

# 工程材料

专业基础必修课

北京化工大学 贾明印

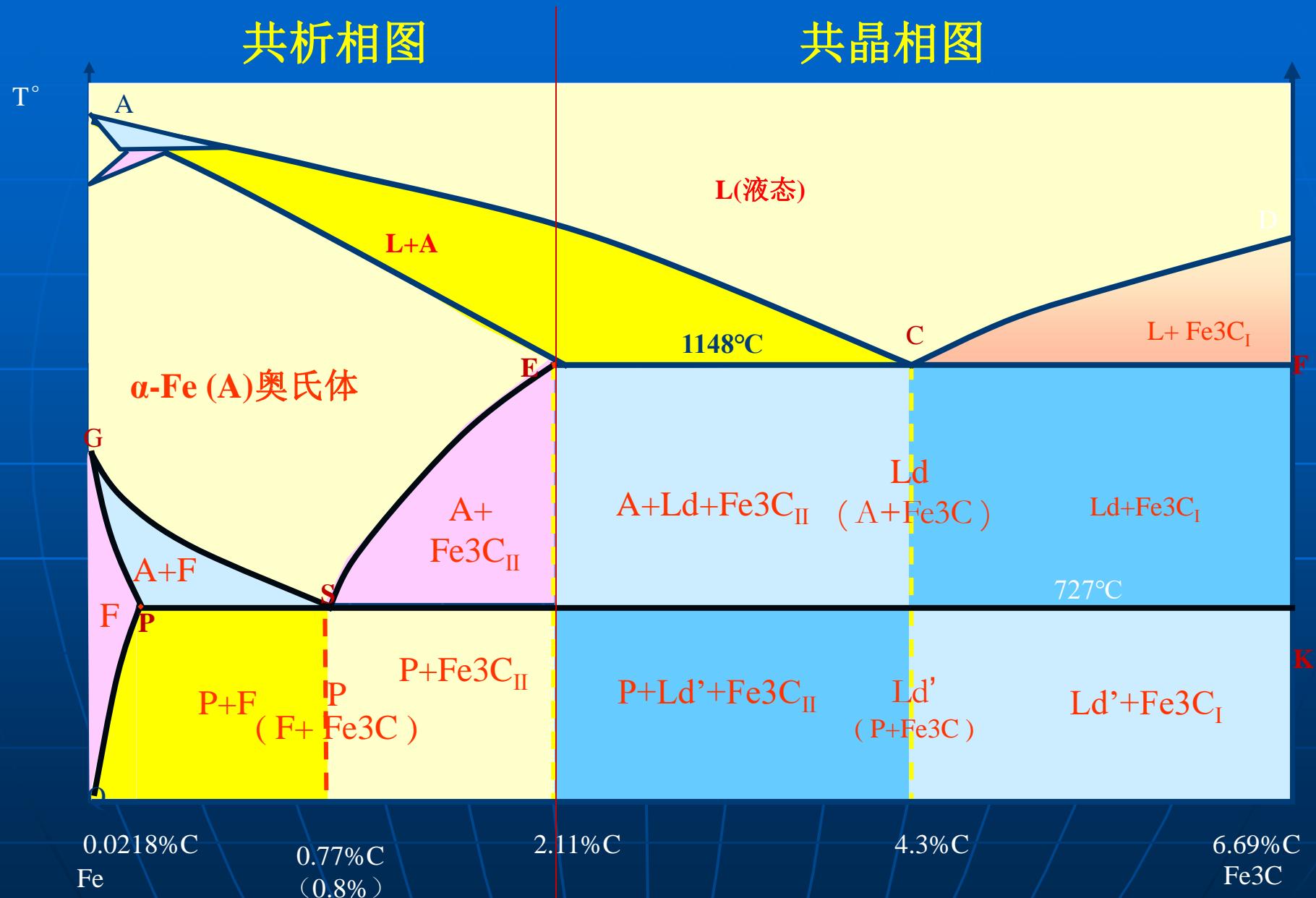
[jiamy@mail.buct.edu.cn](mailto:jiamy@mail.buct.edu.cn)

13522357136



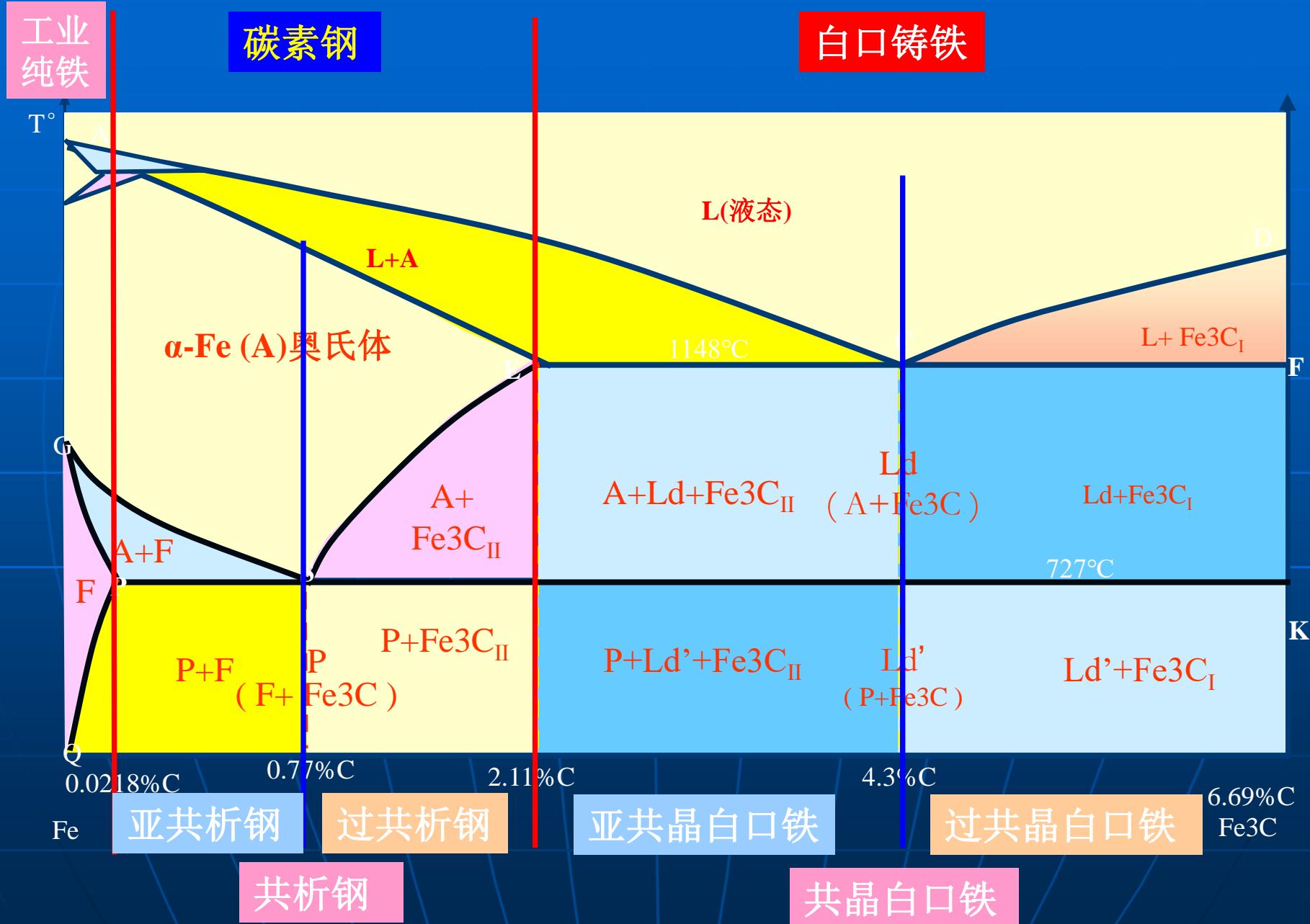
# 铁碳状态图各区域的组织

共析相图



共晶相图

# 铁碳合金的分类



## ● 上次课回顾

### 过冷奥氏体的转变产物

钢在冷却时，过冷奥氏体的转变产物分为：

高温转变产物：

珠光体 (P) 、索氏体 (S) 、屈氏体 (T)

