头





## 第二节 合金钢

### (二)、模具钢

- ❖ 用以制造冷热模具的钢种。
- ❖ 一) 冷作模具钢
- ❖ 制造金属冷成型模具钢种。

#### 1、性能要求

- ❖ (1) 高硬度和耐磨性。
- ❖ (2) 足够的强度和韧性。
- ❖ (3) 良好的工艺性能（淬透性、切削加工性等）





## 第二节 合金钢

### 2、常用钢种

❖ (1) 小尺寸、形状简单、受力不大的模具，可用碳素工具钢和低合金工具钢制造。

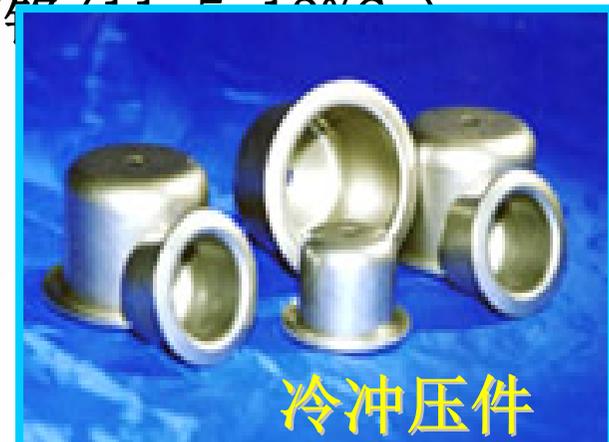
❖ (2) 截面、受力大的冷模具用Cr12型冷作模具钢制造。

● ① 成分特点：高碳(1.4-2.3%C)；高钨(11-18%W)

● 合金元素作用：

Cr 提高淬透性；

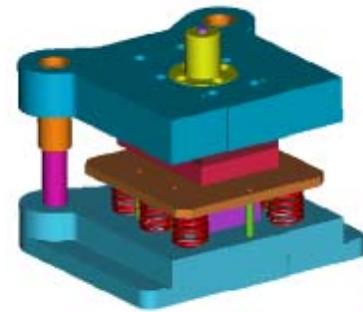
Mo、V 提高耐磨性，细化晶粒。



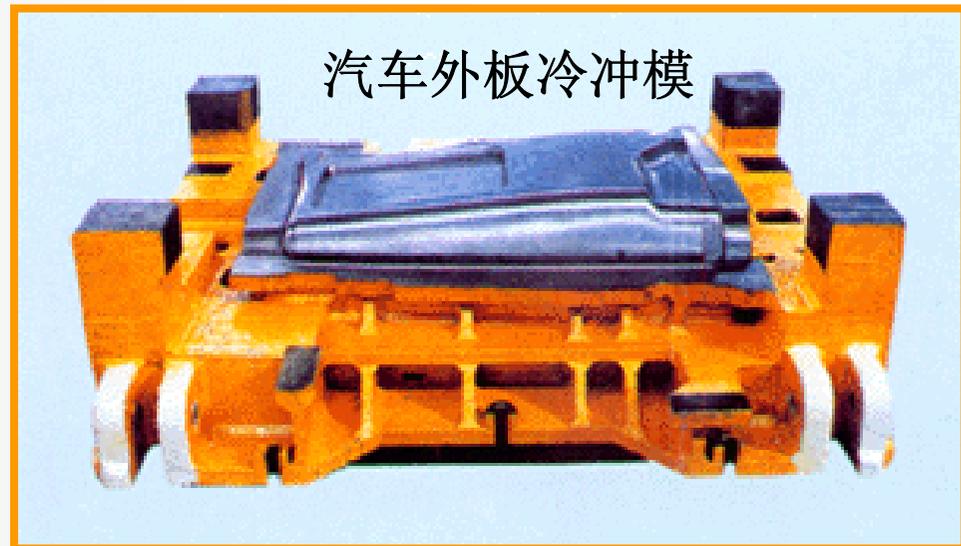
## 第二节 合金钢

② 加工及热处理：Cr12型模具钢也是莱氏体钢，需进行锻造、退火，目的同高速钢。

- 最终热处理为： 淬火+低温回火
- 使用状态下的组织： $M_{\text{回}}$ +颗粒状碳化物+A' (少量)
- ③ 常用钢号为Cr12和Cr12MoV。用于制造冷冲模、挤压模等。



冲压模具





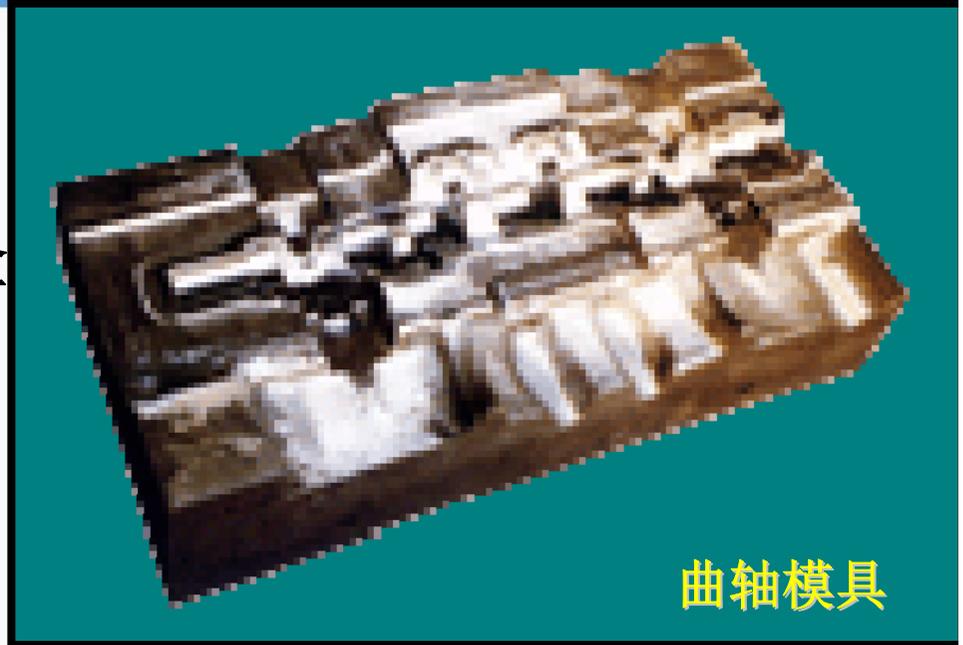
## 第二节 合金钢

### 二) 热作模具钢

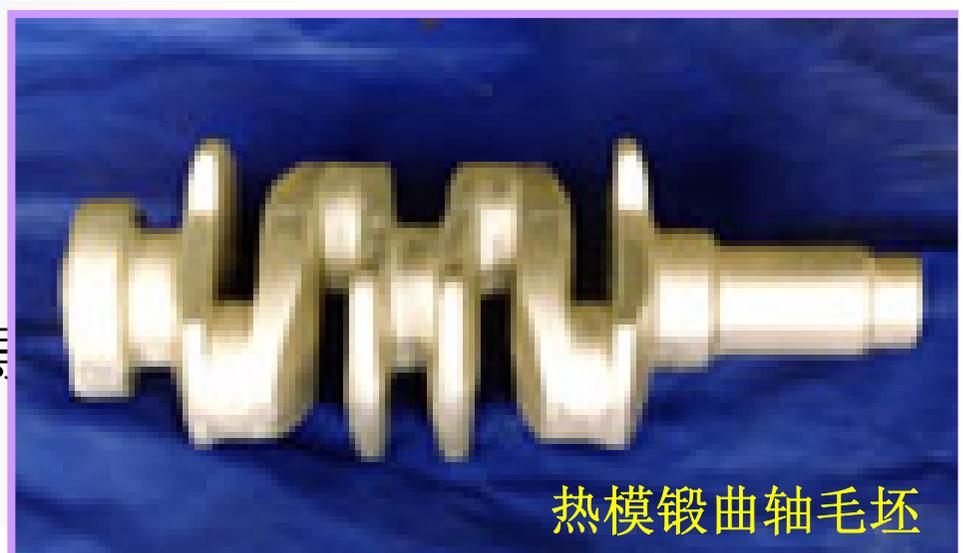
- ❖ 制造使加热金属或液态金属成型模具钢种。

#### 1、性能要求

- ❖ (1) 高温下良好的综合力学性能。
- ❖ (2) 抗热疲劳性能。
- ❖ (3) 高的淬透性和良好的导热性。



曲轴模具



热模锻曲轴毛坯



## 第二节 合金钢

### ❖ 2、常用钢种

#### ❖ (1) 热锻模钢

5CrNiMo、5CrMnMo

❖ 前者用于大型热锻模，后者

用于中小型热锻模。

❖ 成分特点、合金元素作用及热处理同调质钢。

❖ 使用状态下的组织： $S_{回}$



热锻模



凸缘模

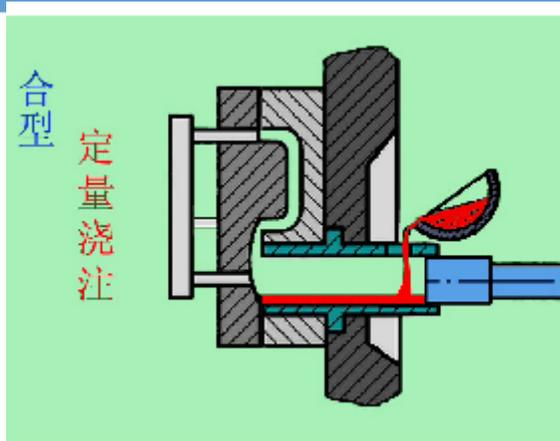
## 第二节 合金钢

### (2) 压铸模钢

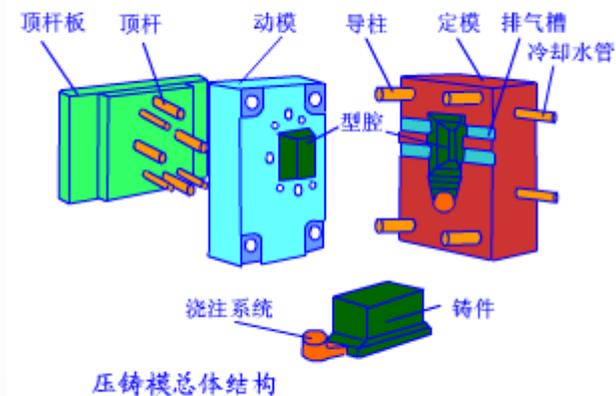
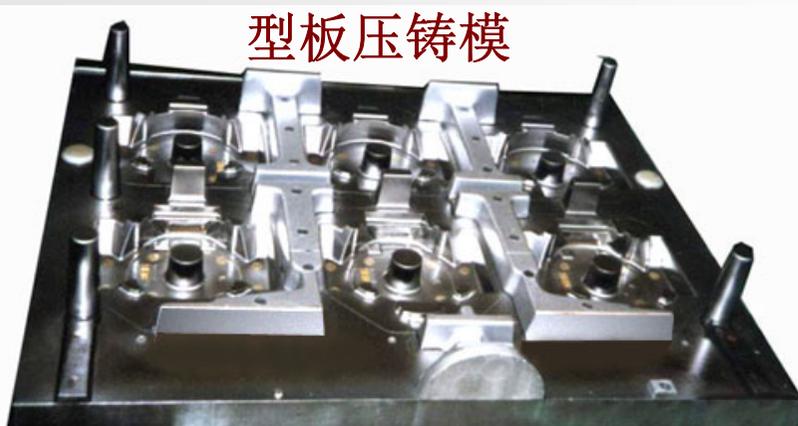
- ❖ 典型钢号是3Cr2W8V，为过共析钢。
- ❖ 中碳(0.3-0.4%C)，合金元素作用同高速钢。W、Cr提高抗热疲劳性能。

### ❖ 淬火+回火后组织:

$M_{\text{回}}$ +颗粒状碳化物+A'(少量)



压铸工艺

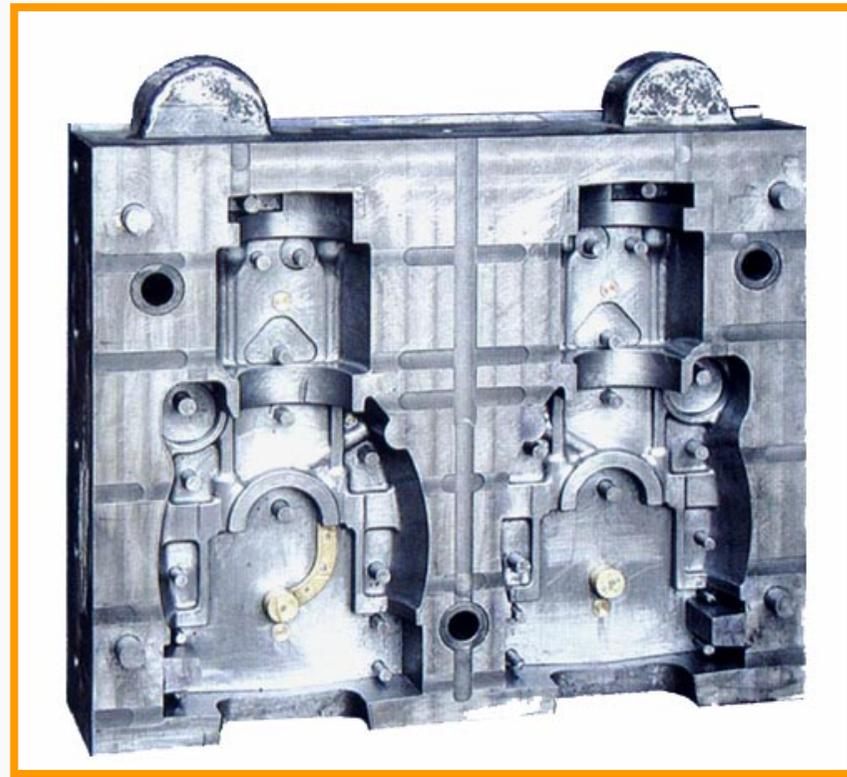
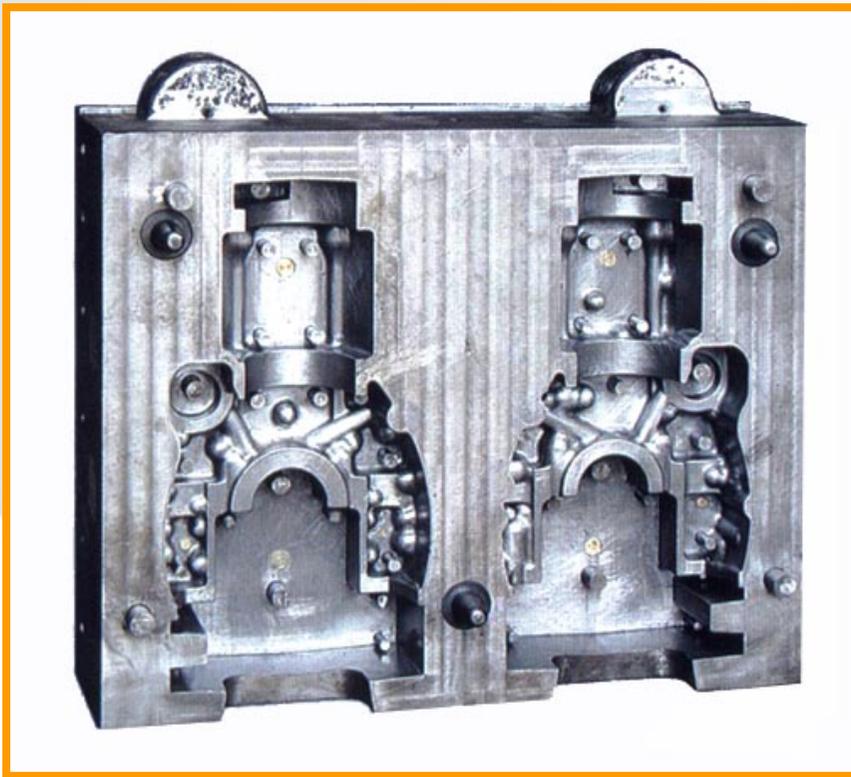


压铸模具



## 第二节 合金钢

### 汽车四缸压铸模

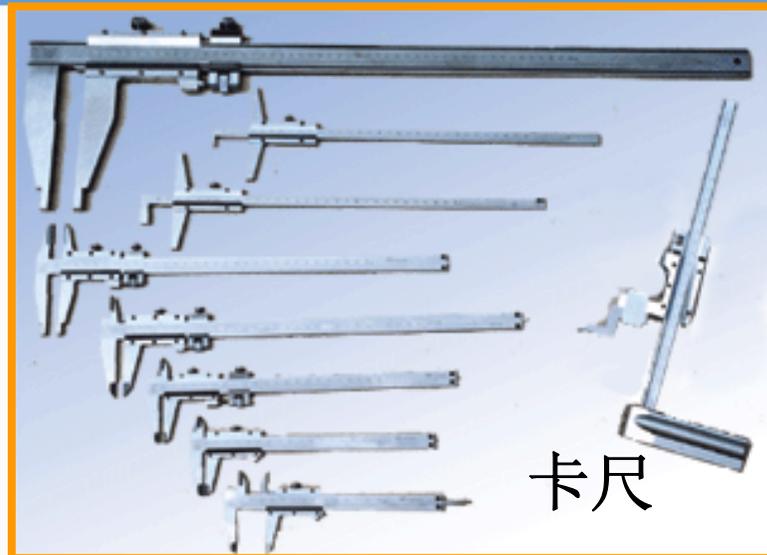




## 第二节 合金钢

### (三)、量具钢

制造各种量具用钢。如  
千分尺、卡尺、块规、  
塞规等。



卡尺



塞规



千分尺



## 第二节 合金钢

### 1、性能要求

量具在使用过程中与被测零件接触，承受摩擦和冲击。

- ❖ (1) 高硬度和耐磨性。
- ❖ (2) 高的尺寸稳定性。
- ❖ (3) 足够的韧性。

矩形花键  
环规、塞规



渐开线花键环规、  
塞规



光面量规

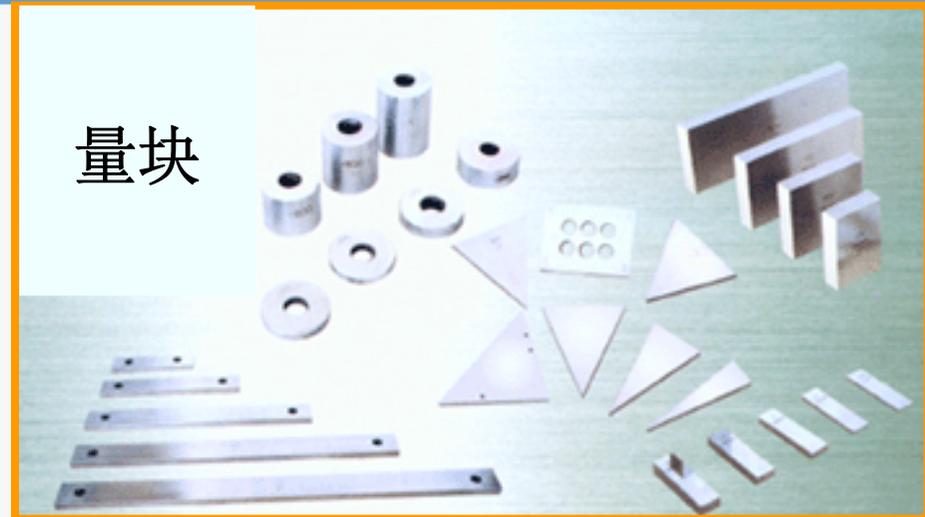




## 第二节 合金钢

### 2、量具用钢

- ❖ (1) 低碳钢渗碳、中碳钢表面淬火
- ❖ (2) 碳素工具钢、低合金工具钢两者用于尺寸小、形状简单、精度要求不高的量具。



量块



電子卡尺

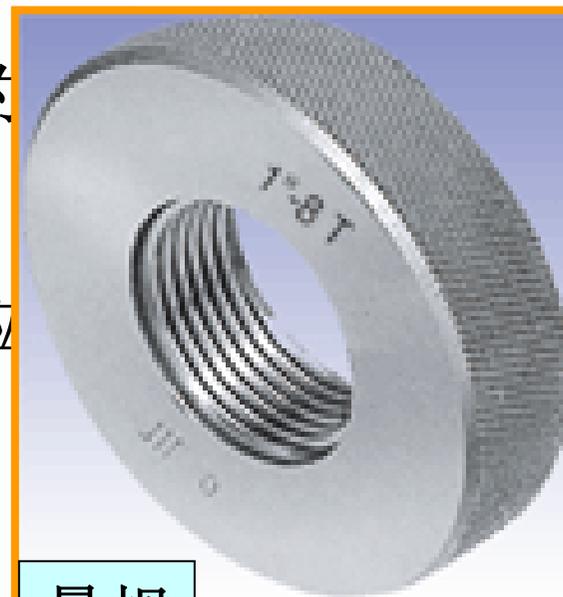
- (3) 滚动轴承钢、冷作模具钢。用于制造精密量具。
- (4) 不锈钢用于制造接触腐蚀介质的量具。