中温转变产物：

上贝氏体 (上B) 、下

贝氏体 (下B)

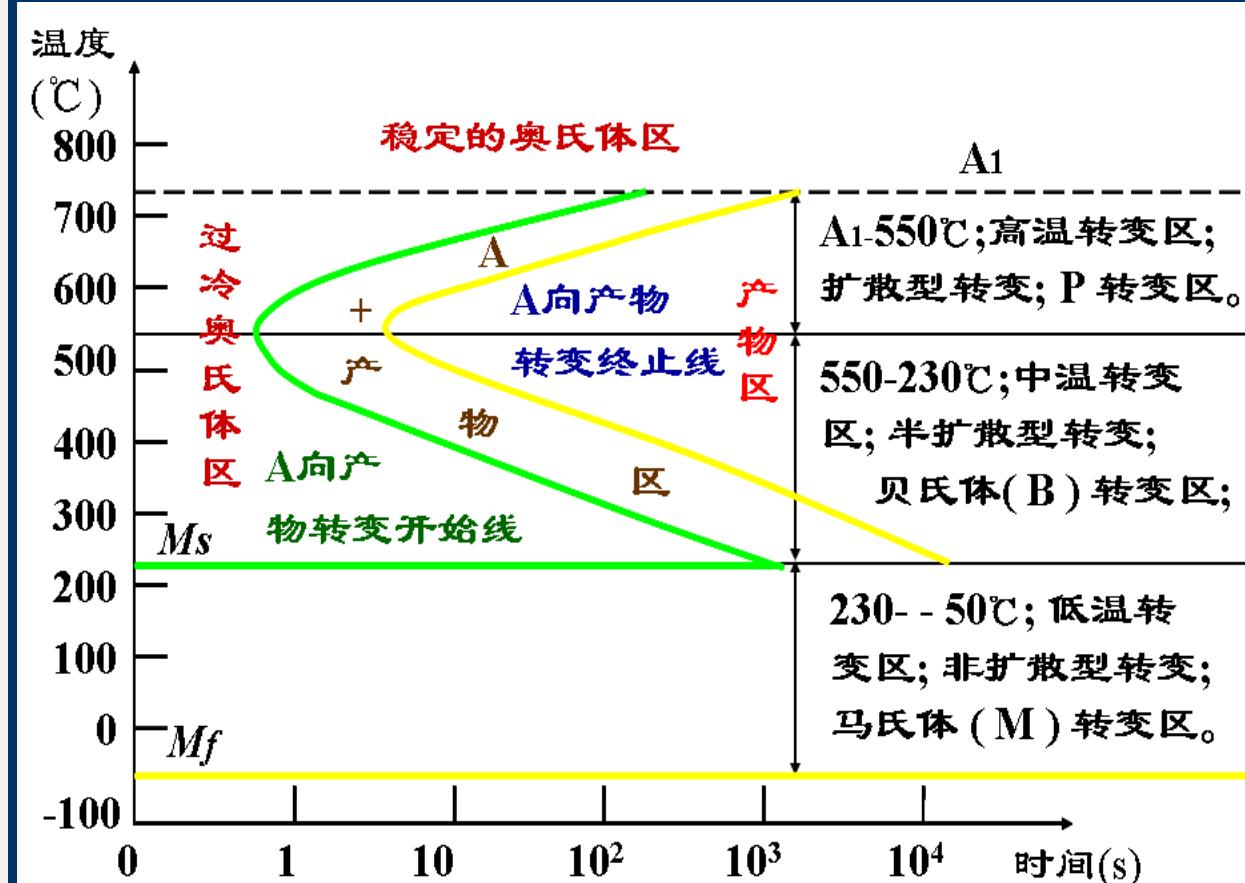
低温转变产物：

马氏体 (低碳M、高碳

M)

其他转变产物：

铁素体 (F) 、二次渗  
碳体 ( $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ )