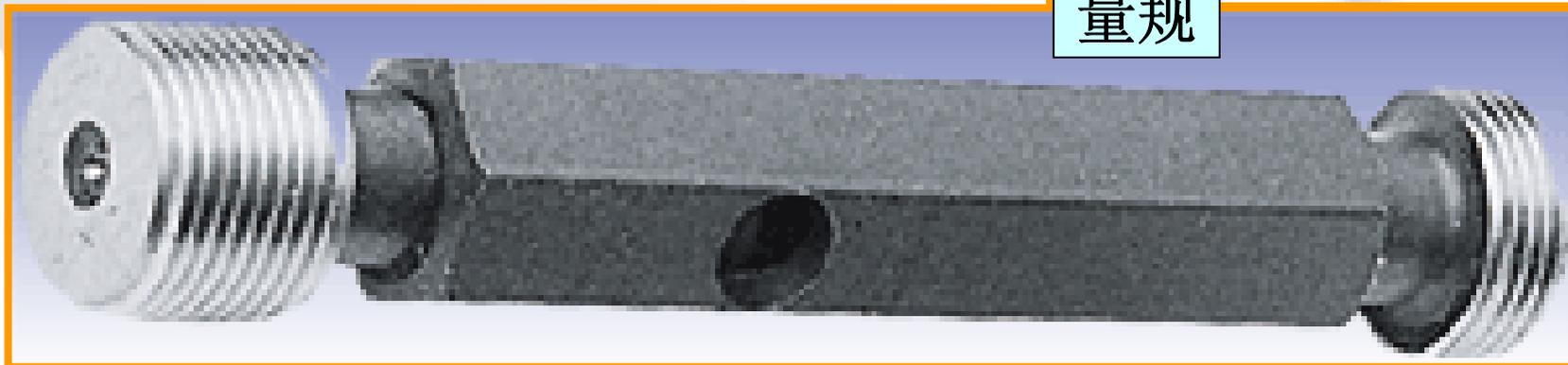
## 第二节 合金钢

### 3、量具钢的热处理特点

- ❖ (1) 淬火前预备热处理采用球化退火或调质处理。
- (2) 下限温度淬火及冷处理。目的是减少A'。
- (3) 长时间低温时效，以消除内应力，降低马氏体的正方度。



量规





## 第二节 合金钢

### 五、特殊性能钢

特殊性能钢是指具有特殊物理、化学性能的钢。本节只介绍不锈钢、耐热钢和耐磨钢。





## 第二节 合金钢

### (一)、不锈钢

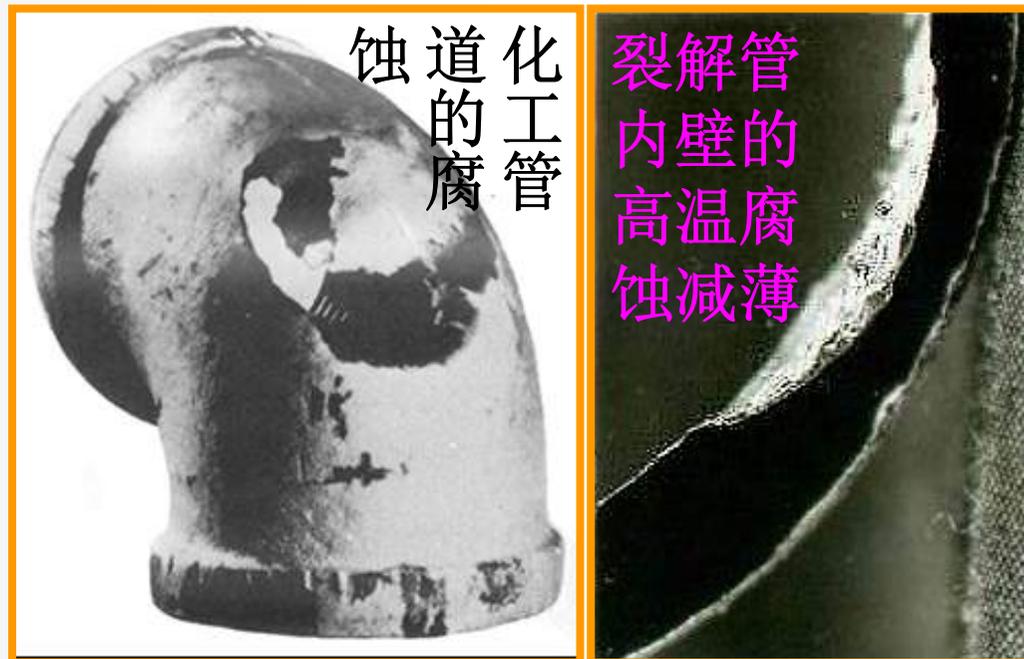
在腐蚀介质中具有耐蚀性能的钢。

#### 1、金属的腐蚀

- 金属的腐蚀分**化学腐蚀**和**电化学腐蚀**。

❖ **化学腐蚀**是指金属在非电解质中的腐蚀。

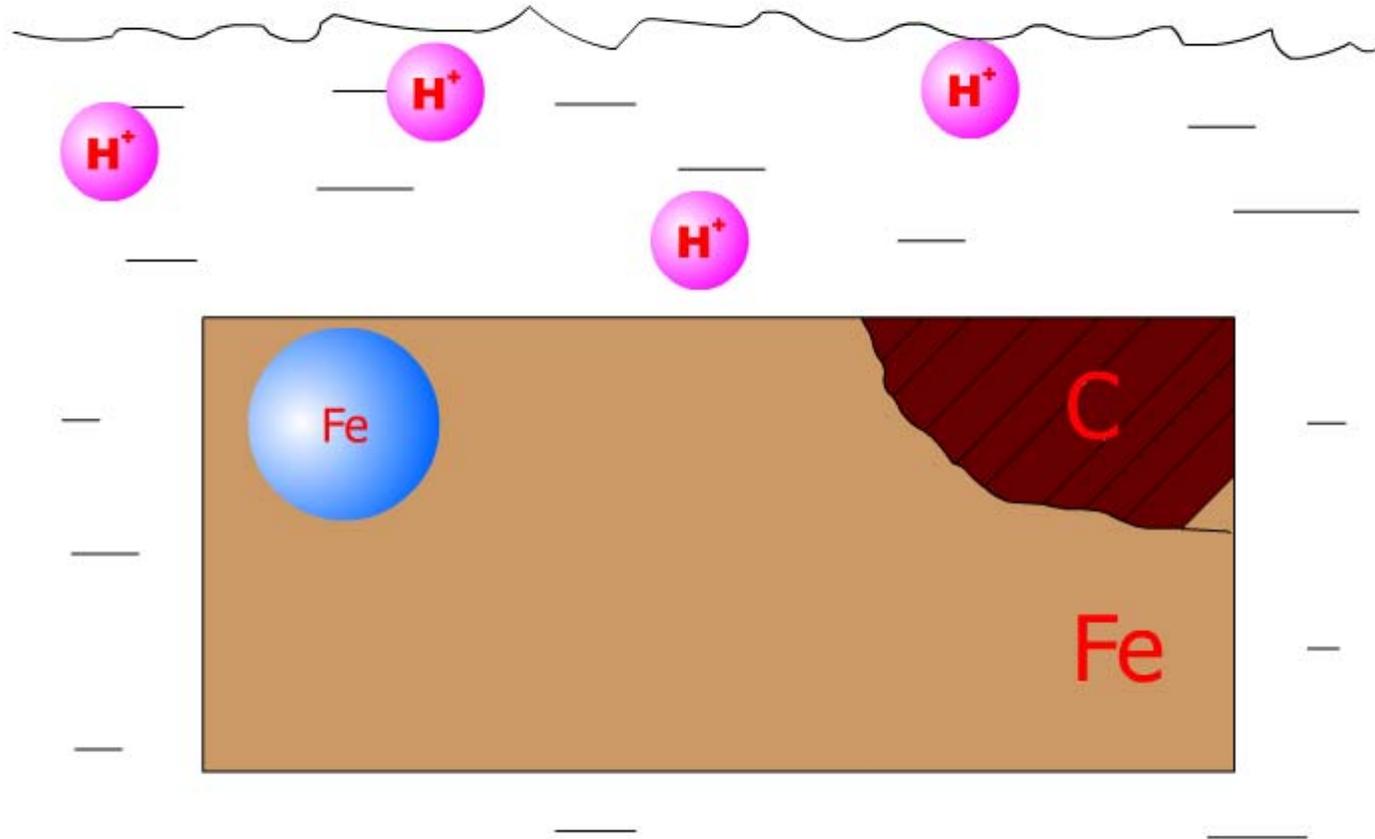
❖ **电化学腐蚀**是指金属在电解质溶液中的腐蚀，是有电流参与作用的腐蚀。





## 第二节 合金钢

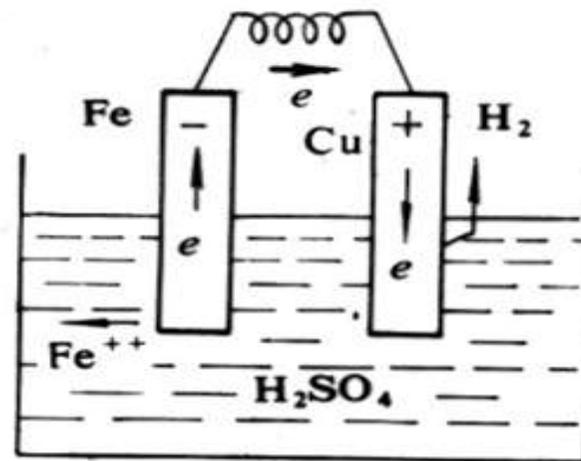
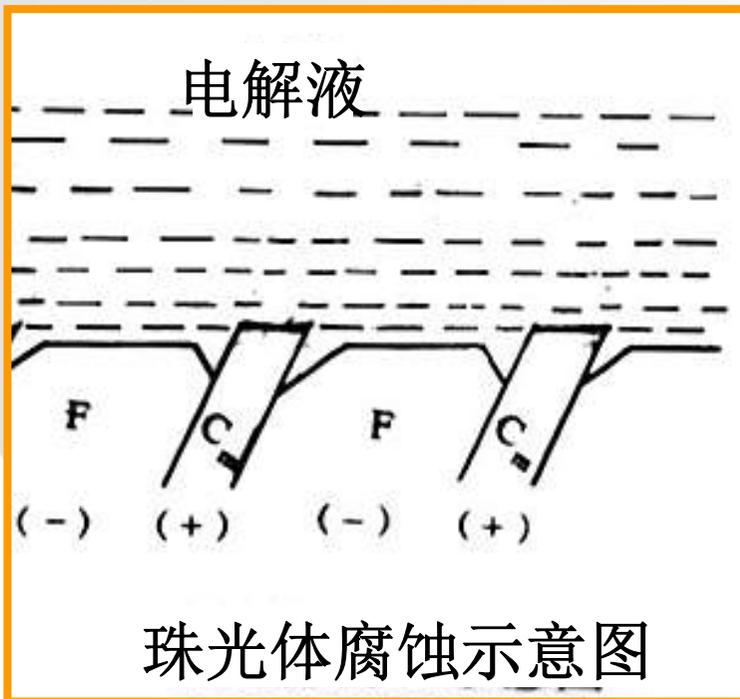
❖ 不同组织、成分、应力区域之间都可构成微电池。



## 第二节 合金钢

防止电化学腐蚀的措施：

- ❖ ① 获得均匀的单相组织。
- ❖ ② 提高合金的电极电位。
- ❖ ③ 使表面形成致密的钝化膜。



Zn-Cu原电池示意图

工业发达国家每年金属腐蚀造成的直接经济损失占GNP的4%左右。中国每年腐蚀的损失至少到400亿元以上。



## 第二节 合金钢

### 2、不锈钢中合金元素的作用

- (1)、低碳：碳高，则降低耐蚀性。
- (2)、Cr：是提高耐蚀性的主要元素
  - ❖ ① 形成稳定致密的 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 氧化膜。
  - ❖ ② Cr含量大于13%时，形成单相铁素体组织。
  - ❖ ③ 提高基体电极电位
- (3)、Ni：获得单相奥氏体组织。
- (4)、Mo：耐有机酸腐蚀。
- (5)、Ti, Nb：防止奥氏体钢晶间腐蚀。

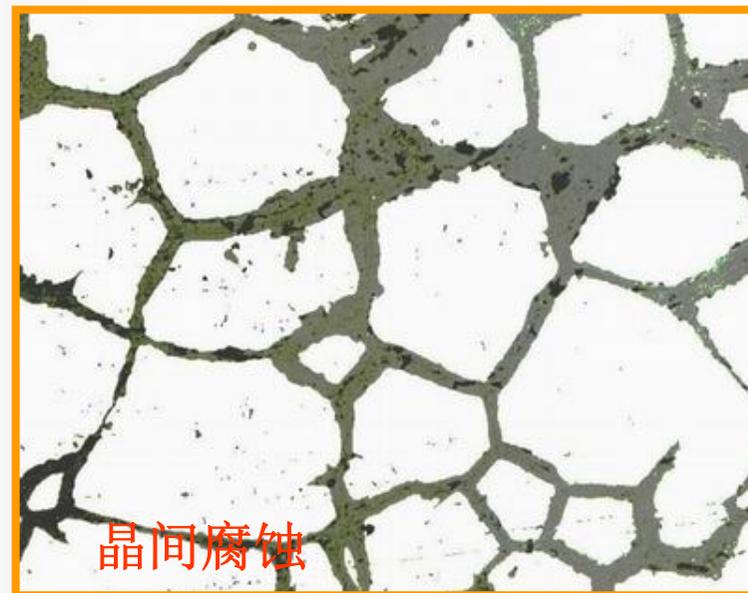
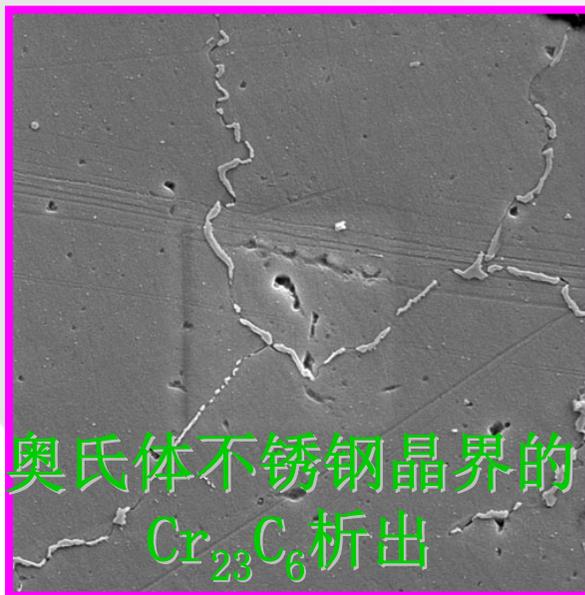




## 第二节 合金钢

**晶间腐蚀**是沿晶粒周界发生腐蚀的现象，危害很大。

- ❖ 它是由于 $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ 析出于晶界，使晶界附近Cr含量降到12%以下，在介质作用下发生强烈腐蚀。
- ❖ 加 Ti、Nb则先于Cr与C形成不易溶于奥氏体的碳化物，避免晶界贫Cr。