## ● 上次课回顾

退火 正火 淬火 回火

一般零件生产的工艺路线：

毛坯生产 —— 预备热处理 —— 机械粗加工

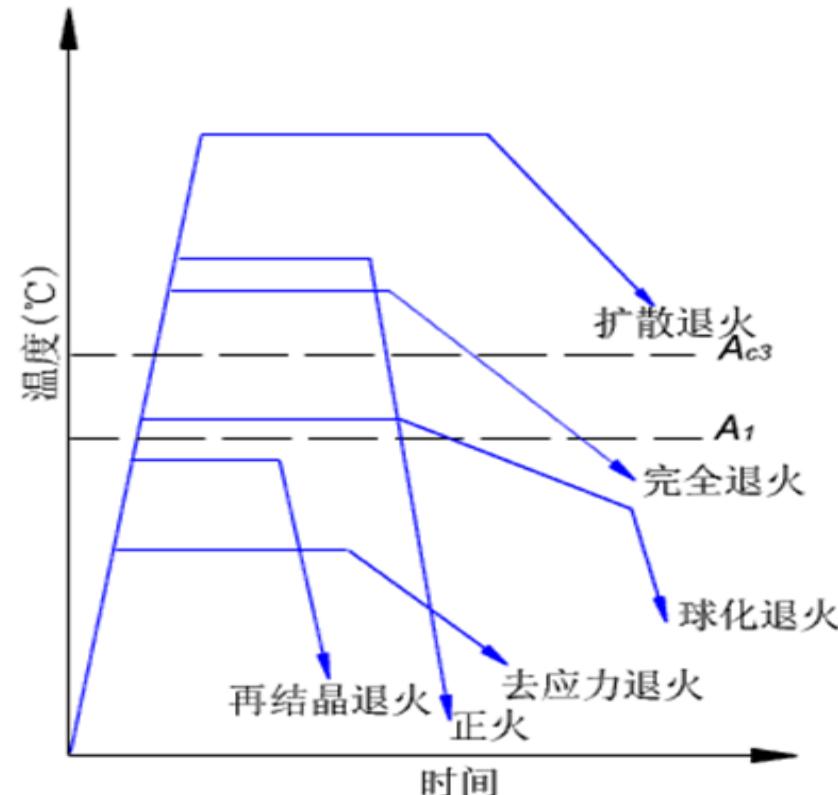
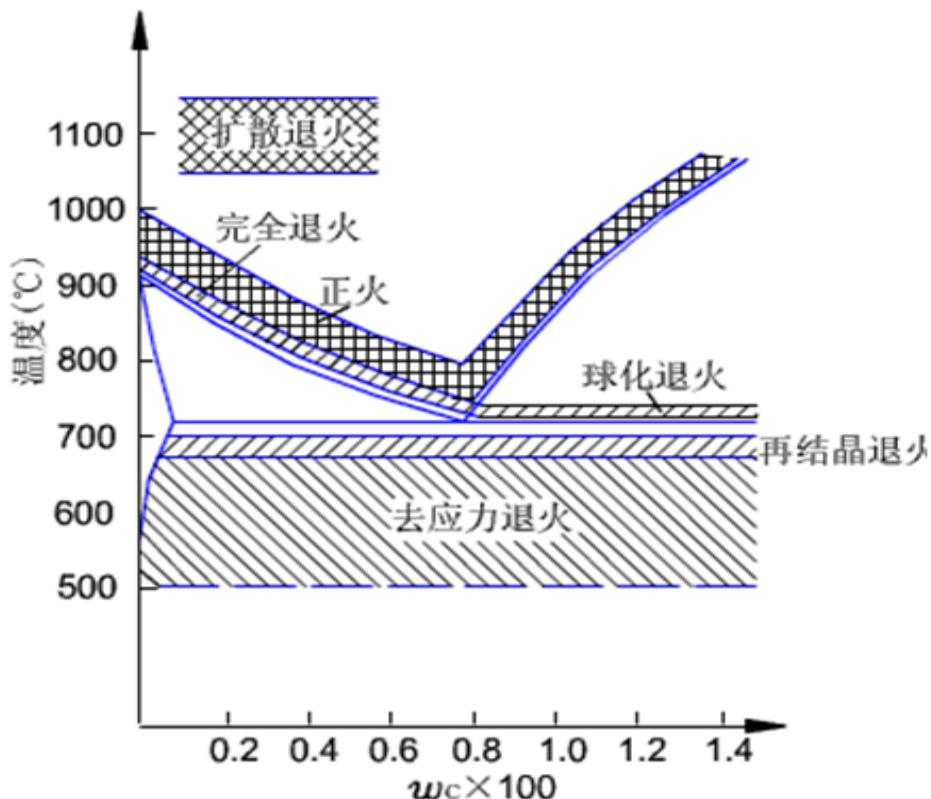
———— 最终热处理 —— 机械精加工

- ◆ 预备热处理：退火；正火
- ◆ 最终热处理：淬火 + 回火
- ◆ 退火与正火主要用于预备热处理

性能要求不高时才作为最终热处理

## ● 上次课回顾

- 完全退火：亚共析钢 $Ac_3+(20\sim30)^\circ C$ ，缓冷到 $600^\circ C$ 时空冷，得到F+P；
- 等温退火：同完全退火，可节省时间；
- 球化退火：过共析钢 $Ac_1+(20\sim30)^\circ C$ ，消除网状碳化物，使之成为球状；
- 去应力退火： $500\sim650^\circ C$ 炉冷至 $200^\circ C$ 后空冷，消除应力。
- 扩散退火：亚共析钢 $Ac_3+(150\sim250)^\circ C$ ，针对材料化学成分和组织的不均匀。重新加热、保温，使内部原子充分扩散，组织均匀化。



## ● 上次课回顾

### 正火与退火的主要区别

1) 冷却速度

冷却速度  
不同

正火冷却速度较大

珠光体组织细

强度和硬度也较高

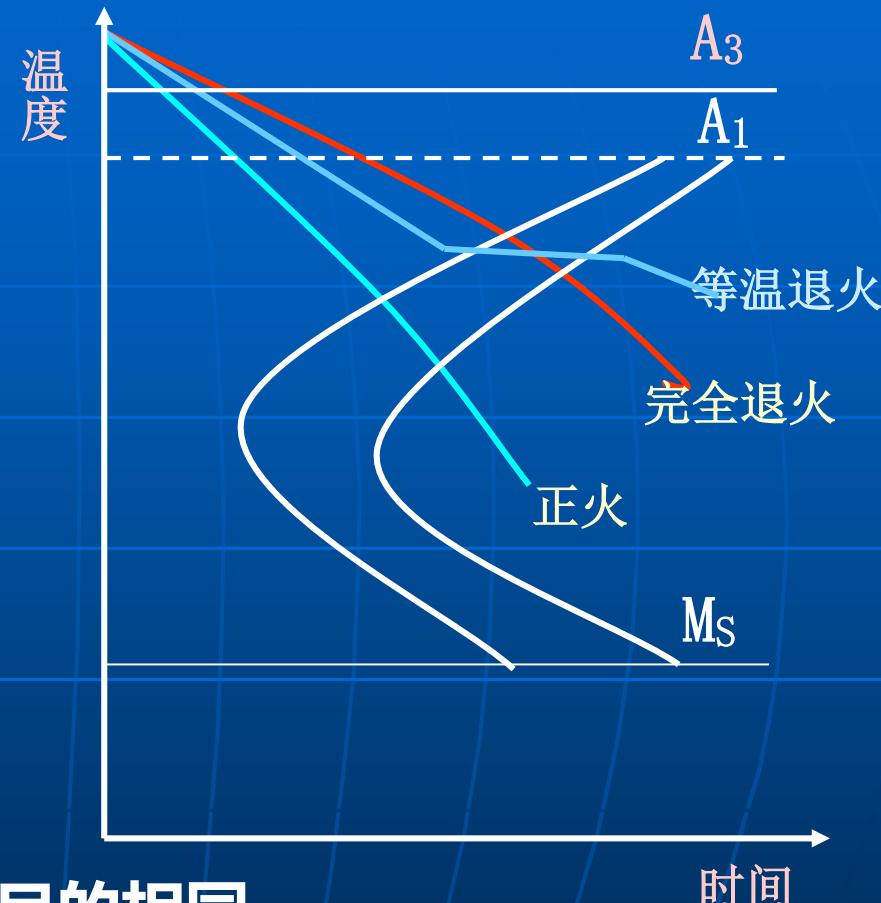
2) 目 的

低、中碳的  
亚共析钢

→ 正火和退火的目的相同

过共析钢

→ 正火为了消除网状二次渗碳体，为球化退火作组织准备



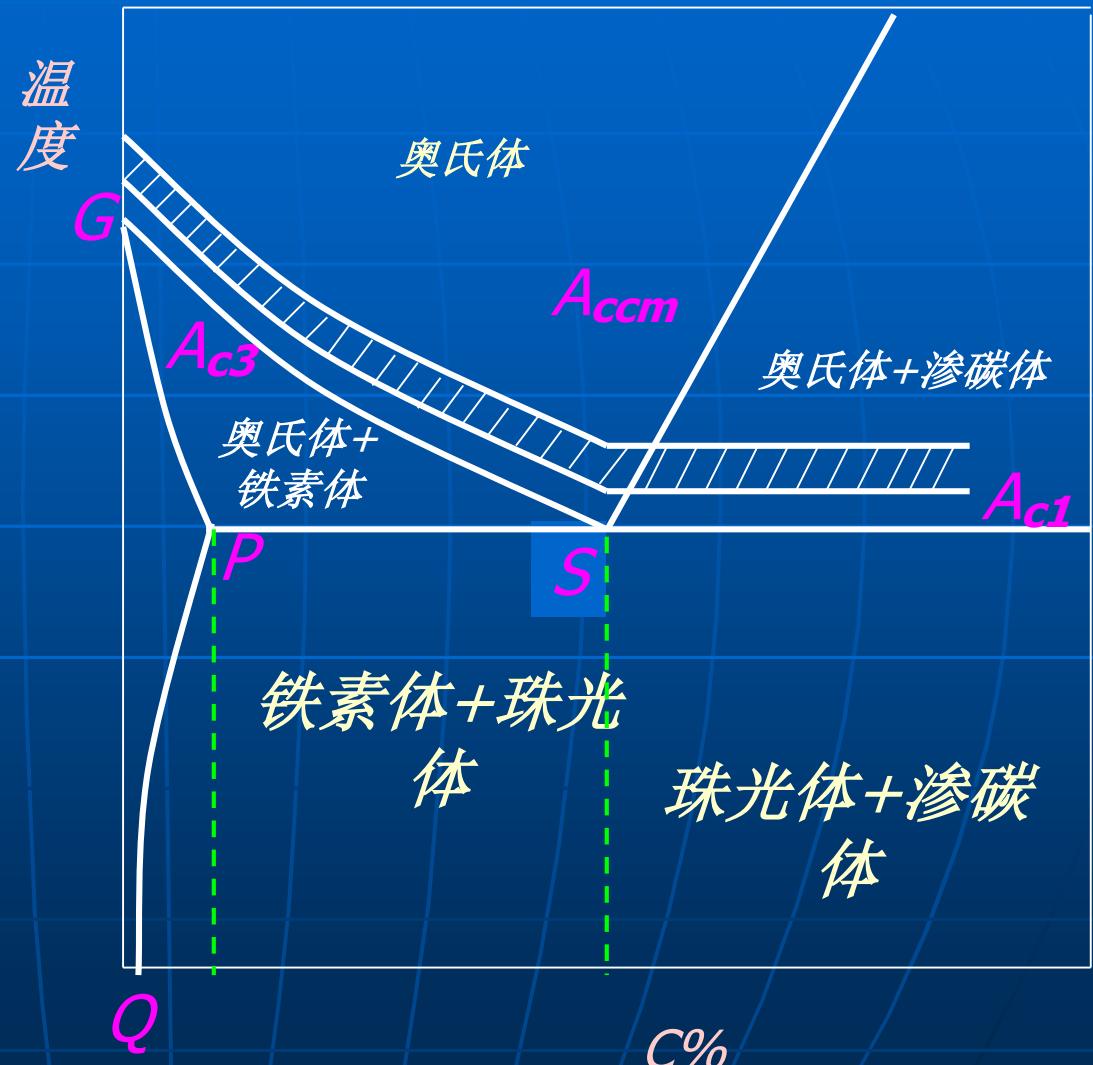
## ● 上次课回顾

### 淬火+回火

选择淬火温度的原则



获得均匀细小的奥氏体组织，以便淬火后获得细小马氏体



## ● 上次课回顾

### 1) 亚共析钢的淬火

淬火温度  $\rightarrow A_{c3} + 30 \sim 50^{\circ}\text{C}$

若加热温度过高  $\rightarrow$  [出现粗大组织  
导致淬火失败]

若加热温度过低  $\rightarrow$  淬火组织中出现二次渗碳体

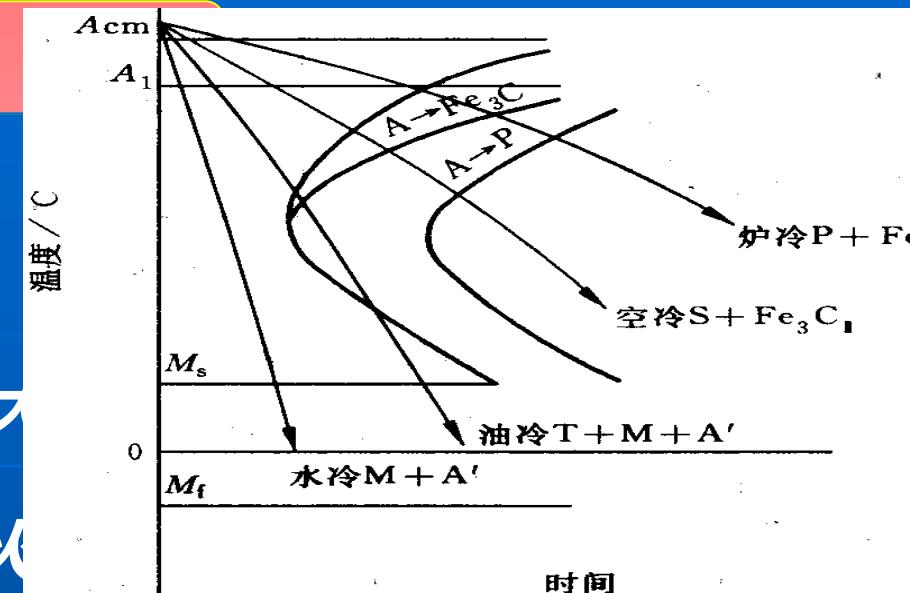
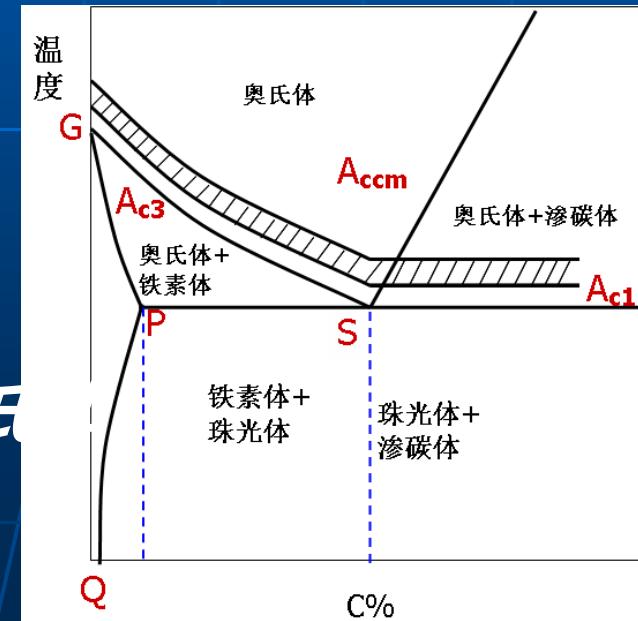