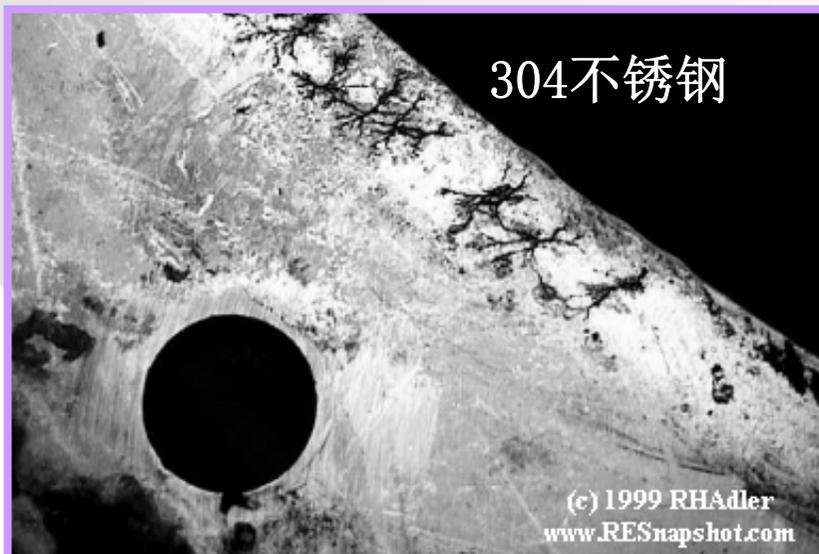
## 第二节 合金钢

# 晶间腐蚀破坏

消防栓



齿轮架





## 第二节 合金钢

### 3、常用不锈钢

#### (1)、马氏体不锈钢

❖ 主要是Cr13型不锈钢

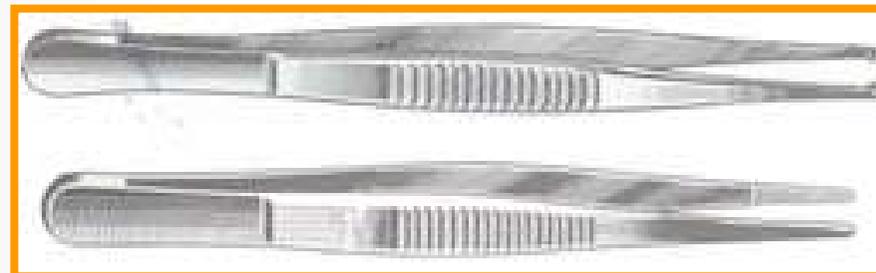
钢号为1Cr13-4Cr13

❖ 随含碳量提高，强度、硬度提高，耐蚀性下降。

❖ ① 1Cr13、2Cr13

❖ 热处理：淬火+高温回火

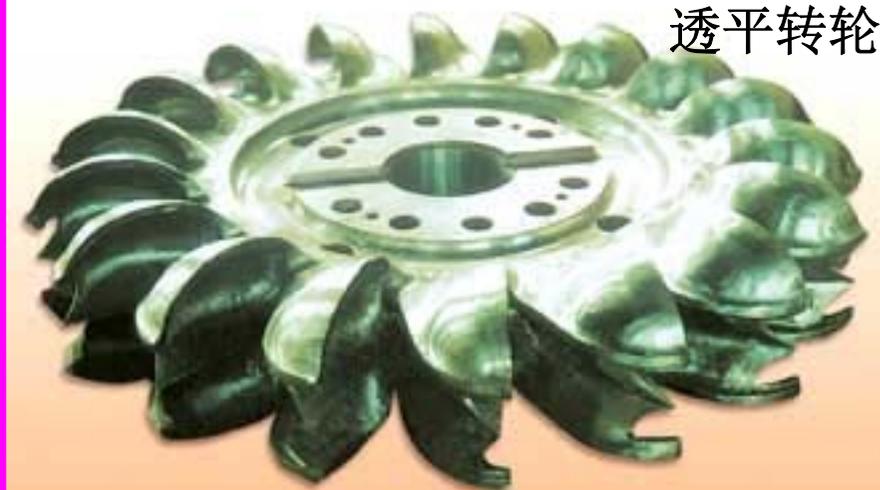
❖ 使用状态下的组织： $S_{回}$





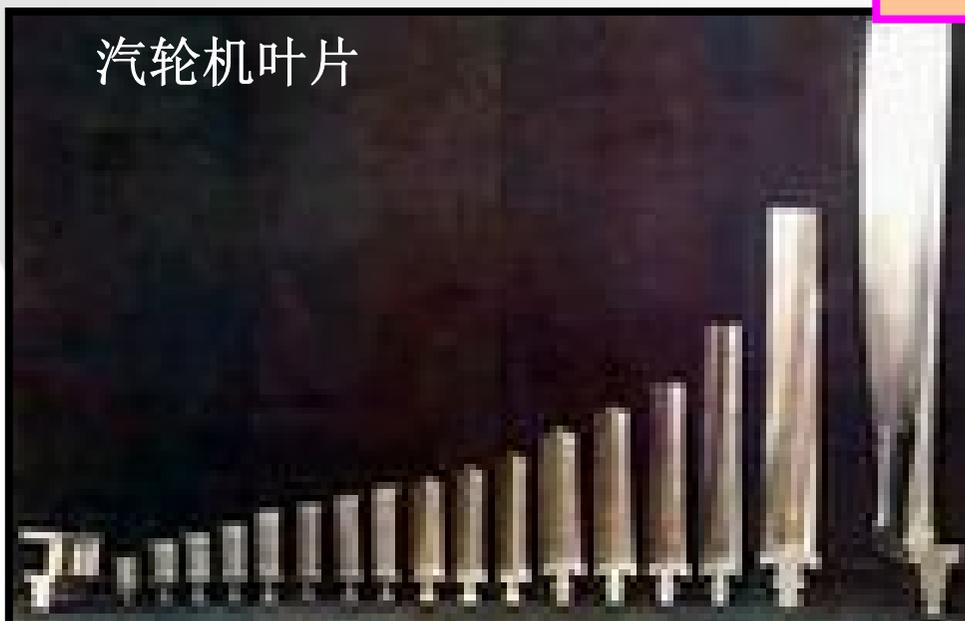
## 第二节 合金钢

- ❖ 1Cr13、2Cr13具有耐大气、蒸汽腐蚀能力及良好的综合力学性能。



透平转轮

汽轮机叶片



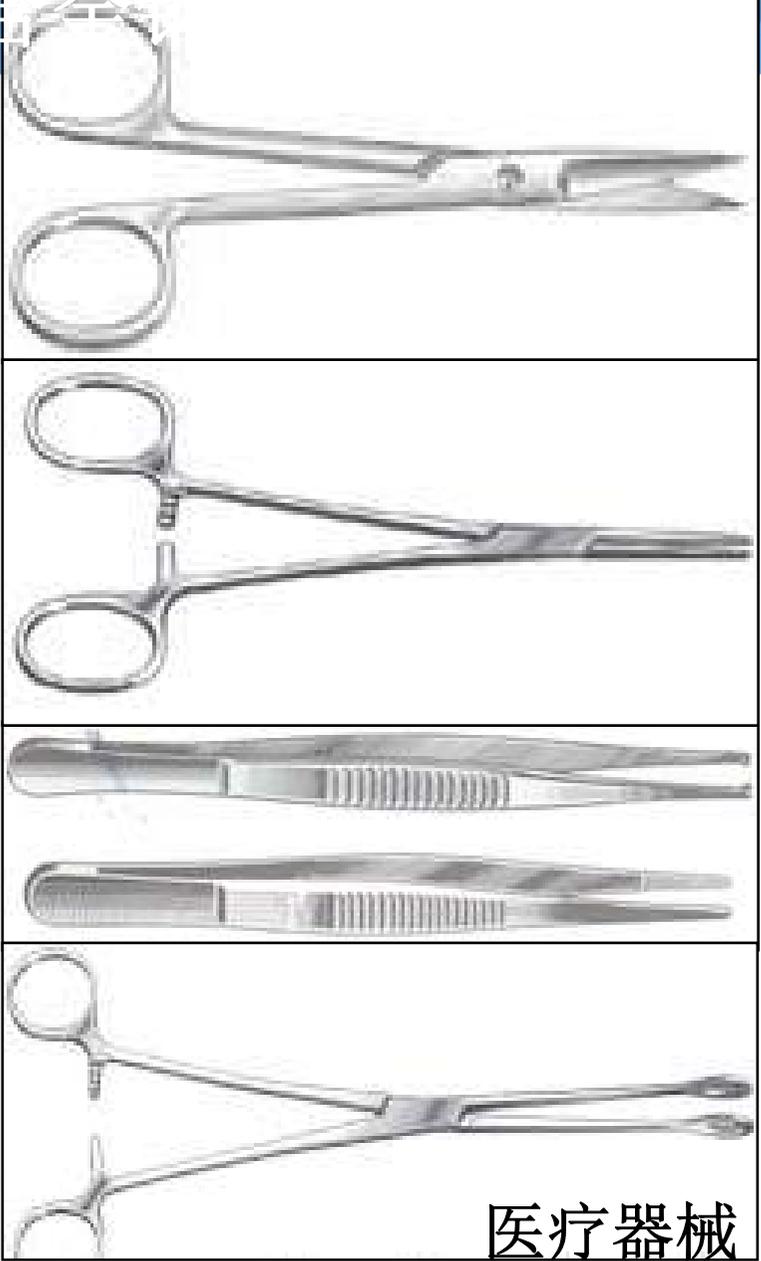
用于要求塑韧性较高的耐蚀件，如汽轮机叶片等。



## 第二节 合金钢

### ②3Cr13、4Cr13

- ❖ 热处理：淬火+低温回火。
- ❖ 使用状态下的组织： $M_{回}$ 。
- ❖ 具有较高强度、硬度。
- ❖ 用于要求耐蚀、耐磨件，医疗器械、量具等。



医疗器械



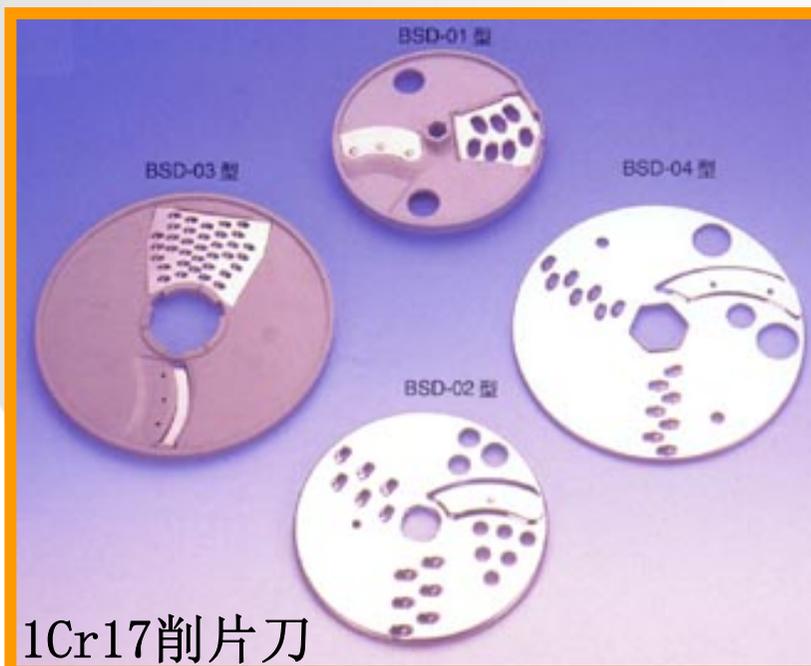
## 第二节 合金钢

### (2)、铁素体不锈钢

- ❖ 典型钢号如0Cr13、1Cr17等。
- ❖ ① 成分：高铬低碳



铁素体不锈钢水加热器



1Cr17削片刀

- ②无  $\alpha \leftrightarrow \gamma$  相变，不能进行热处理强化。
- ③ 组织：单相铁素体

## 第二节 合金钢

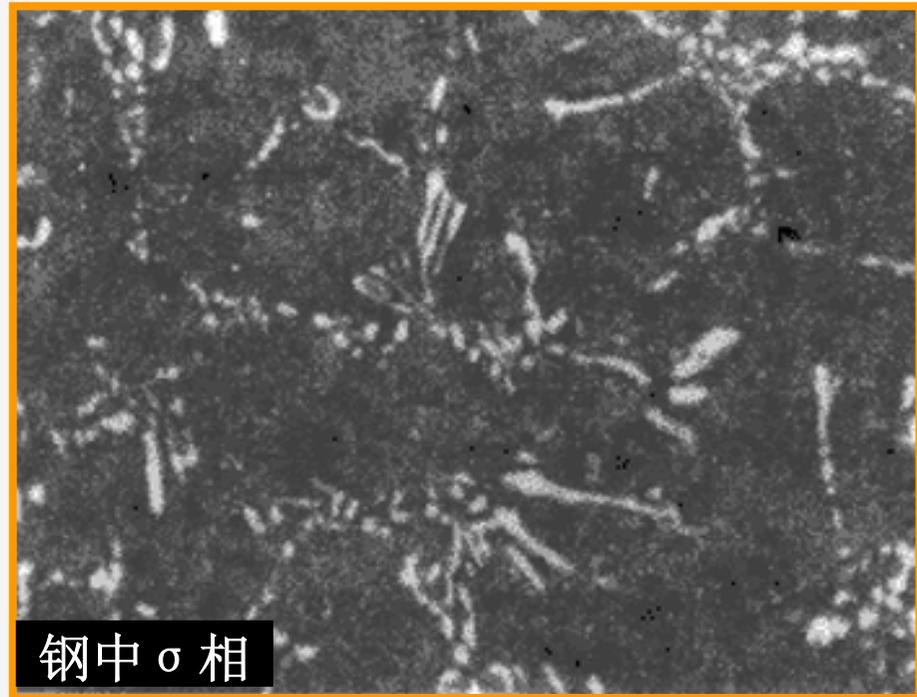
### ❖ ④ 性能特点

- ❖ 耐酸蚀，抗氧化能力强，塑性好。但有脆化倾向：
- ❖ ① 475℃脆化：加热到450–550℃停留，产生脆化。

再加热到600℃快冷可消除。

- ②  $\sigma$ 相脆化：

在600– 800℃长期加热时，析出硬而脆的 $\sigma$ 相。





## 第二节 合金钢

### ⑤用途

- ❖ 广泛用于硝酸和氮肥工业的耐蚀件。



合成氨厂





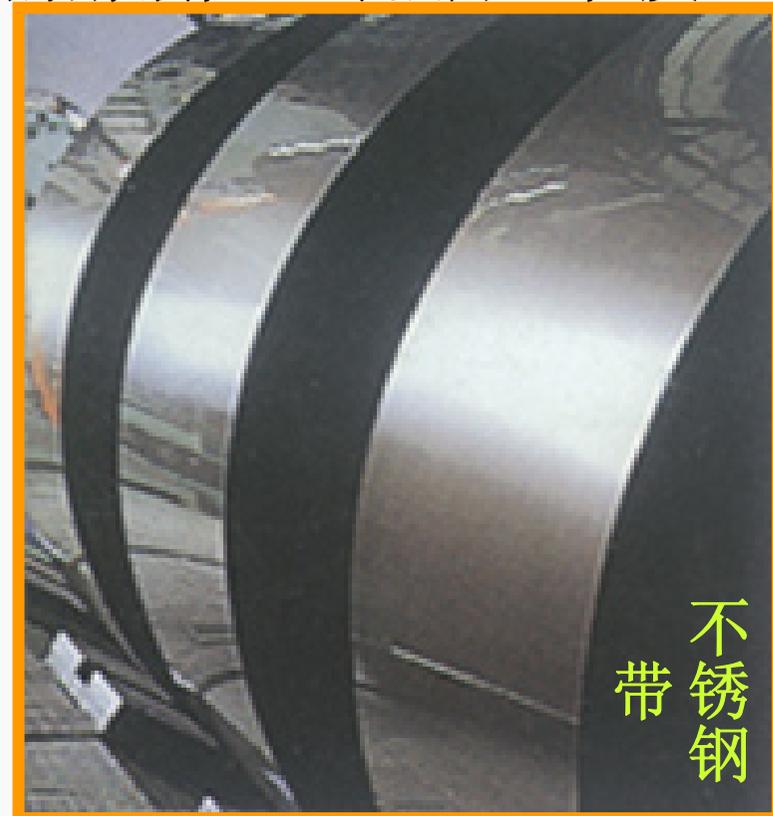
## 第二节 合金钢

### (3)、奥氏体不锈钢

❖ 主要是18-8 (18Cr-8Ni) 型不锈钢。

❖ (1) 性能特点：具有良好的耐蚀性，冷热加工性及

- 可焊性。高的塑韧性, 无磁性。
- (2) 热处理：采用固溶处理。即加热到1100℃使碳化物溶解后水冷。
- 组织为单相奥氏体。



不锈钢带



## 第二节 合金钢

### (3) 常用钢种

- ❖ 为1Cr18Ni9、1Cr18Ni9Ti
- ❖ 广泛用于化工设备及管道。

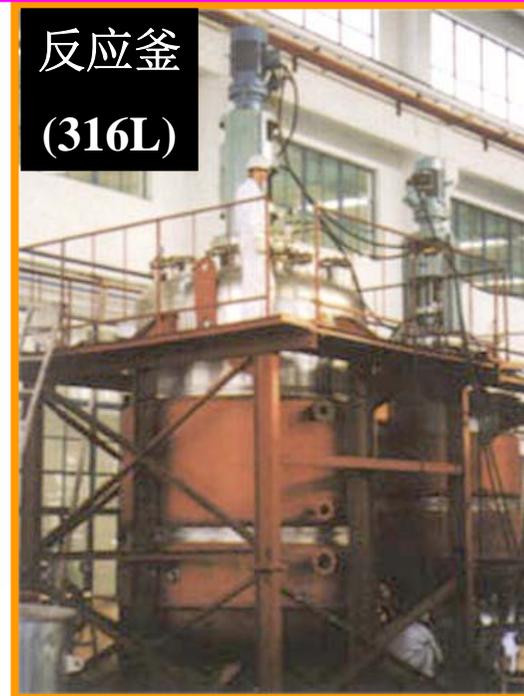
热交换器(316L)



大型化工储罐(304)



反应釜  
(316L)





## 第二节 合金钢

### (4) 应力腐蚀

- ❖ 奥氏体不锈钢易发生应力腐蚀。即在特定合金-环境体系中，应力与腐蚀共同作用引起的破坏。应力腐蚀易在含  $\text{Cl}^-$  的介质中发生，裂纹为树枝状。





## 第二节 合金钢

### (二)、耐热钢

#### 1、性能要求

- ❖ (1)、高的抗氧化性:
- ❖ 指钢在高温下对氧化作用的抗力。
- ❖ 钢中加入Cr、Si、Al可形成致密稳定的氧化膜，阻碍氧进一步扩散，提高抗氧化性。





## 第二节 合金钢

### (2)、高的热强性

- ❖ 热强性是指金属在高温下的强度。
- ❖ 指标为蠕变强度和持久强度。
- ❖ 蠕变指金属在高温低于 $\sigma_s$ 的应力下所发生的极其缓慢的塑性变形。

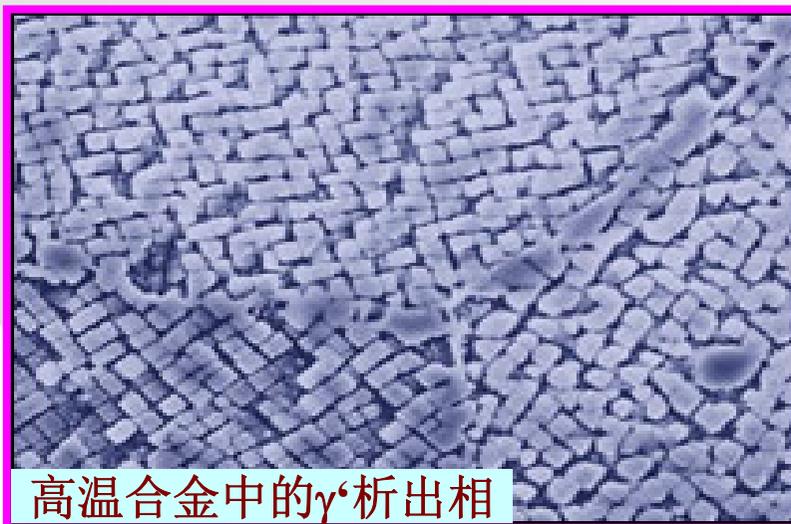




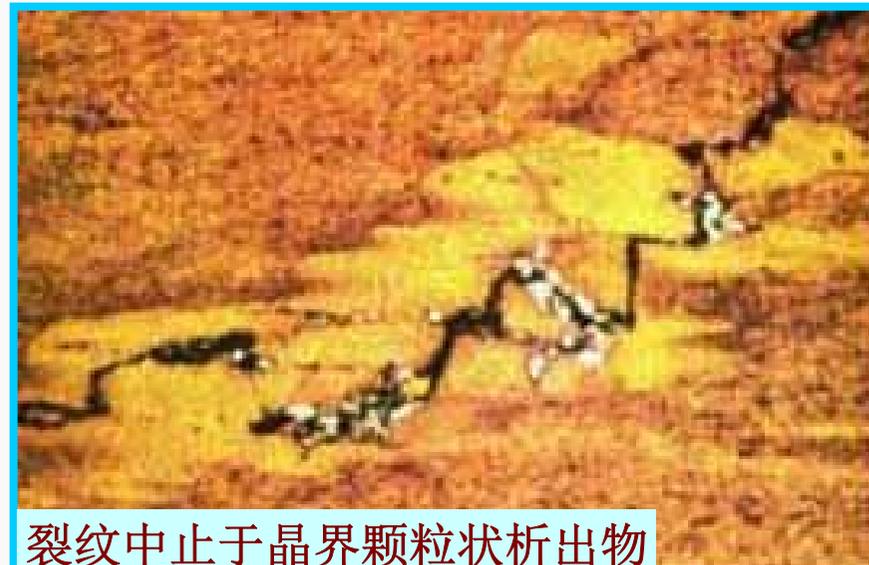
## 第二节 合金钢

提高高温强度的途径:

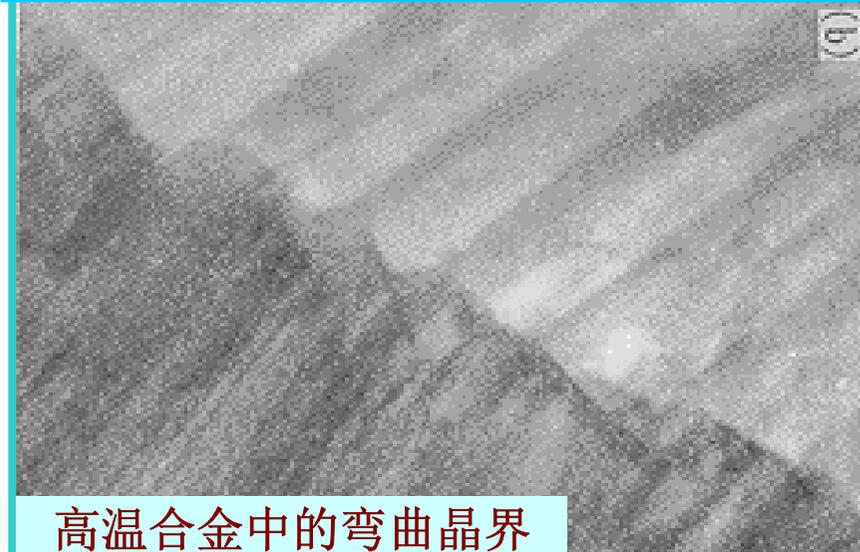
- ❖ ① 固溶强化;
- ❖ ② 析出强化;
- ❖ ③ 晶界强化(加入B、Zr等降低晶界能量)



高温合金中的 $\gamma'$ 析出相



裂纹中止于晶界颗粒状析出物



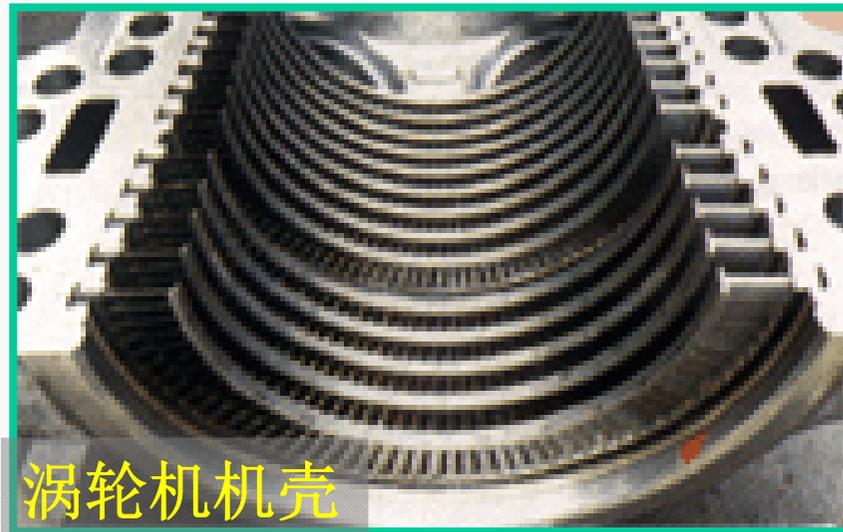
高温合金中的弯曲晶界



## 第二节 合金钢

### 2、常用耐热钢

- ❖ (1)、珠光体耐热钢
- ❖ 常用钢号为15CrMo、12Cr1MoV，是低合金钢。
- ❖ ① 合金元素作用：
  - ❖ Cr提高抗氧化性；
  - ❖ Mo提高热强性；
  - ❖ V弥散强化。



涡轮机机壳



钢制法兰



## 第二节 合金钢

② 热处理:

正火+高温回火

③ 组织: F+P

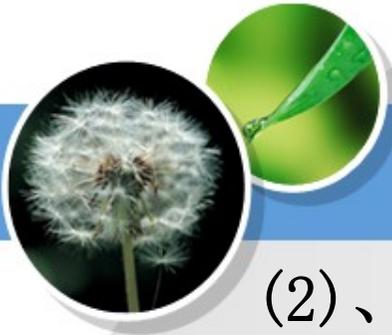
锅炉管



烟管式锅炉



- ④ 用途: 600℃以下的锅炉零件, 压力容器, 热交换器等。



## 第二节 合金钢

### (2)、马氏体耐热钢

❖ 常用钢号为1Cr13、  
1Cr11MoV、4Cr9Si2

#### ① 合金元素作用：

❖ Cr、Si提高抗氧化性；

❖ Mo提高热强性；

❖ V弥散强化。

②热处理：调质。

③组织： $S_{回}$ 。





## 第二节 合金钢

- ❖ ④用途：1Cr13、1Cr11MoV用于550℃以下汽轮机叶片；
- ❖ 4Cr9Si2是汽车阀门用钢。





## 第二节 合金钢

### (3)、奥氏体耐热钢

最典型钢号是1Cr18Ni9Ti。

- ❖ Cr的作用是提高抗氧化性；
- ❖ Ni的作用是获得单相奥氏体；
- ❖ Ti的作用是弥散强化。
- ❖ 热处理采用固溶处理
- ❖ 组织为单相A。
- ❖ 主要用于过热器管道等。



过热器管排



过热器集箱

## 第二节 合金钢

### (三)、耐磨钢 ( wear-resistant steel )

1、定义:在强烈冲击载荷作用下发生冲击形变硬化的高锰钢。



球磨机



颚式破碎机



挖掘机

2、性能要求:高硬度、耐磨性、韧性。



## 第二节 合金钢

- 化学成分特点：  
高碳  $W_c = 1 \sim 1.3 \%$   
高锰  $W_{Mn} = 11 \sim 14 \%$
- 热处理特点：水韧处理。
- 室温组织：过饱和单相奥氏体。

### 水韧处理的工艺特征

铸态组织高锰钢

加热到  $1050 \sim 1100^\circ\text{C}$

A + Cm

A

水淬

A

受到剧烈冲击或较大压力

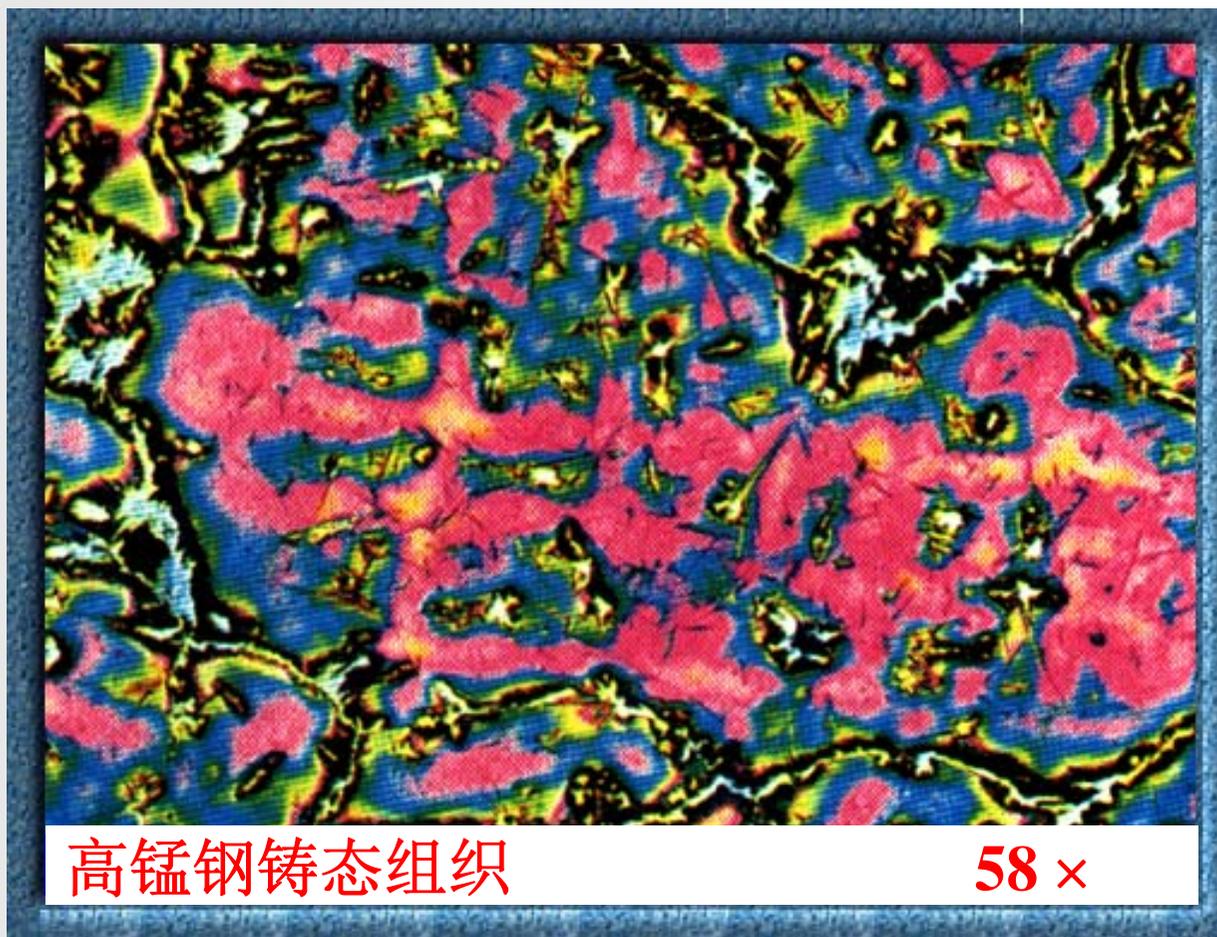
表层M  
HB500

心部A  
HB220



## 第二节 合金钢

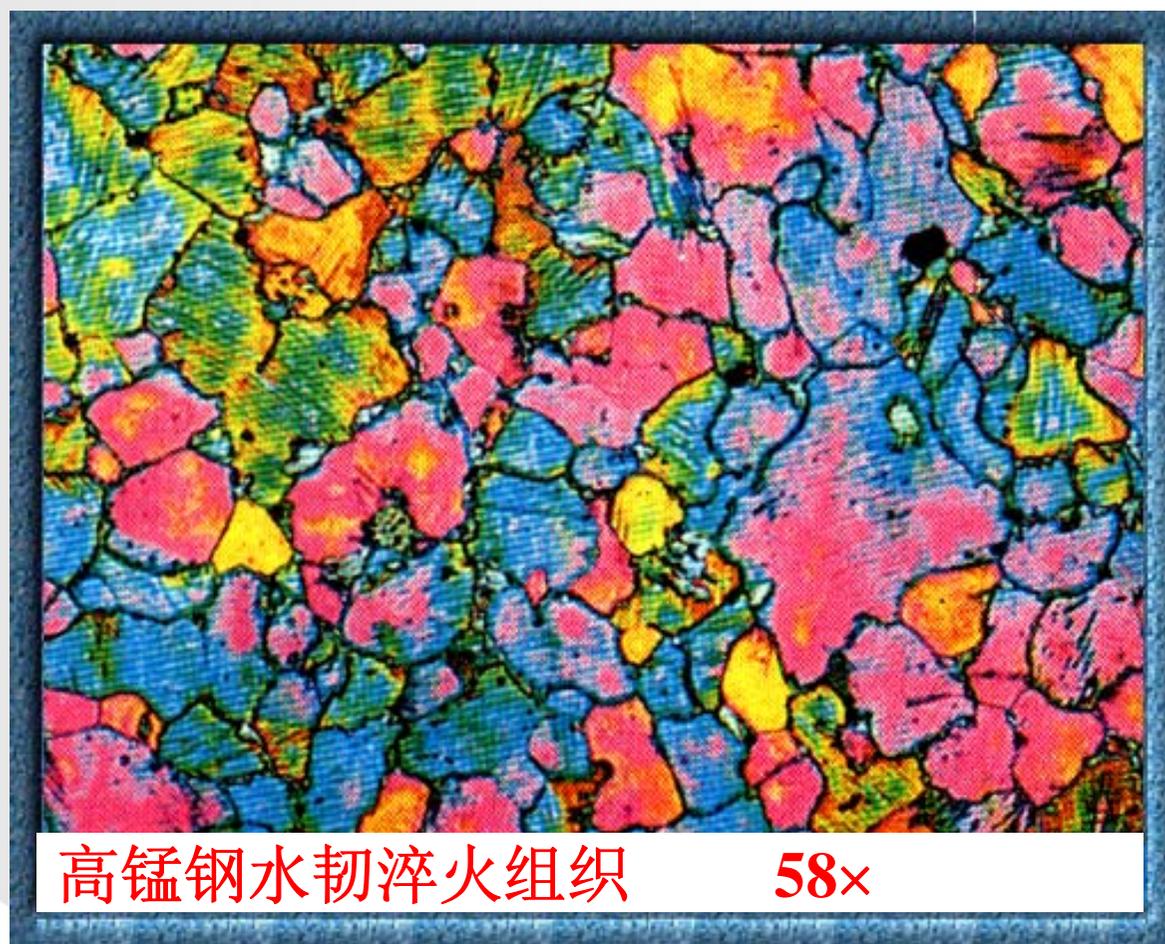
# 高锰钢铸态组织





## 第二节 合金钢

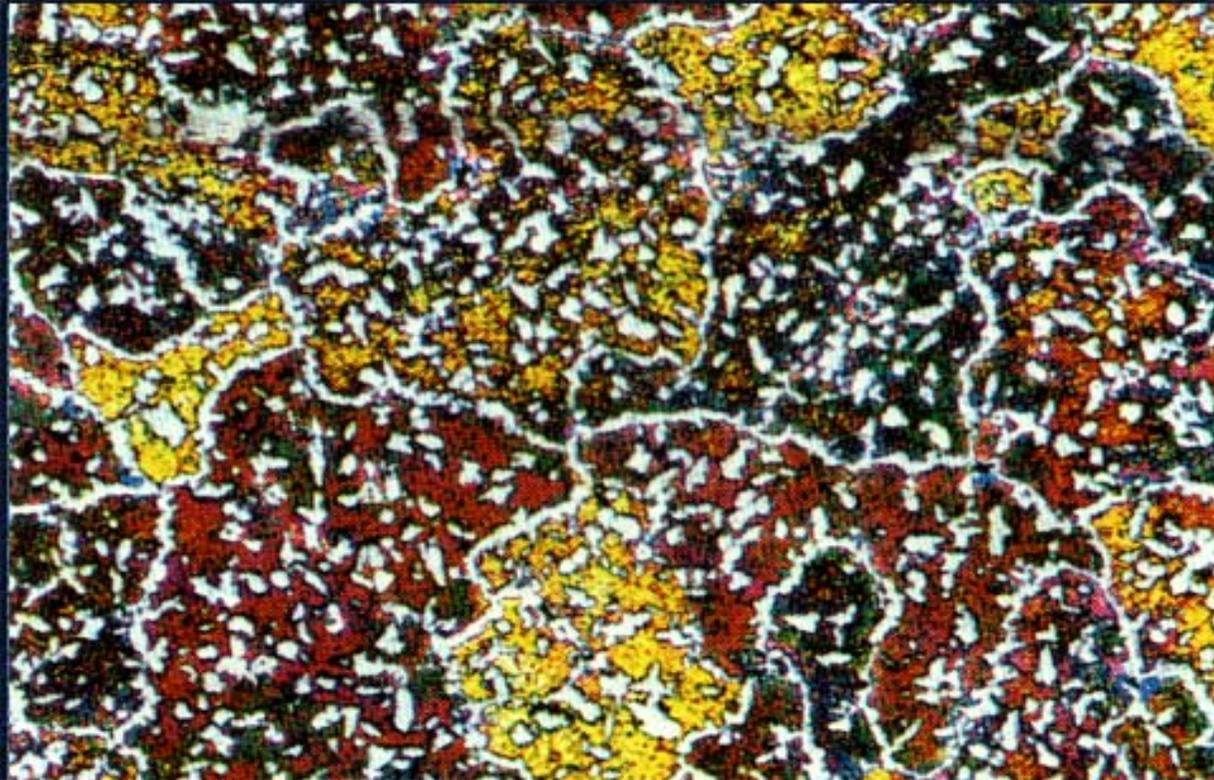
# 高锰钢水韧淬火组织金相图





## 第二节 合金钢

### 高锰钢水韧淬火+回火组织金相图



高锰钢水韧淬火+回火组织 105 ×

## 第二节 合金钢

### 5、牌号

**ZG Mn13 - 1**

一号铸造高锰钢

锰含量 $W_{Mn} \approx 13\%$

铸钢



## 第二节 合金钢

高锰钢广泛用于既要求耐磨又要求耐冲击的零件。如拖拉机的履带板、球磨机的衬板、破碎机的牙板、挖掘机的铲齿、铁路的道岔、保险箱和防弹钢板等。



铁路道岔



挖掘机铲齿



球磨机衬板



履带

钢 号	钢 种	合金元素的主要作用	热处理特点	使用状态下组织
<b>Q345</b>	低合金高强度结构钢	<b>Mn</b> :强化F, 增加P量, 降低冷脆转变温度	热轧空冷	<b>F+P</b>
<b>65Mn</b>	弹簧钢	<b>Mn</b> :提高淬透性, 强化F	淬火+中温回火	<b>T<sub>回</sub></b>
<b>ZGMn13</b>	耐磨钢	<b>Mn</b> :获得单相A组织	水韧处理	表: <b>M+碳化物</b> 心: <b>A</b>
<b>20Cr</b>	渗碳钢	<b>Cr</b> :提高淬透性, 强化F	渗碳+淬火+低温回火	表: <b>M<sub>回</sub>+颗粒状碳化物+A'</b> 心: <b>M<sub>回</sub>+F</b>
<b>40Cr</b>	调质钢	<b>Cr</b> :提高淬透性, 强化F	调质处理	<b>S<sub>回</sub></b>
<b>9SiCr</b>	低合金工具钢	<b>Cr</b> :提高淬透性	淬火+低温回火	<b>M<sub>回</sub>+颗粒状碳化物+A'</b> (少量)
<b>GCr15</b>	滚动轴承钢	<b>Cr</b> :提高淬透性, 耐磨性、耐蚀性	淬火+低温回火	<b>M<sub>回</sub>+颗粒状碳化物+A'</b> (少量)
<b>1Cr13</b>	马氏体不锈钢	<b>Cr</b> :提高耐蚀性	淬火+高温回火	<b>S<sub>回</sub></b>
<b>5CrNiMo</b>	热作模具钢	<b>Cr、Ni</b> :提高淬透性, 强化F <b>Mo</b> :防止高温回火脆性	淬火+高温回火	<b>S<sub>回</sub></b>
<b>Cr12MoV</b>	冷作模具钢	<b>Mo</b> :细化晶粒, 提高耐磨性	淬火+低温回火	<b>M<sub>回</sub>+颗粒状碳化物+A'</b> (少量)
<b>W18Cr4V</b>	高速钢	<b>V</b> :提高耐磨性、热硬性	淬火+低温回火	<b>M<sub>回</sub>+颗粒状碳化物+A'</b> (少量)
<b>1Cr18Ni9Ti</b>	不锈钢	<b>Ti</b> :防止晶间腐蚀	固溶处理	<b>A</b>



## 第三节 铸铁

铸铁是含碳量大于2.11%并含有较多硅、锰、硫、磷等元素的多元铁基合金。

铸铁具有许多优良的性能及生产简便、成本低廉等优点，因而是应用最广泛的材料之一。





## 第三节 铸 铁

❖ 例如，机床床身、内燃机的汽缸体、缸套、活塞环及轴瓦、曲轴等都可用铸铁制造。





## 第三节 铸铁

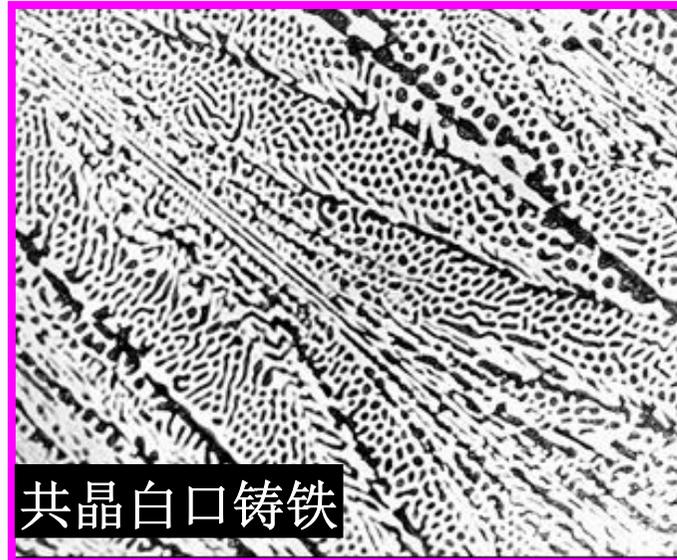
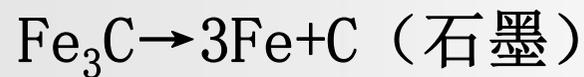
### 一、概述

#### (一)、铸铁的石墨化过程

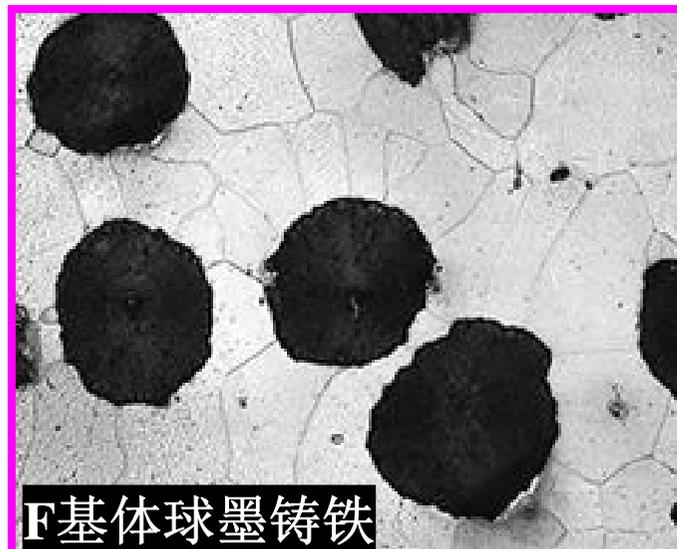
❖ 1、Fe-Fe<sub>3</sub>C 和 Fe-G (石墨)

双重相图

❖ Fe<sub>3</sub>C是亚稳相，在一定条件下将发生分解：



共晶白口铸铁

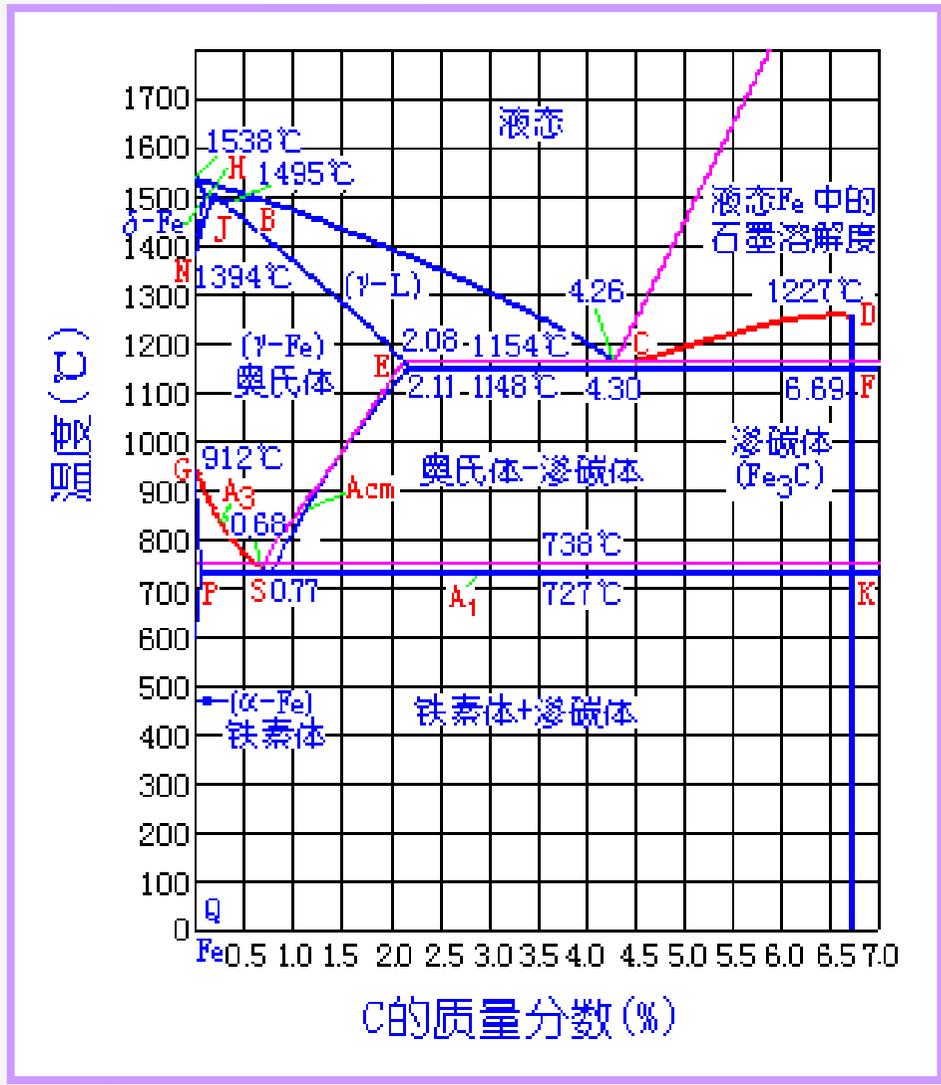


F基体球墨铸铁



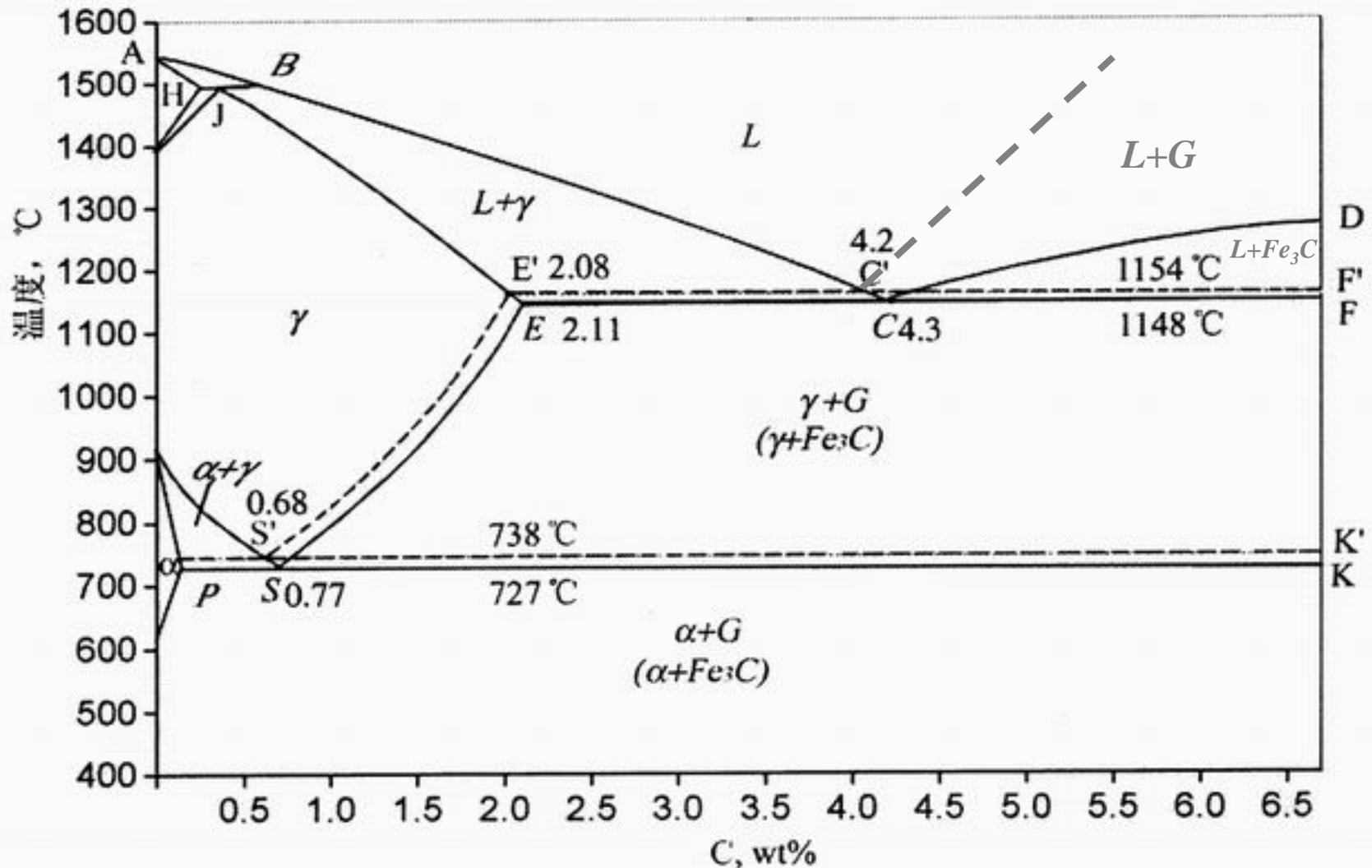
# 第三节 铸铁

- ❖ 石墨是碳的单质之一，其强度、塑性、韧性几乎为零。
- ❖ 铸铁中的碳除少量固溶于基体中外，主要以化合态的渗碳体 ( $Fe_3C$ ) 和游离态的石墨 (G) 两种形式存在。



存在两个铁碳相图： Fe-Fe<sub>3</sub>C和Fe-G双重相图

### 第三节 铸铁

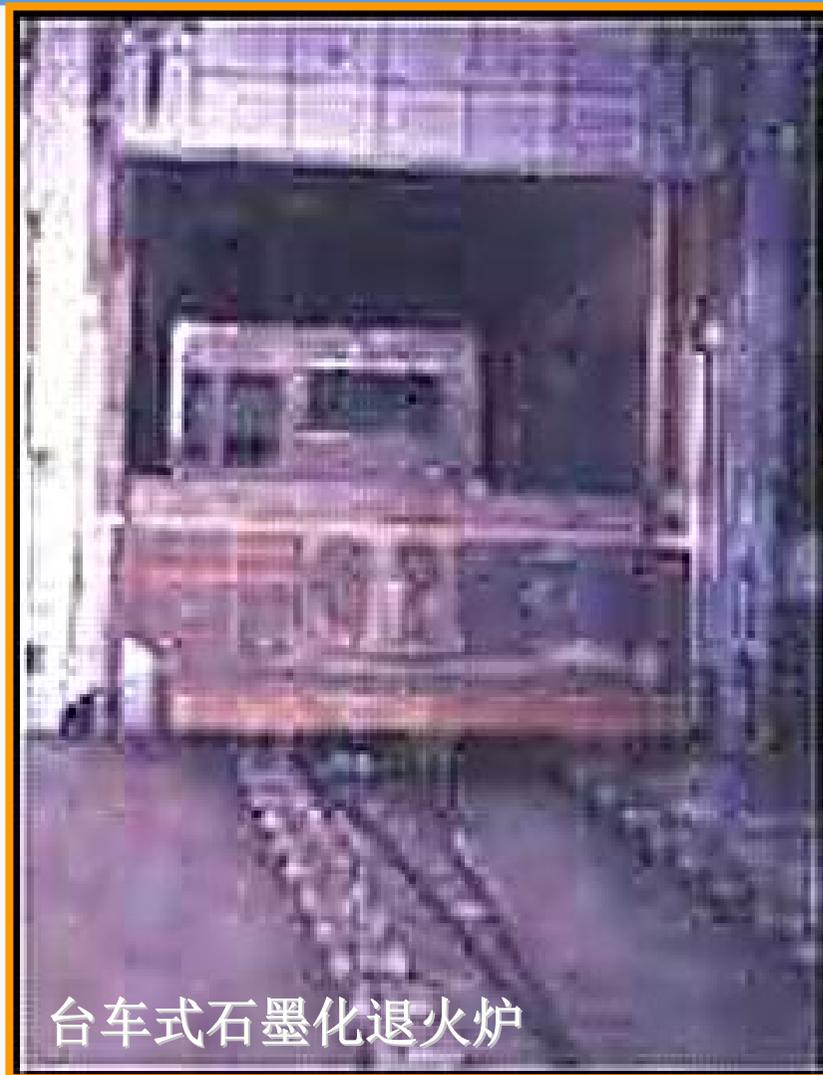




## 第三节 铸 铁

### 2、铸铁的石墨化过程

- ❖ 铸铁中的碳原子析出形成石墨的过程称为石墨化。
- ❖ 铸铁中的石墨可以在结晶过程中直接析出,也可以由渗碳体加热时分解得到。

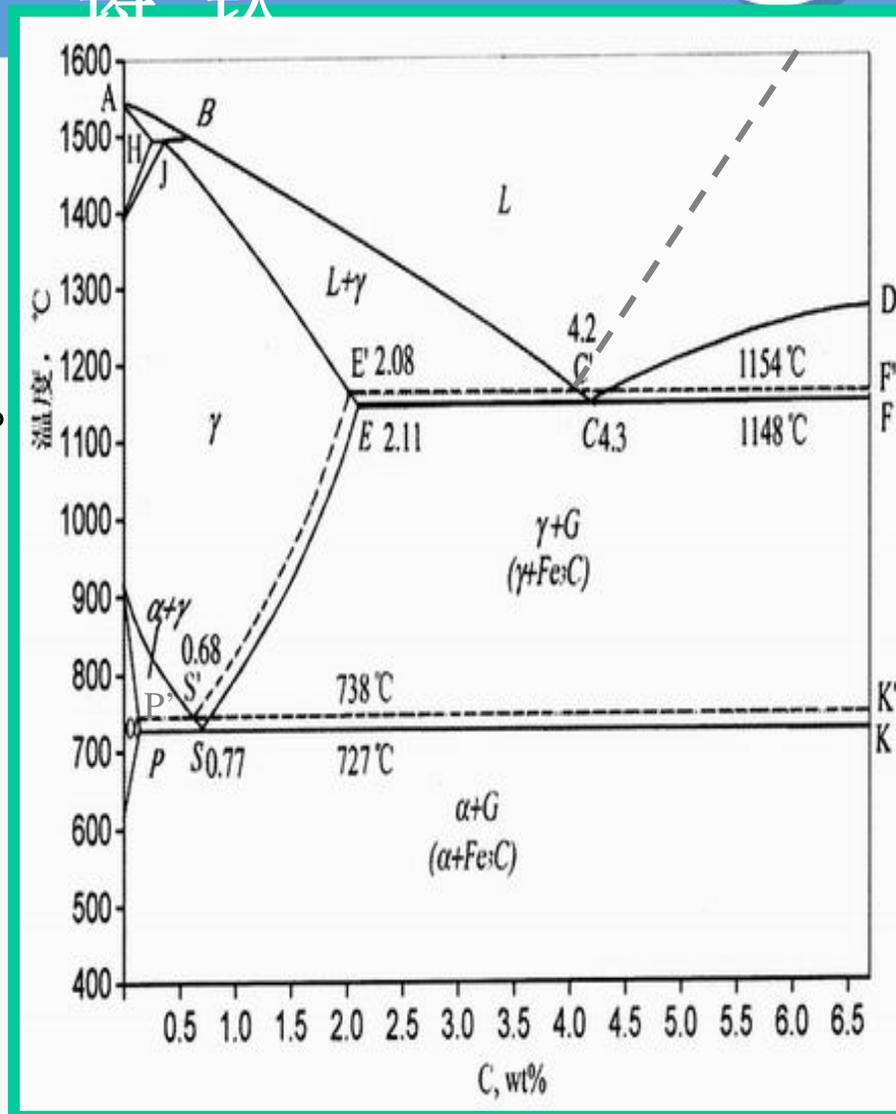


台车式石墨化退火炉



## 第三节 铸铁

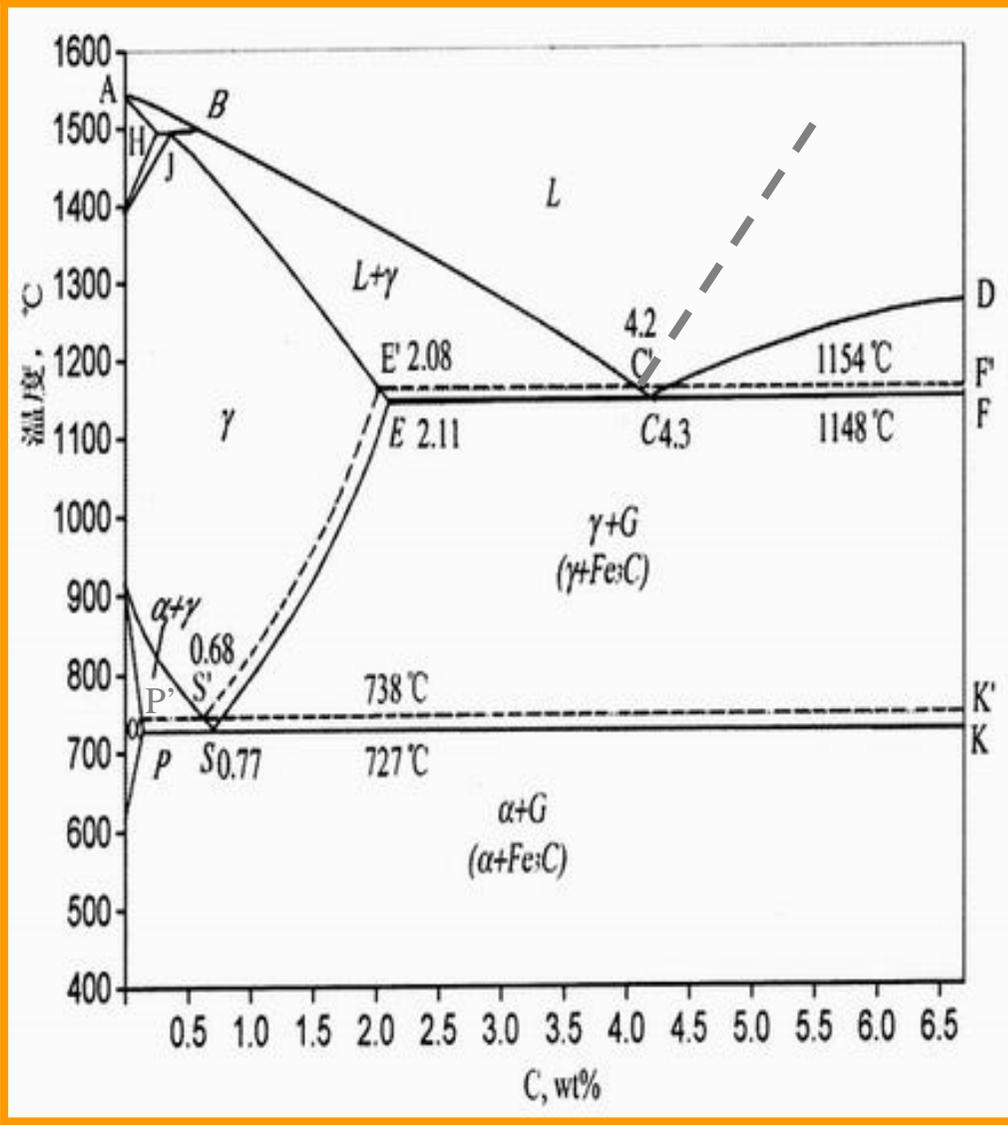
- ❖ 石墨化分两个阶段：
- ❖ 在P'S'K'线以上发生的石墨化称为第一阶段石墨化。
- ❖ 包括结晶时一次石墨、二次石墨、共晶石墨的析出和加热时一次渗碳体、二次渗碳体及共晶渗碳体的分解。