图 2-79 过共析钢过冷 A 的连续冷却转变  
反应不足

## 淬火组织

含碳量  $\leq 0.6\%$   $\rightarrow$  马氏体

含碳量  $> 0.6\%$   $\rightarrow$  马氏体 + 少量的残余奥氏体



## ● 上次课回顾

### 2) 共析钢和过共析钢的淬火

淬火温度  $\rightarrow A_{c1} + 30-50^{\circ}\text{C}$

共析钢淬火后的组织



淬火前经  
过球化退  
火

马氏体+少量残余奥氏体

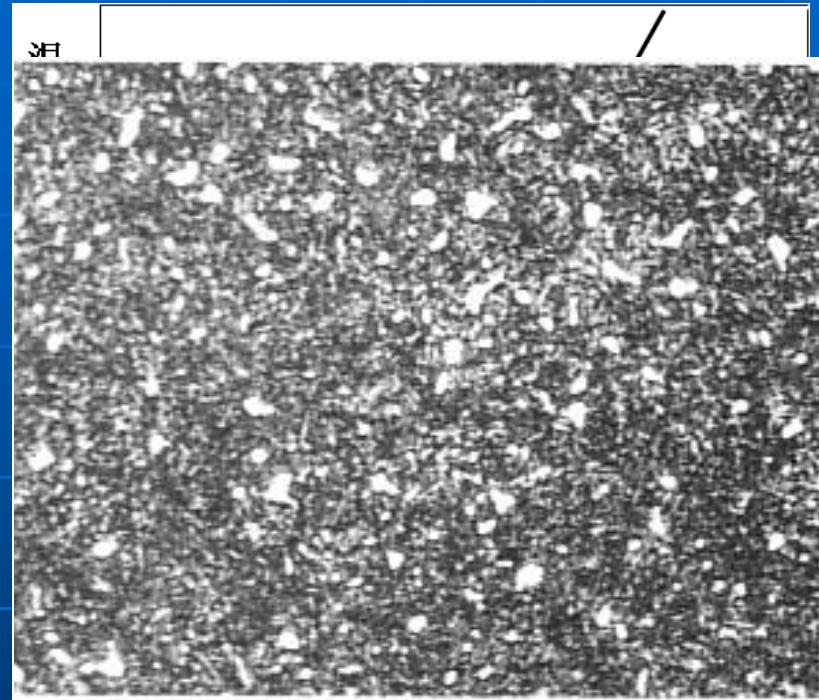
过共析钢淬火后的组织



细马氏体+颗粒状渗碳  
体+少量残余奥氏体



分散分布的颗粒状渗碳体  
对钢的硬度和耐磨性有利



T12钢的淬火组织

(400X)

## ● 本次课内容

2.4 钢的表面热处理和化学热处理

2.5 钢的合金化

2.5.1 合金元素与铁、碳的作用

2.5.2 合金元素对Fe-Fe<sub>3</sub>C相图的影响

2.5.3 合金元素对钢热处理的影响

2.5.4 合金元素对钢的工艺性能的影响

2.5.5 合金元素对钢的性能的影响

2.5.6 合金化的工程应用

2.6 表面技术（自学）

## ● 2.4 钢的热处理(heat treatment of steels)

### 2.4.4 钢的表面热处理(surface treatments)

仅对钢的表面加热、冷却而不改变其成分的热处理工艺称为**表面热处理**, 也叫**表面淬火**。

实际生产中常用**感应加热表面淬火**。

## ● 2.4 钢的热处理(heat treatment of steels)

### 2.4.4 钢的表面热处理(surface treatment)

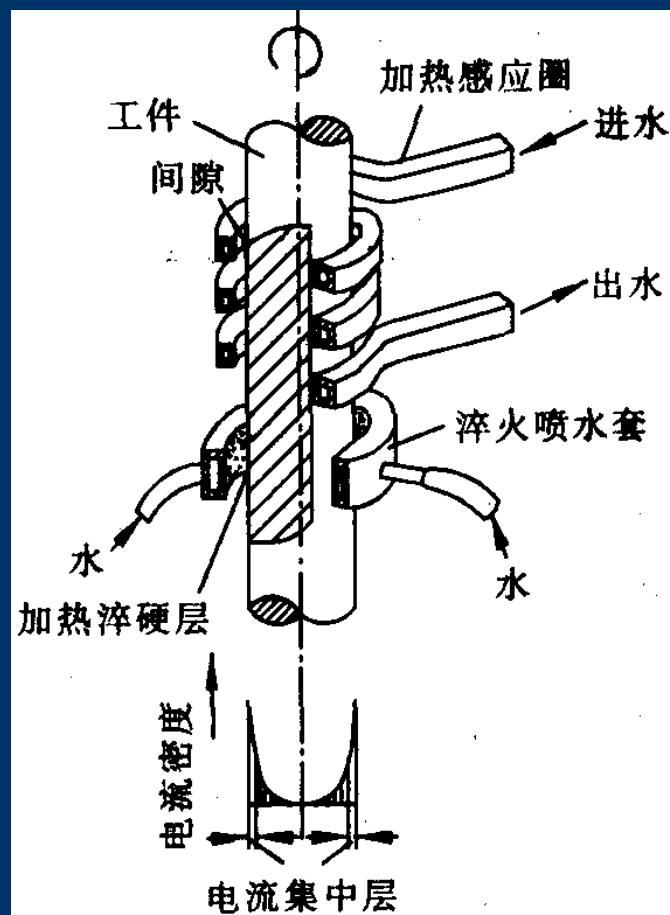
#### 1、感应加热表面热处理(induction heating surface treatment)