# 第三节 铸铁

- ❖ 在P'S'K'线以下发生的石墨化称为第二阶段石墨化。包括冷却时共析石墨的析出和加热时共析渗碳体的分解。
- ❖ 石墨化程度不同，所得到的铸铁类型和组织也不同。





## 第三节 铸 铁

铸铁的石墨化程度与其组织之间的关系  
(以共晶铸铁为例)

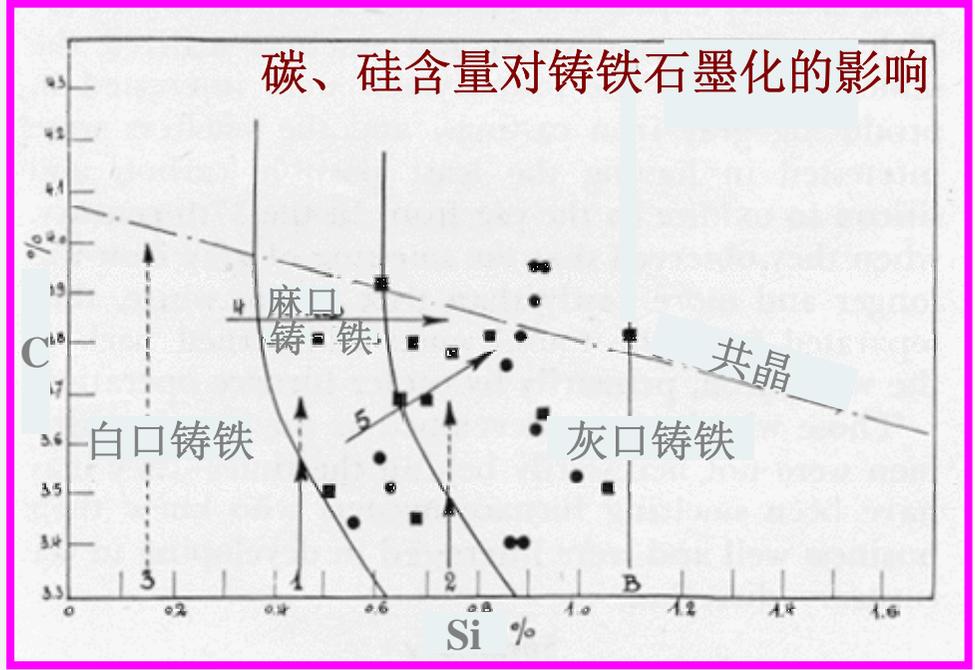
石墨化进行程度		铸铁的显微组织	铸铁类型
第一阶段 石墨化	第二阶段 石墨化		
完全进行	完全进行	$F+G$	灰口铸铁
	部分进行	$F+P+G$	
	未进行	$P+G$	
部分进行	未进行	$Le'+P+G$	麻口铸铁
未进行	未进行	$Le'$	白口铸铁



# 第三节 铸铁

## 3、影响石墨化的因素

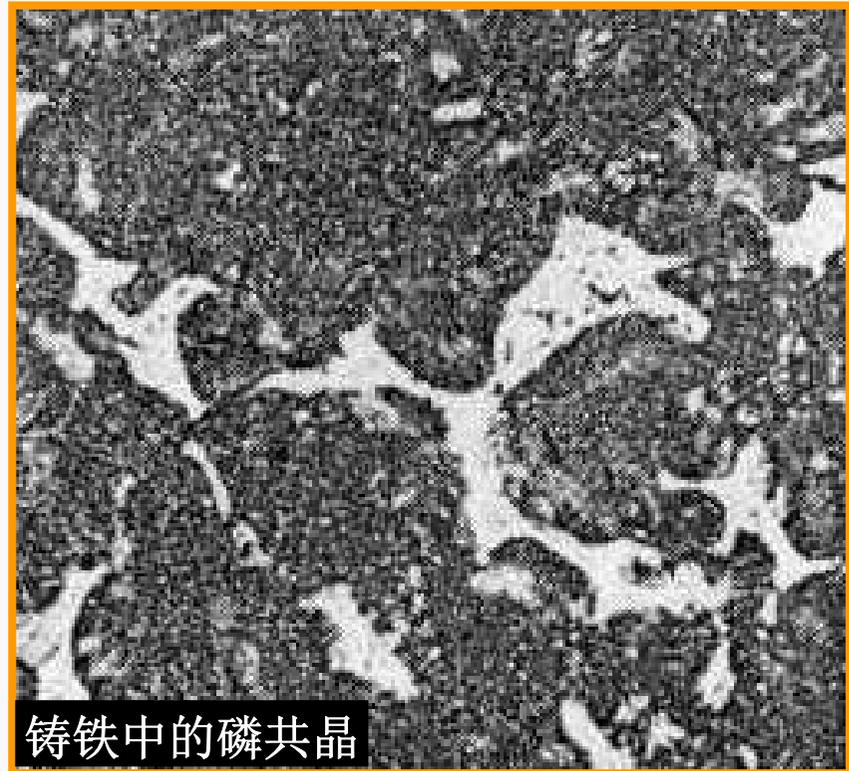
- ❖ (1) 化学成分的影响
- ❖ 碳和硅是强烈促进石墨化的元素。
- ❖ 碳、硅含量过低，易出现白口组织，力学性能和铸造性能差。
- 碳、硅含量过高，会使石墨数量多且粗大，基体内铁素体量增多，降低铸件的性能。





## 第三节 铸 铁

- ❖ 碳、硅量控制范围：2.5-4.0%C，1.0-3.0%Si。
- ❖ Al、Cu、Ni、Co等元素对石墨化有促进作用。
- ❖ S、Mn、Cr、W、Mo、V等元素阻碍石墨化。
- 磷虽然可促进石墨化，但其含量高时易在晶界上形成硬而脆的磷共晶，降低铸铁的强度，只有耐磨铸铁中磷含量偏高（达0.3%以上）。



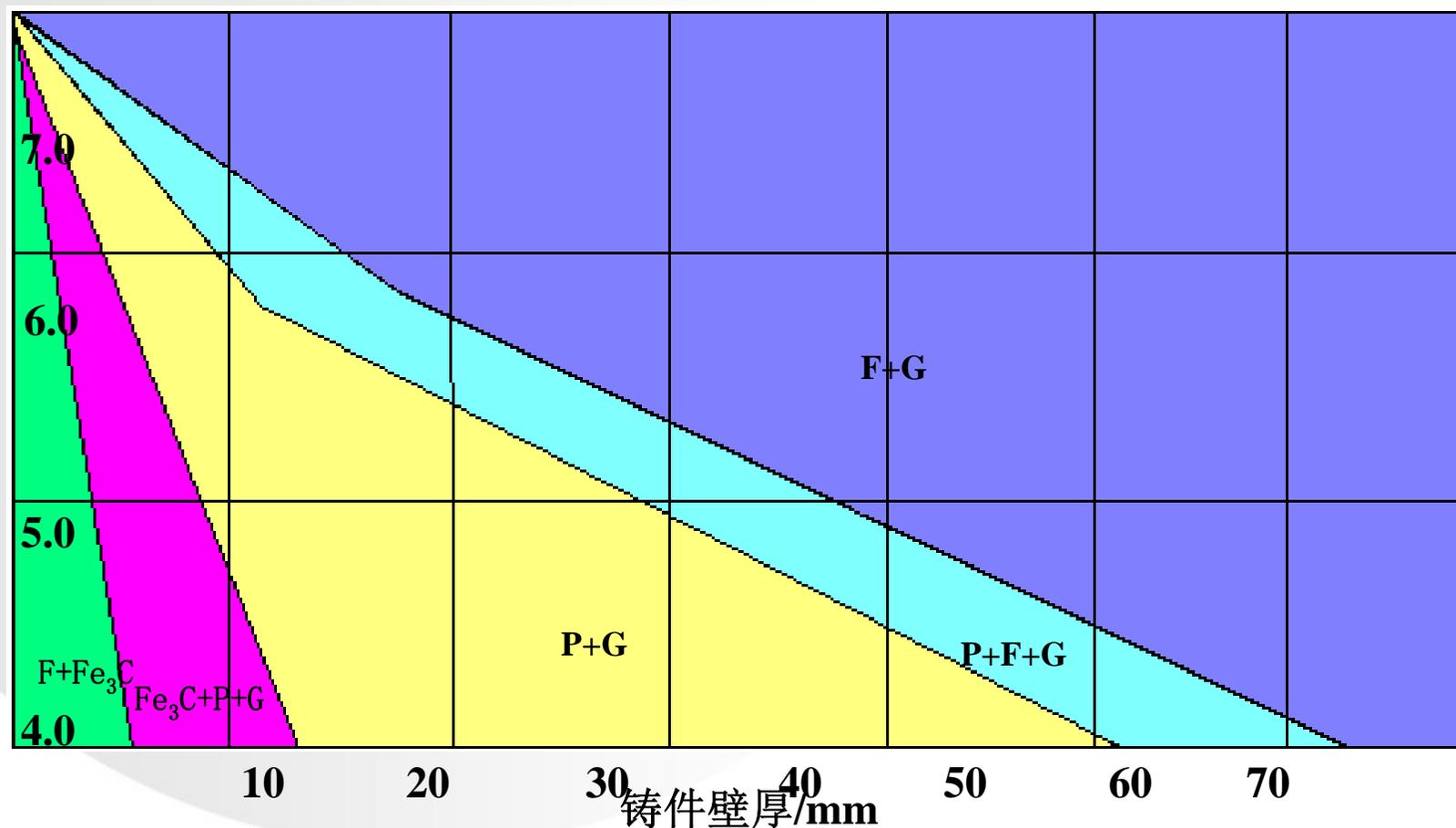
铸铁中的磷共晶

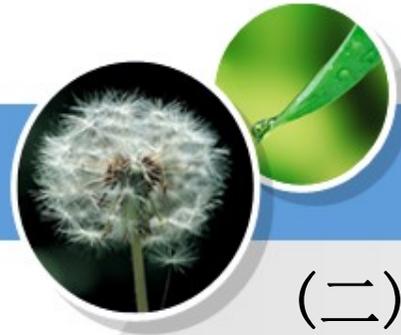
## (2) 冷却速度的影响

### 第三节 铸铁

铸件冷却缓慢，有利于碳原子的充分扩散，结晶将按Fe - G相图进行，因而促进石墨化。快冷时由于过冷度大，结晶将按 Fe-Fe<sub>3</sub>C相图进行，不利于石墨化。

碳硅当量

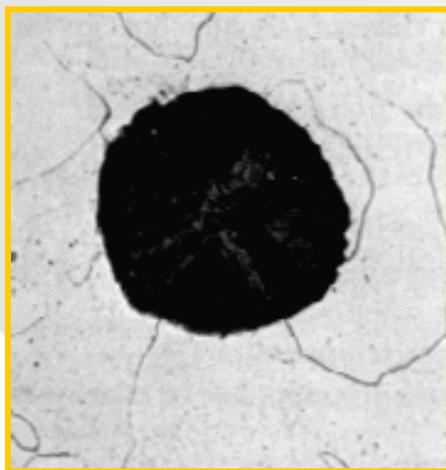




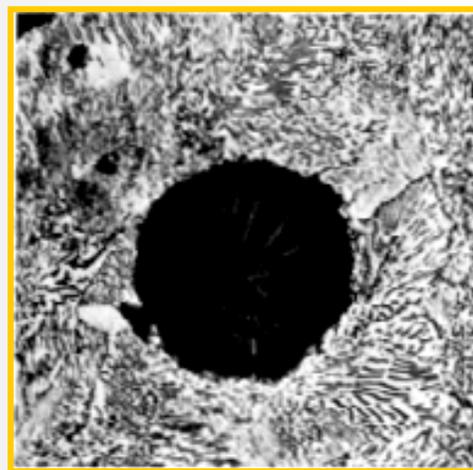
## 第三节 铸 铁

### (二)、铸铁的特点及分类

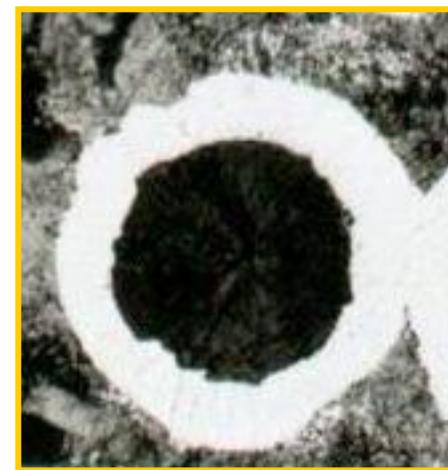
- ❖ 工业上使用的铸铁主要是灰口铸铁。
- ❖ 1、铸铁的组织特点
- ❖ 钢的基体+G（石墨）
- ❖ 基体组织有铁素体、珠光体和铁素体加珠光体三种。



F+G



P+G



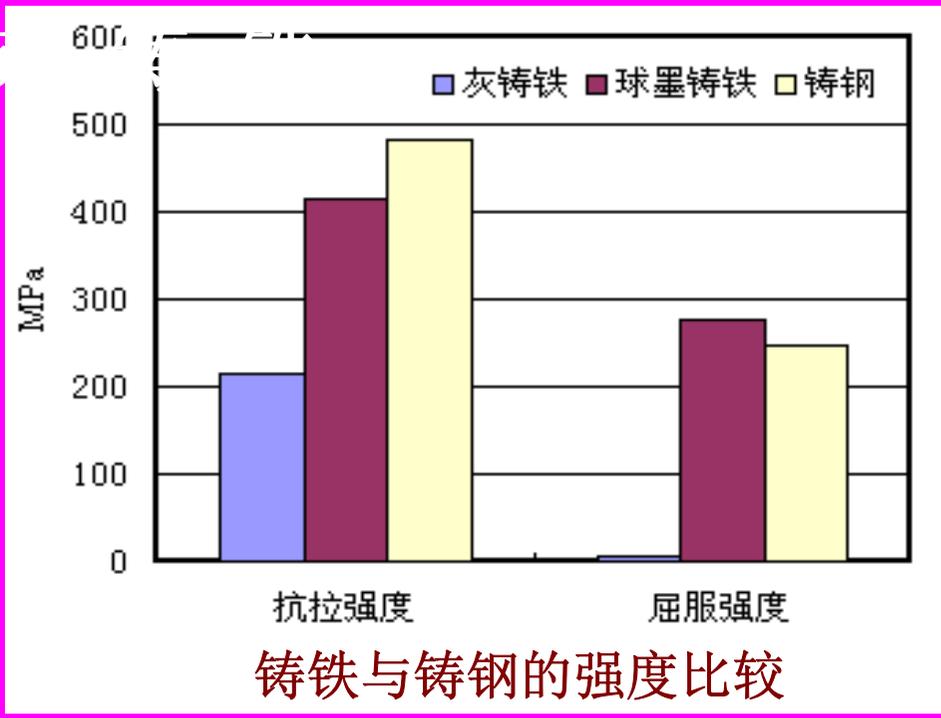
F+P+G



### 第三节

#### 2、铸铁的性能特点

- (1) 力学性能低。由于石墨相当于钢基体中的裂纹或空洞，破坏了基体的连续性，且易导致应力集中。



- ❖ (2) 耐磨性能好。由于石墨本身有润滑作用。
- ❖ (3) 消振性能好。由于石墨可以吸收振动能量。
- ❖ (4) 铸造性能好。由于铸铁硅含量高，成分接近于共晶。
- ❖ (5) 切削性能好。由于石墨使车屑容易脆断，不粘刀。

### 3、铸铁的分类与牌号表示方法

## 第三节 铸 铁

铸铁名称	石墨形态	基体组织	编号方法		牌号实例
灰铸铁	片状	F	HT + 一组数字 数字表示最低抗拉强度值，单位MPa。 “HT”表示灰铸铁代号。		HT100
		F+P			HT150
		P			HT200
可锻铸铁	团絮状	F	KTH + 两组数字 KTB + 两组数字 KTZ + 两组数字	KTH、KTB、KTZ分别为黑心、白心、珠光体可锻铸铁代号；第一组数字表示最低抗拉强度值，MPa；第二组数字表示最低伸长率值，%	KTH300-06
		表F 心P			KTB350-04
		P			KTZ450-06



## 第三节 铸 铁

铸铁名称	石墨形态	基体组织	编号方法	牌号实例
球墨铸铁	球状	F	QT + 两组数字 第一组数字表示最低抗拉强度值, MPa; 第二组数字表示最低伸长率值, %。 “QT”表示 球墨铸铁代号	QT400-15
		F+P		QT600-3
		P		QT700-2
蠕墨铸铁	蠕虫状	F	RuT + 一组数字 数字表示最低抗拉强度值, MPa。 “RuT”表示蠕墨铸铁代号	RuT260
		F+P		RuT300
		P		RuT420