感应圈通交流电，内部产生交变磁场。

工件置于磁场中，工件内部产生感应电流，电阻的作用工件被加热。

芯部是否加热？交流电集肤效应，工件表面的电流密度大，表面温度快速升高到相变点以上。中心电流密度几乎为零，温度仍在相变点以下。

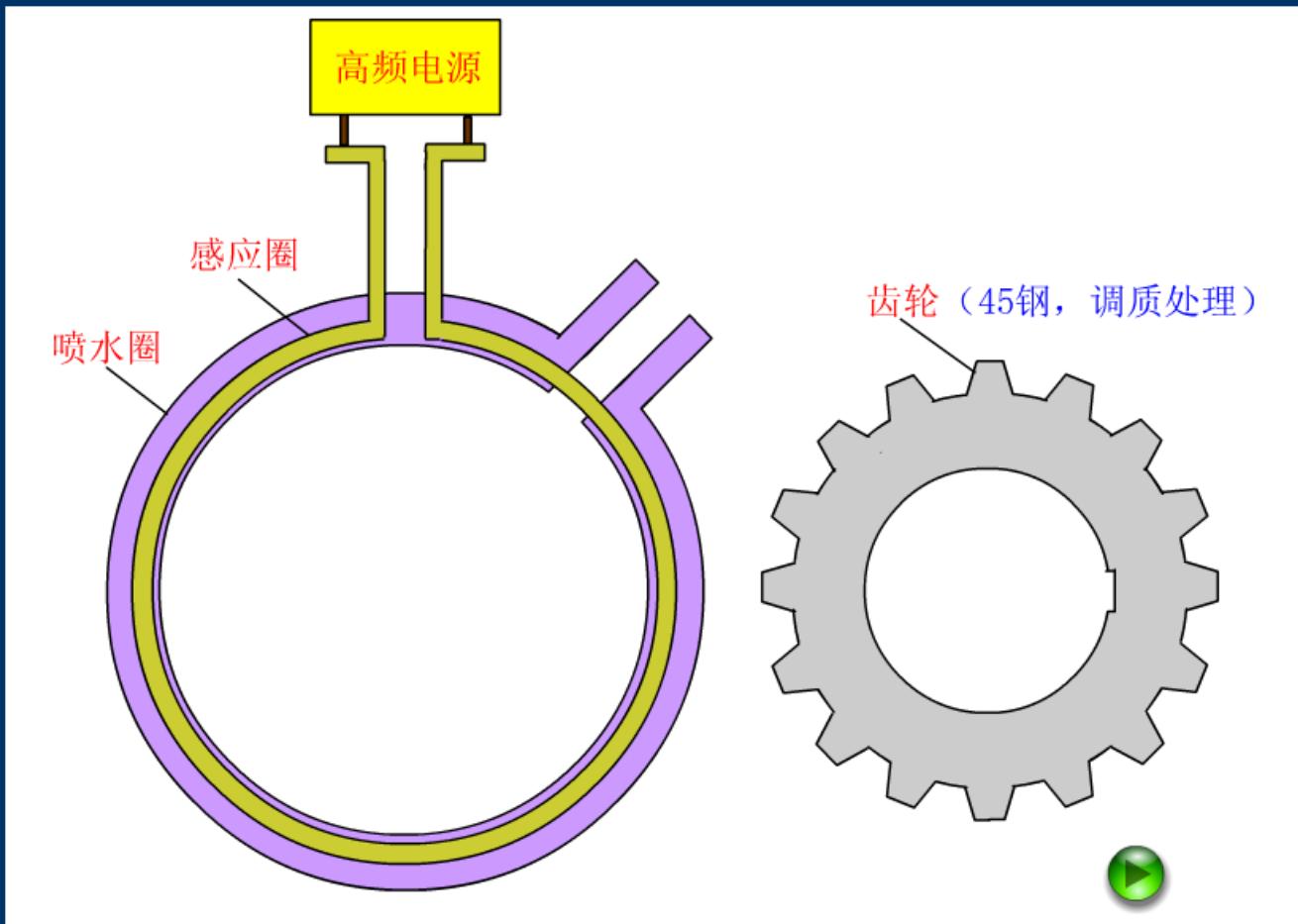
用水或聚乙烯醇水溶液喷射，表面被淬火。



## ● 2.4 钢的热处理(heat treatment of steels)

### 2.4.4 钢的表面热处理(surface treatments)

#### 1、感应加热表面热处理(induction hardening)



## ● 2.4 钢的热处理(heat treatment of steels)

### 2.4.4 钢的表面热处理(surface treatments)

$\delta$  电流透入深度  
 $f$  电流频率

#### 1、感应加热表面热处理(induction hardening)

(1) 原理

加热+喷淋+自回火

(2) 钢种

$$\delta = \frac{500}{\sqrt{f}} \text{ (mm)}$$

(3) 特点

中碳(低合金钢, 不含马氏体)

感应加热时，钢的奥氏体化在较大的过热度(Ac<sub>3</sub>以上80 °C~150 °C)进行，晶核多，时间短，晶粒细，叫隐晶马氏体。

- 表面为隐晶马氏体，比一般淬火高2~3HRC，而且脆性较低。
- 表面层膨胀，产生残余压应力大，显著提高工件的疲劳强度。
- 加热速度快，无保温时间，工件氧化脱碳少，淬火变形小。
- 加热温度和淬硬层厚度容易控制，便于机械化和自动化。
- 设备较贵，形状复杂的零件处理比较困难。

## ● 2.4 钢的热处理(heat treatment of steels)

### 2.4.4 钢的表面热处理(surface treatments)

#### 2、火焰加热表面热处理(flame hardening)

(1) 原理

设备简单；成本低；生产率低；表面过热程度不同，质量难控制。

(2) 特点

(3) 应用

单件、小批量生产及大型零件的表面淬火。

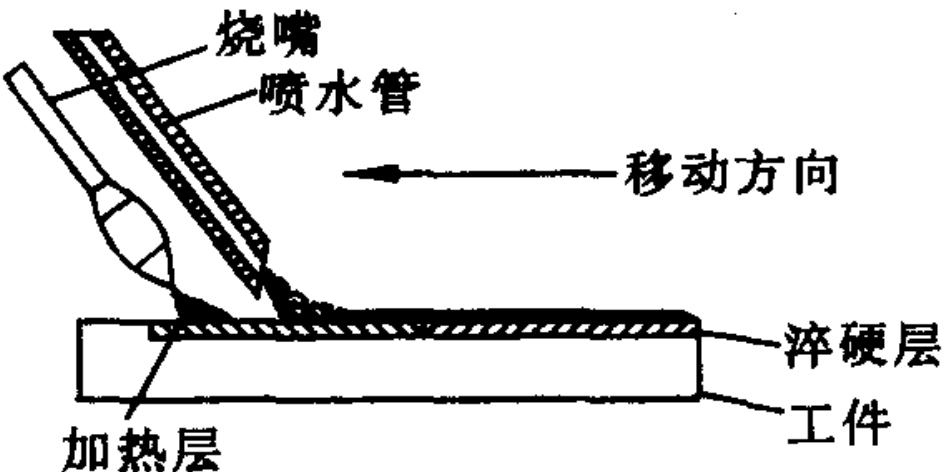


图 2-93 火焰加热表面淬火示意图

火焰加热表面淬火，是用乙炔-氧或煤气-氧等火焰加热工件表面，进行淬火。

## ● 2.4 钢的热处理(heat treatment of steels)

### 2.4.5 钢的化学热处理(thermo-chemical treatment)

#### 化学热处理(thermo-chemical treatment)

将钢件置于一定温度的活性介质中保温，使一种或几种元素渗入它的表面，改变其化学成分和组织，达到改进表面性能，满足技术要求的热处理过程。

目的：使低碳钢件表面获得高碳浓度，在经过适当热处理后，提高表面的硬度、耐磨性和疲劳强度，而使心部仍保持良好的韧性和塑性。

**渗碳 氮化 碳氮共渗**

**渗硫 渗铝 渗铬**

## 2.4 钢的热处理(heat treatment of steels)

### 2.4.5 钢的化学热处理(thermo-chemical treatment)

#### 1、渗碳(Carburizing)

将工件装在密封的渗碳炉中，加热到 $900\sim950^{\circ}\text{C}$  (A3线以上)，向炉内滴入易分解的有机液体（如煤油等），或直接通入渗碳气体（如煤气等），使钢件表面渗碳。

钢件表面渗碳。表面获得高浓度碳（碳质量分数约1.0%）。

**渗碳温度：**一般为 $900\sim950^{\circ}\text{C}$ 。

**渗碳时间：**决定于渗碳层厚度；

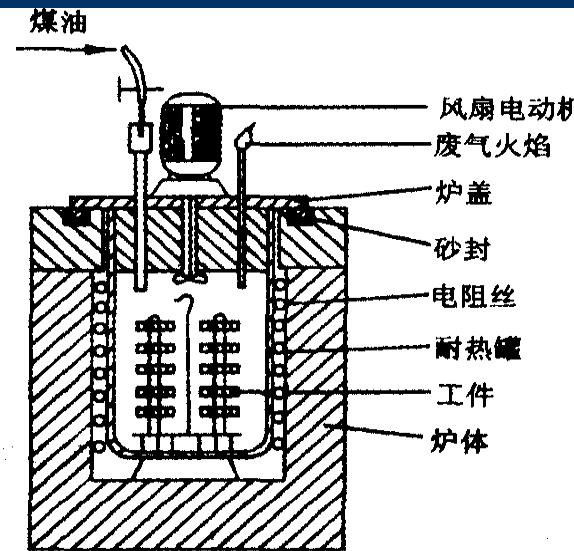


图 2-94 气体渗碳装置示意图

## ● 2.4 钢的热处理(heat treatment of steels)

### 2.4.5 钢的化学热处理(thermo-chemical treatment)

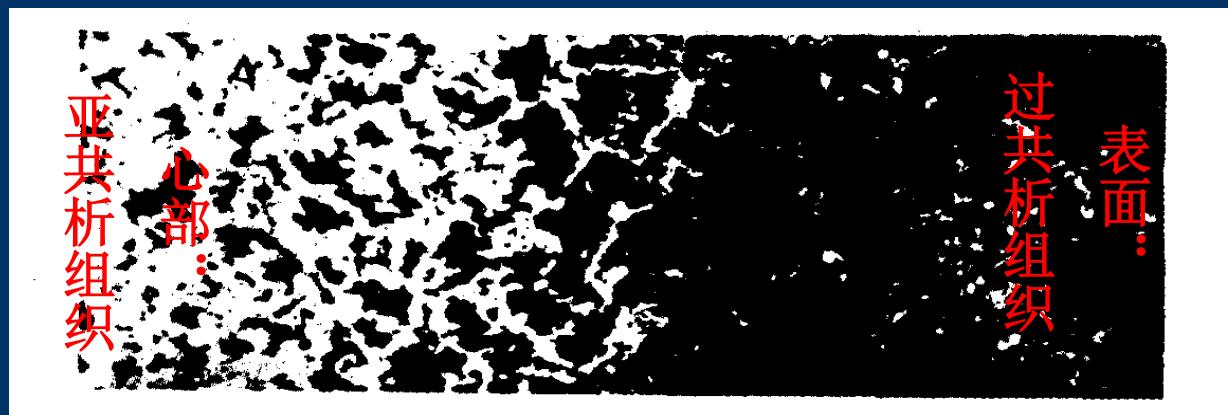
#### 1、渗碳(Carburizing)

**低碳钢(20钢)渗碳缓冷(随炉冷却)后的显微组织**

**表面 珠光体+二次渗碳体**

**过渡区 珠光体**

**心部 珠光体+铁素体**



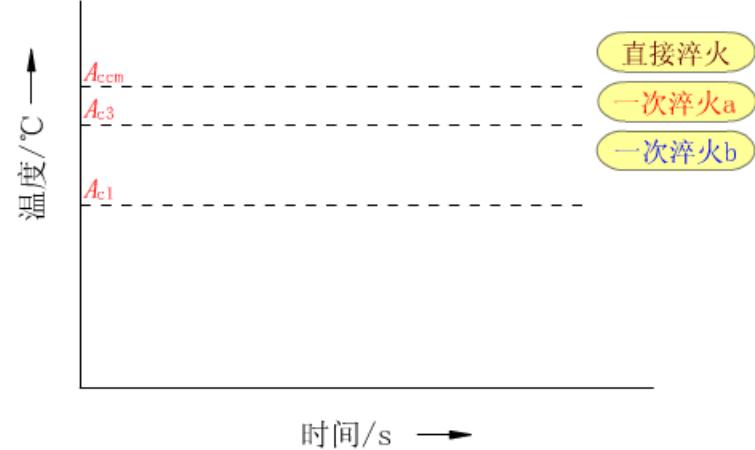
**低碳钢渗碳缓冷后的显微组织**

## ● 2.4 钢的热处理(heat treatment of steels)

### 2.4.5 钢的化学热处理(thermochromic heat treatment of steels)

#### 1、渗碳(Carburizing)

##### (4) 渗碳后的热处理



① 直接淬火：渗碳后直接淬火，或冷却到 $830\sim850^{\circ}\text{C}$ 后淬火。

- 优点：工艺简单，效率高，节约能源，成本低，脱碳少
- 缺点：A晶粒大，淬火后M较粗，A残也较多，所以耐磨性较低，变形较大

② 一次淬火：渗碳缓冷后，重新加热到临界温度以上保温后淬火

③ 二次淬火：第一次淬火加热温度为 $A_{\text{C}3}$ 线上 $30\sim50^{\circ}\text{C}$ ，改善心部组织；第二次淬火加热温度为 $A_{\text{C}1}$ 线上 $30\sim50^{\circ}\text{C}$ ，细化表层组织，获得细M和粒状二次渗碳体。淬火后低温回火

## ● 2.4 钢的热处理(heat treatment of steels)

### 2.4.5 钢的化学热处理(thermo-chemical treatment)

#### 1、渗碳(Carburizing)

##### (5) 钢渗碳、淬火、回火后的组织和性能

###### ① 组织（渗碳、淬火后一般低温回火）

- 表层：高碳回火马氏体 + 碳化物 + 残余奥氏体；
- 心部：低碳回火马氏体（或含铁素体、屈氏体）。

###### ② 性能：

- 表面硬度高：耐磨性较好，心部韧性较好；

**表面硬度 $58 \text{ HRC} \sim 64 \text{ HRC}$ 以上, 耐磨性好; 心部硬度 $30 \text{ HRC} \sim 45 \text{ HRC}$ , 心部强韧。**

- 疲劳强度高：表层体积膨胀大，心部体积膨胀小，表层中造成压应力，零件的疲劳强度提高。

**实际应用：20、20Cr、20CrMnTi等低碳钢和低碳合金钢制造的齿轮、轴、销。**

## 2.4 钢的热处理(heat treatment of steels)

### 2.4.5 钢的化学热处理(thermochromic treatment of steels)

#### 2、氮化 (Nitriding)

##### (1) 氮化工艺的特点



氨被加热分解出活性氮原子

在一定温度下使活性氮原子渗入工件表面的化学热处理工艺。

- 氮化前零件须经调质处理，对于高精度零件，氮化前精加工后还要进行消除内应力的退火。
- 氮化温度低，约 $500^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$ 。
- 氮化时间长，约 $20\text{h} \sim 50\text{h}$ 。
- 氮化层厚度小，约 $0.3 \sim 0.5\text{mm}$ 。