# 铸铁的分类

## 第三节 铸 铁

铸 铁



## 第三节 铸铁

### 二 常用铸铁

#### (一)、灰铸铁

❖ 灰铸铁是指石墨呈片状分布的灰口铸铁。其产量约占铸铁总产量的80%以上。

❖ 1、组织

- 灰铸铁的组织是由液态铁水缓慢冷却时通过石墨化过程形成的，其基体组织有铁素体、珠光体和铁素体加珠光体三种。

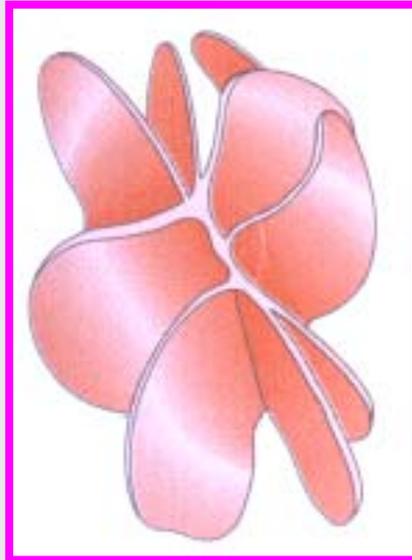


灰铸铁齿轮箱



# 第三节 铸铁

灰铸铁的  
显微组织



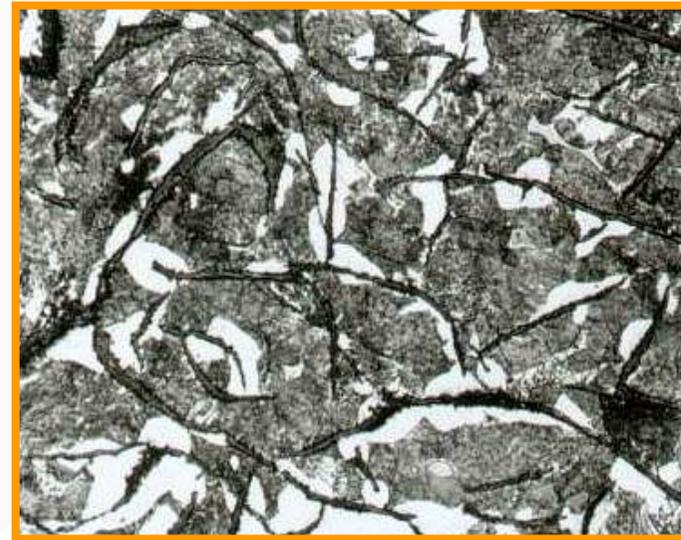
石墨片的三维形貌



铁素体灰铸铁



珠光体灰铸铁

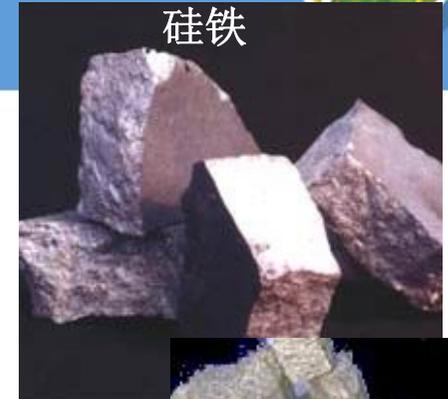


铁素体加珠光体灰铸铁

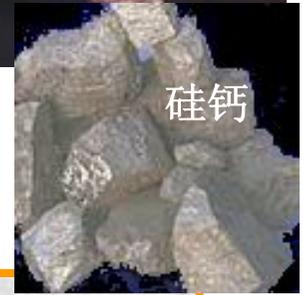


## 第三节 铸 铁

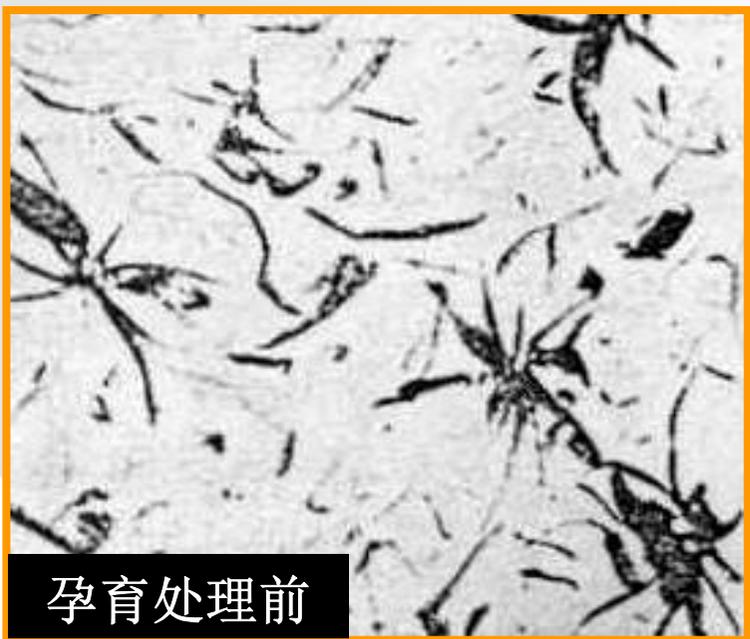
- ❖ 常对灰铸铁进行孕育处理，以细化片状石墨。
- ❖ 常用的孕育剂有硅铁和硅钙合金。
- ❖ 经孕育处理的灰铸铁称为孕育铸铁。



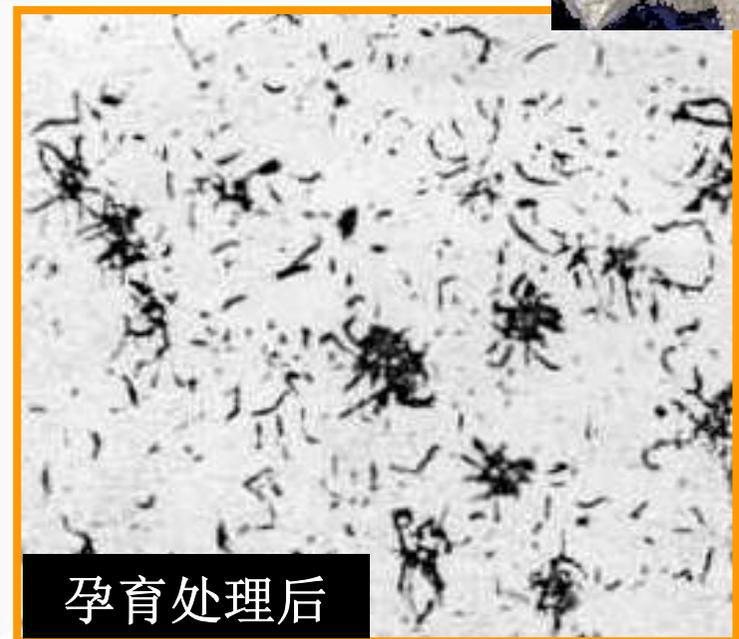
硅铁



硅钙



孕育处理前



孕育处理后



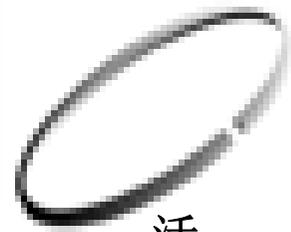
# 第三节 铸 铁

## 2、热处理

- ❖ 热处理只改变基体组织，不改变石墨形态。
- ❖ 灰铸铁强度只有碳钢的30-50%，热处理强化效果不大。
- ❖ 灰铸铁常用的热处理有：
  - ❖ ① 消除内应力退火(又称人工时效)
  - ❖ ② 消除白口组织退火
  - ❖ ③ 表面淬火



汽缸套



灰铸铁件



活塞环

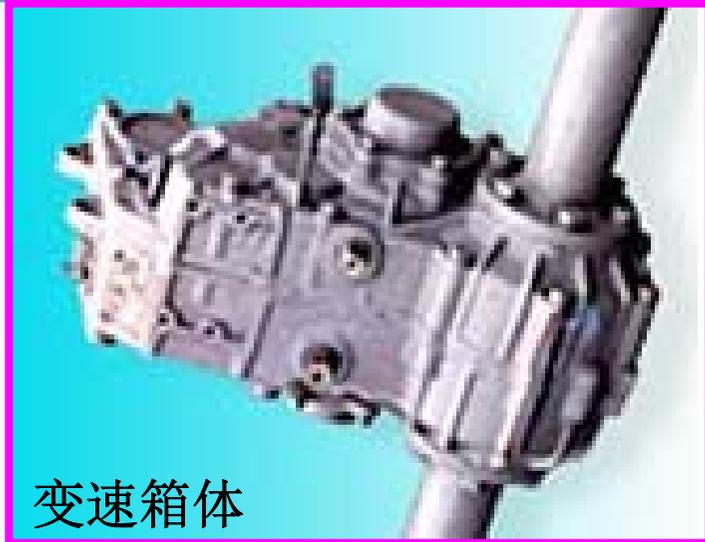




## 第三节 铸 铁

### 3、用途

- ❖ 制造承受压力和震动的零件,如机床床身、各种箱体、壳体、泵体、缸体。



变速箱体



← / □ → 重型机床床身(HT-250)



大型船用柴油机汽缸体(HT-300)



## 第三节 铸 铁

# 灰铸铁的应用实例





## 第三节 铸铁

### (二)、可锻铸铁

❖ 石墨呈团絮状的灰口  
铸铁，是由白口铸铁  
经石墨化退火获得的。

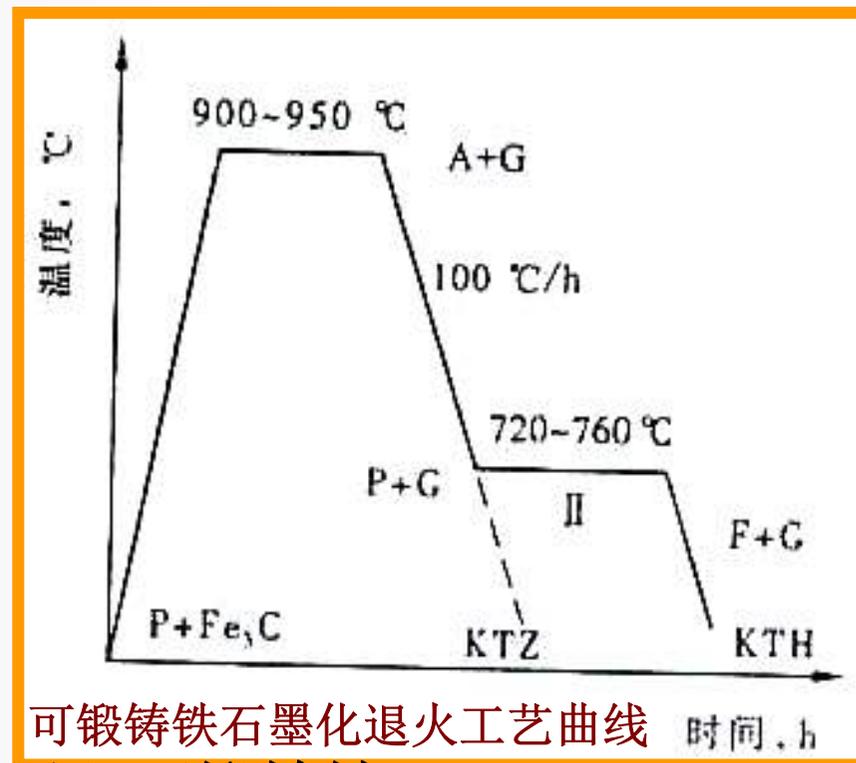
❖ 1、组织：

基体 (F、P) + 团絮状G

❖ 铁素体基体可锻铸铁又称黑心可锻铸铁。

❖ 2、性能：强度为碳钢的 40~70%，接近于铸钢。

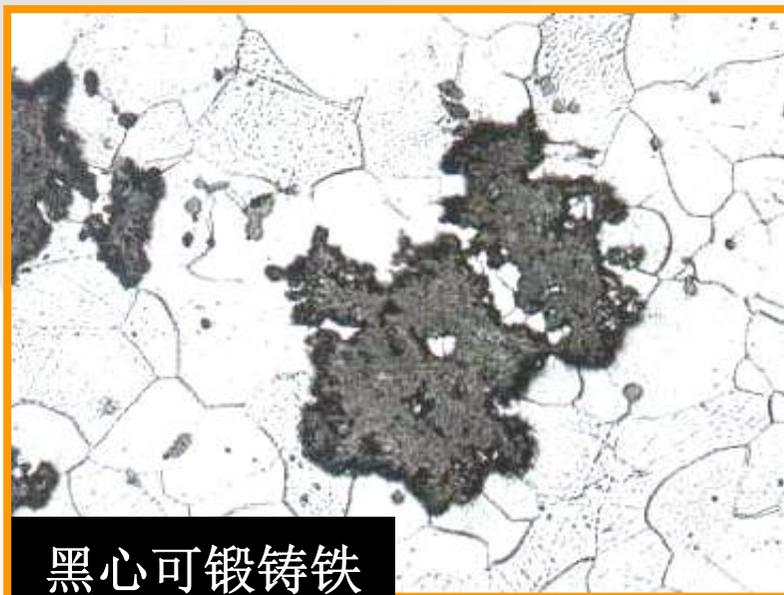
❖ 名为可锻，实不可锻



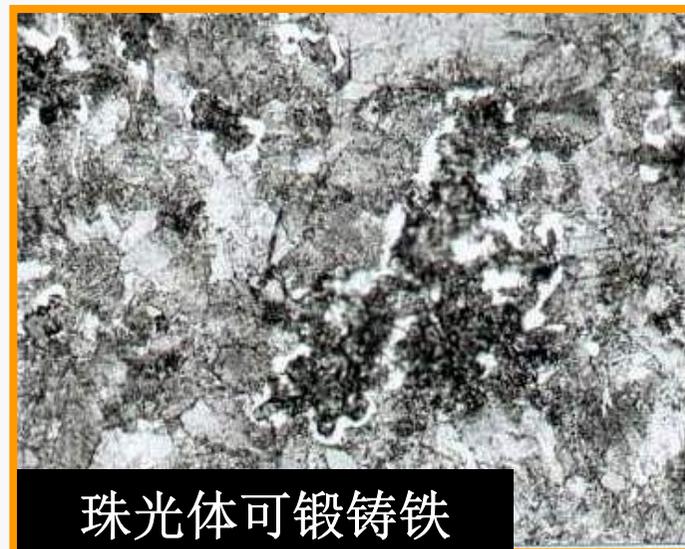


## 第三节 铸 铁

### 可锻铸铁的 显微组织



黑心可锻铸铁



珠光体可锻铸铁



可锻铸铁的石墨化退火



# 第三节 铸铁

## 3、用途

用于制造形状复杂且承受振动载荷的薄壁小型件，如汽车、拖拉机的前后轮壳、管接头、低压阀门等。



可锻铸铁管件



## 第三节 铸 铁

### 可锻铸铁的生产过程





## 第三节 铸 铁

### 可锻铸铁的应用实例





## 第三节 铸铁

### (三)、球墨铸铁

石墨呈球形的灰口铸铁。由液态铁水经石墨化

❖ 1、组织：基体（F、F+P、P）+ 球状G

❖ 球状石墨是液态铁水经球化处理得到的。

❖ 球化剂为镁、稀土和稀土镁。

- 为避免白口，并使石墨细小均匀，在球化处理同时还进行孕育处理。
- 常用孕育剂为硅铁和硅钙合金。



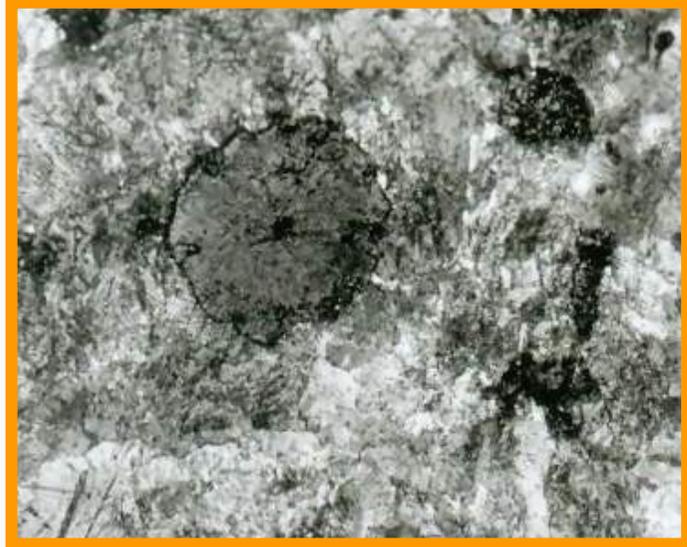


# 第三节 铸铁

球墨铸铁的显微组织



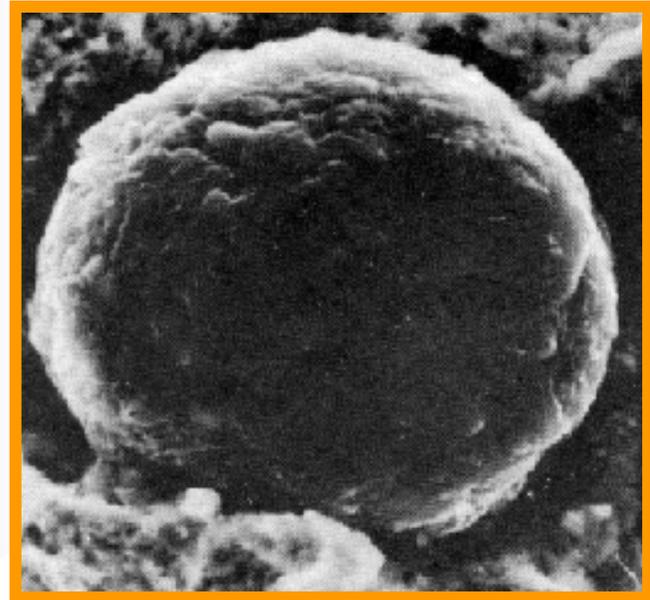
铁素体球墨铸铁



珠光体球墨铸铁



铁素体加珠光体球墨铸铁



球墨铸铁中的石墨球

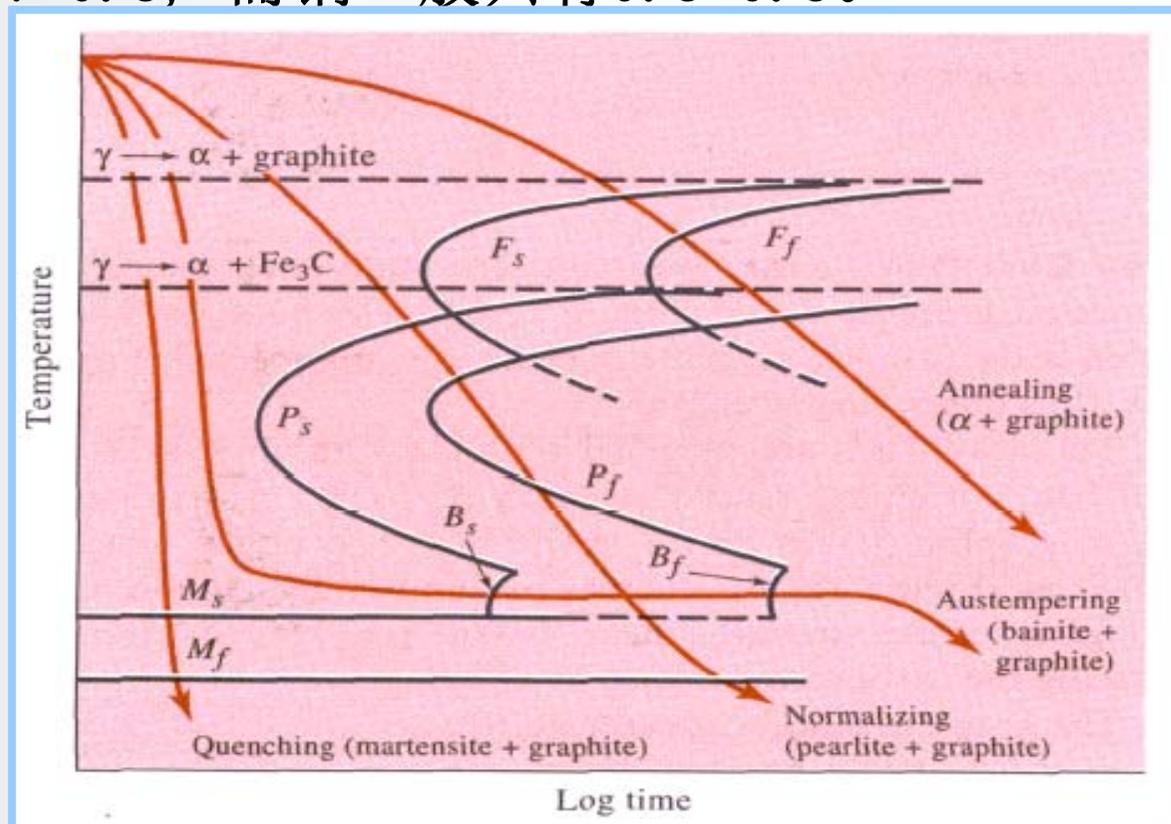


## 第三节 铸铁

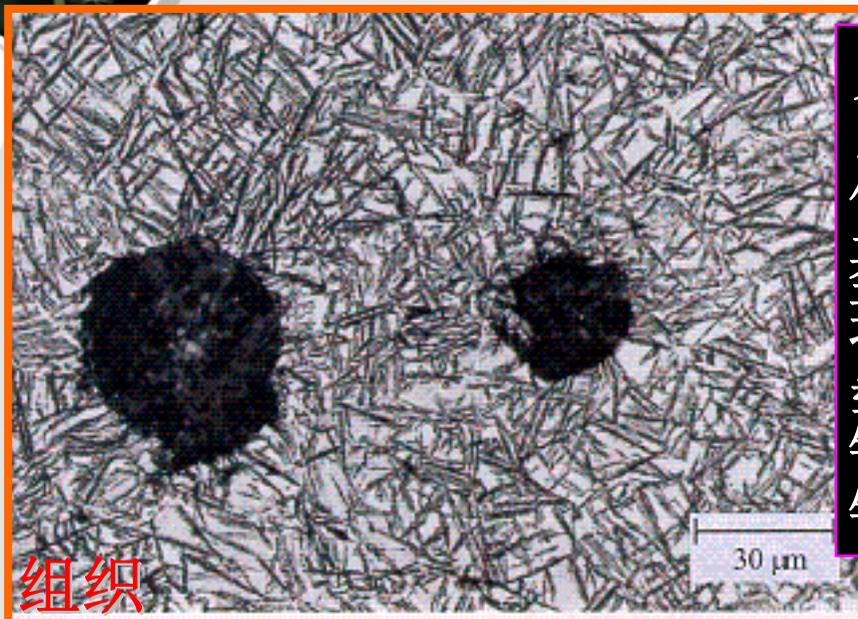
### 2、性能与热处理

- ❖ 强度是碳钢的70-90%。球墨铸铁的突出特点是屈强比( $\sigma_{0.2} / \sigma_b$ )高, 约为0.7-0.8, 而钢一般只有0.3-0.5。

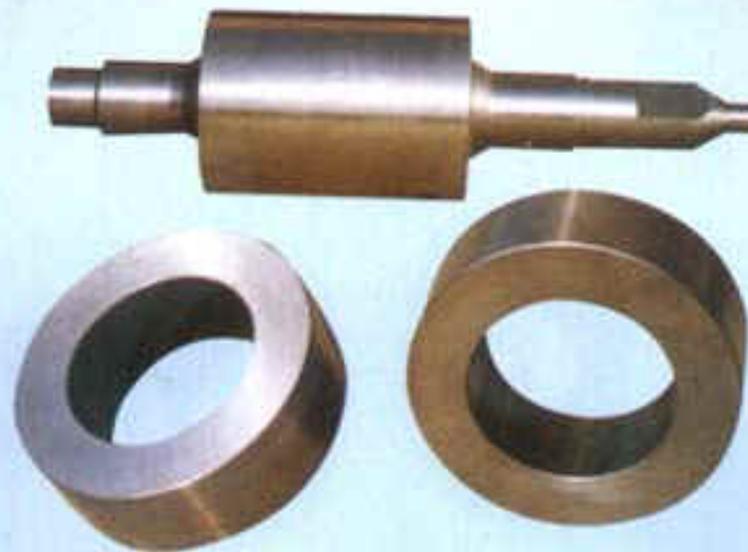
球墨铸铁可进行各种热处理, 如退火、正火、淬火加回火、等温淬火等。



## 第三节 铸铁



贝氏体基球墨铸铁



制品(轧辊与辊环)

球墨铸铁的热处理特点是：

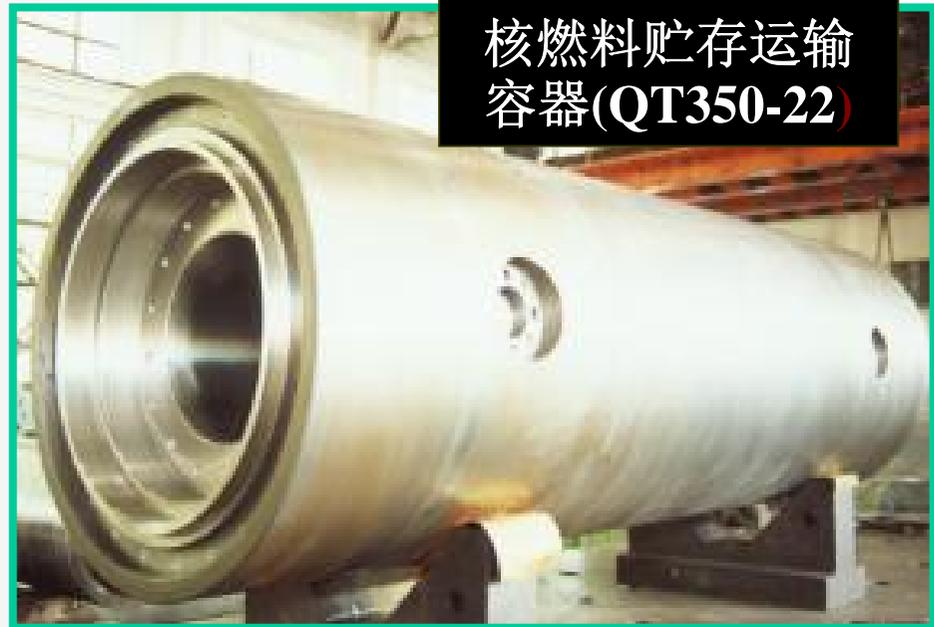
- ❖ ① 奥氏体化温度比碳钢高，由于硅含量高；
- ❖ ② 淬透性比碳钢高；
- ❖ ③ 奥氏体中碳含量可控。



## 第三节 铸铁

### 3、用途

承受震动、载荷大的零件，  
如曲轴、传动  
齿轮等。



核燃料贮存运输  
容器(QT350-22)



铸铁曲轴



## 第三节 铸 铁

### 球墨铸铁的应用实例



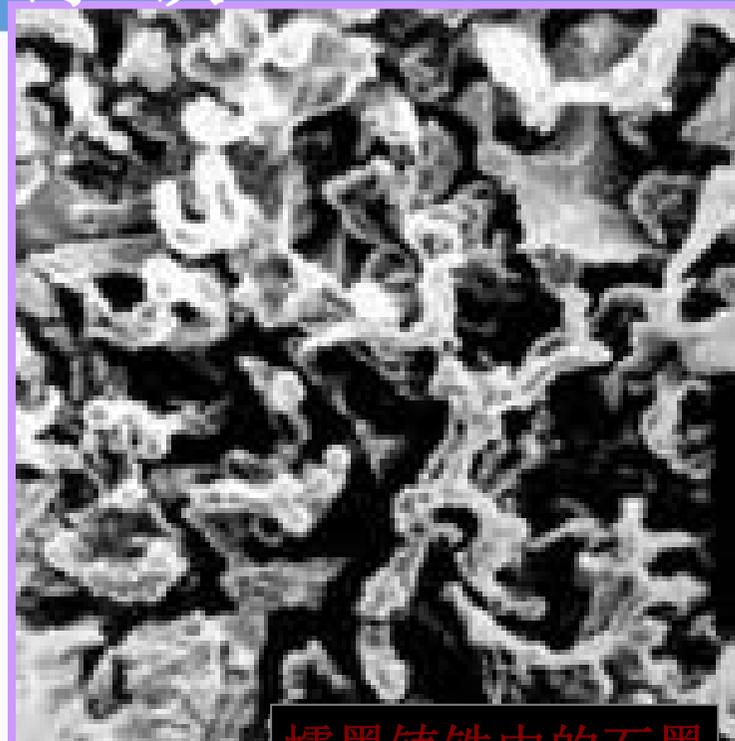


## 第三节 铸铁

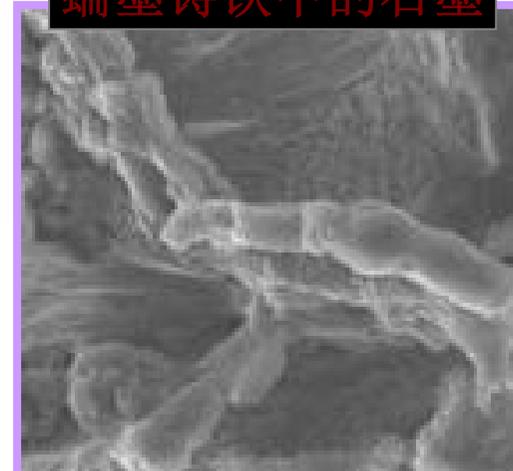
### (四)、蠕墨铸铁

蠕墨铸铁是20世纪60年代发展起来的一种新型铸铁。

- ❖ 蠕墨铸铁是液态铁水经蠕化处理和孕育处理得到的。
- ❖ 蠕化剂为稀土硅铁镁合金、稀土硅铁合金、稀土硅铁钙合金等。
- 蠕墨铸铁的组织：  
基体 (F、F+P、P) + 蠕虫状G



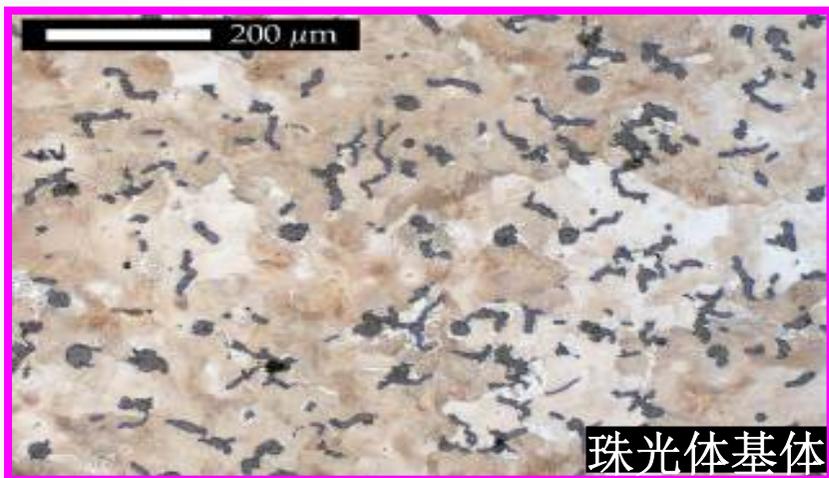
蠕墨铸铁中的石墨





# 第三节 铸 铁

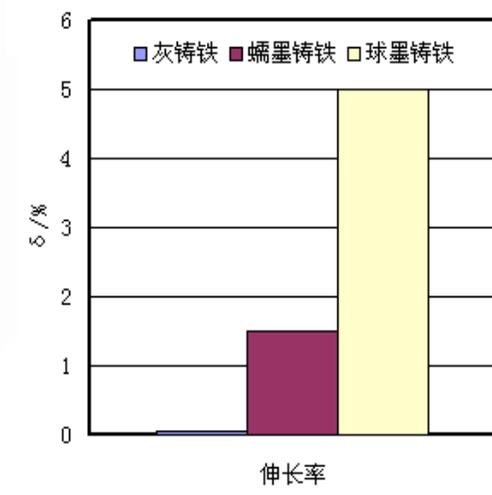
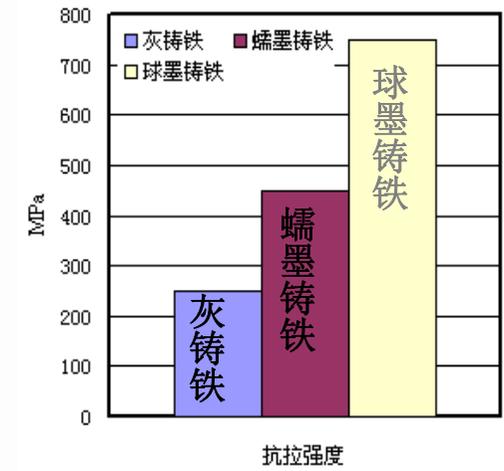
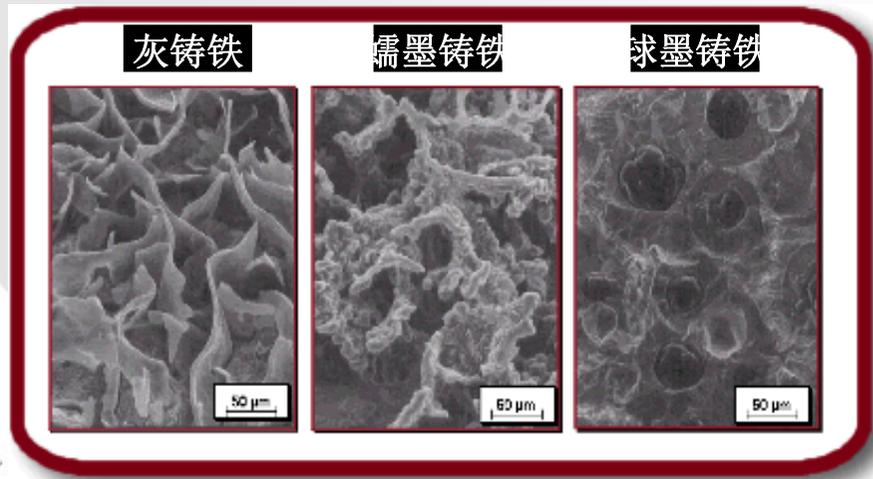
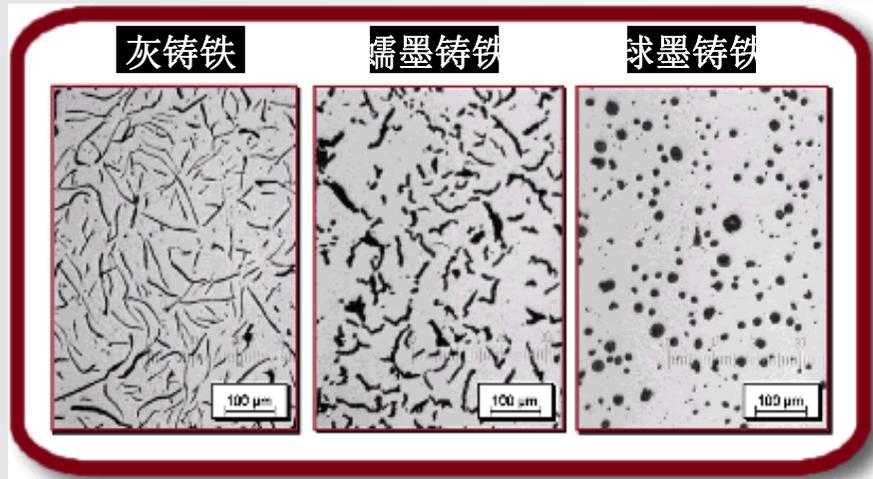
## 蠕墨铸铁的 显微组织





# 第三节 铸铁

❖ 蠕墨铸铁的强度、塑性和抗疲劳性能优于灰铸铁，其力学性能介于灰铸铁与球墨铸铁之间。



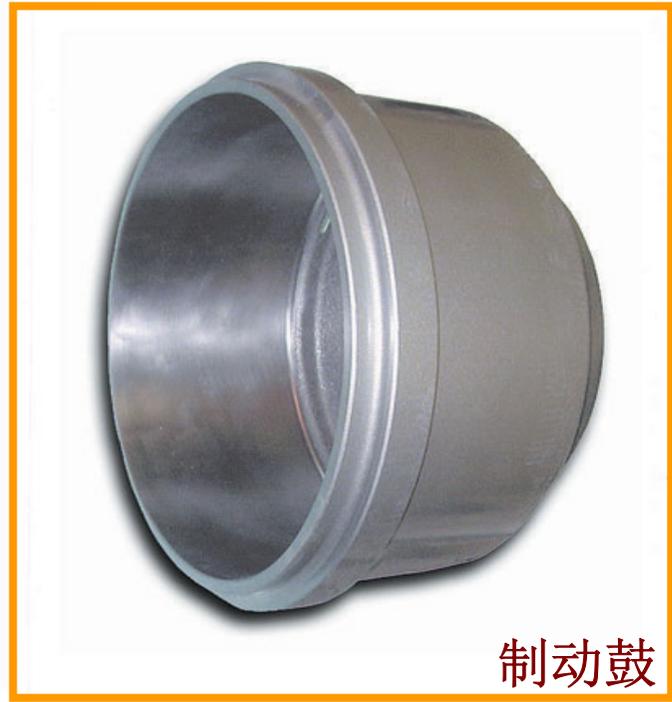


## 第三节 铸 铁

蠕墨铸铁常用于制造承受热循环载荷的零件和结构复杂、强度要求高的铸件。如钢锭模、玻璃模具、柴油机汽缸、汽缸盖、排气阀、液压阀的阀体、耐压泵的泵体等。



玻璃模具



制动鼓



## 第三节 铸 铁

# 蠕墨铸铁的生产过程及应用实例





# 第三节 铸铁

## 五 特殊性能铸铁

在铸铁中加入某些合金元素，得到一些具有各种特殊性能的合金铸铁。

### 1、耐磨铸铁（加铬）

弯管



衬板



### 2、耐热铸铁（Al、Si、Cr）

扇形扩散器



托架





## 第三节 铸 铁

# 合金铸铁的应用实例