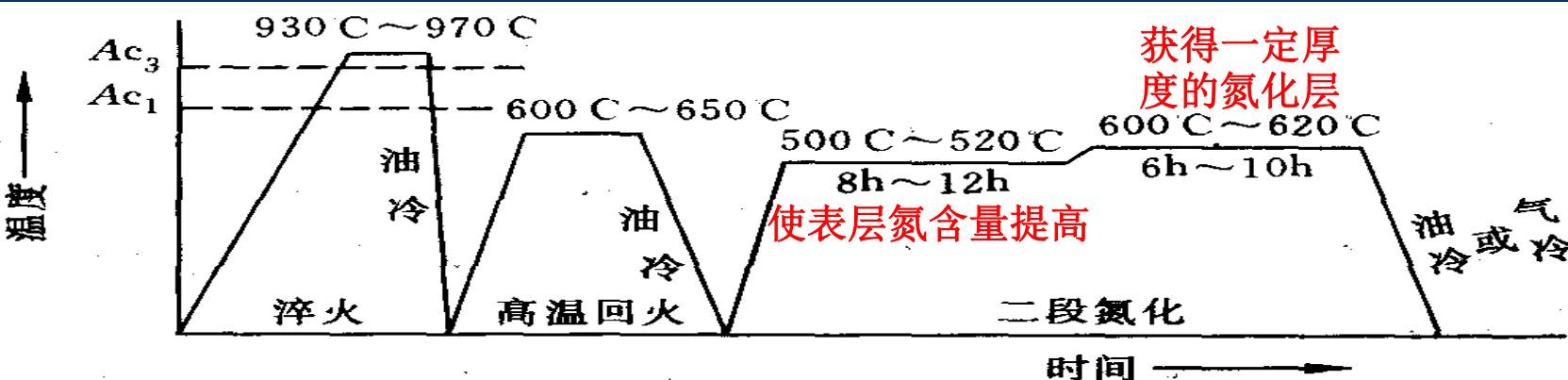


图 2-97 38CrMoAl 钢氮化工序曲线图

## ● 2.4 钢的热处理(heat treatment of steels)

### 2.4.5 钢的化学热处理(thermochromic heat treatment of steels)

#### 2、氮化 (Nitriding)

##### (2) 组织

- 最外层为一白色的氮化物薄层，很脆，有时精磨磨去；
- 中间暗黑色为含氮共析体；
- 心部为原始回火索氏体组织。

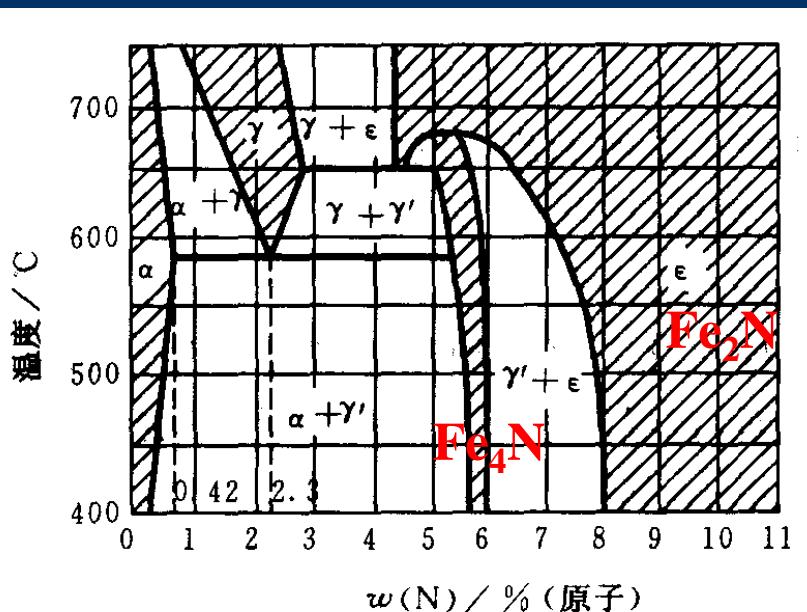
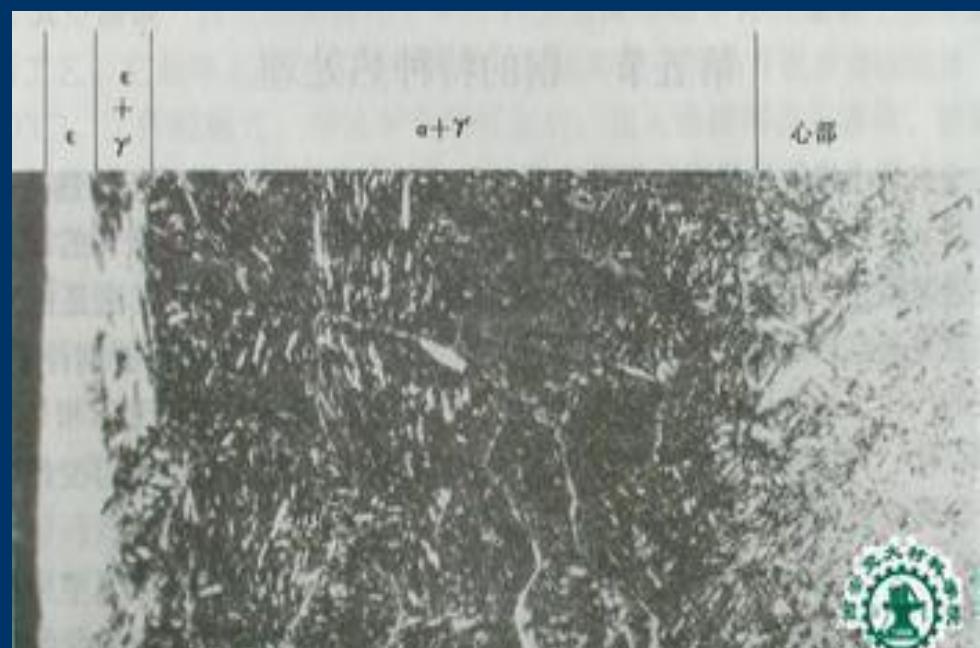


图 2-98 Fe-N 相图



钢的氮化层显微组织

## ● 2.4 钢的热处理(heat treatment of steels)

### 2.4.5 钢的化学热处理(thermochromic heat treatment of steels)

#### 2、氮化 (Nitriding)

##### (3) 氮化用钢

##### (4) 性能

- 碳钢氮化时形成的氮化物高温下不稳定。氮化钢中常加入Al、Cr、Mo、W、V等合金元素，它们的氮化物很稳定，使钢的硬度提高，在600~650°C也不降低。

- 常用的氮化钢有：35CrAlA, 38CrMoAlA, 38CrWVAIA等
- 应用：螺杆、丝杠、镗床主轴

- ① 钢件氮化后具有很高的硬度(1000HV~1100HV)，在600~650°C下保持不下降，具有很高的耐磨性和热硬性
- ② 钢氮化后，渗层体积增大，造成表面压应力，使疲劳强度大大提高。
- ③ 氮化温度低，零件变形小。
- ④ 氮化后表面形成致密的化学稳定性较高的 $\epsilon$ 相层，耐蚀性好，在水中、蒸气和碱性溶液中均很稳定。

## 2.4 钢的热处理(heat treatment of steels)

### 2.4.5 钢的化学热处理(thermochromic heat treatment of steels)

同时向零件表面渗入碳和氮的化学热处理工艺，也称氰化。

#### 3、碳氮共渗(Carbonitriding)

##### (1) 高温碳氮共渗工艺

##### (2) 碳氮共渗后的机械性能

#### 4、各种表面/化学热处理比较

- ① 共渗及淬火后，得到的是含氮马氏体，耐磨性比渗碳更好
- ② 共渗层比渗碳层具有较高的压应力，因而有更高的疲劳强度，耐蚀性也较好。

表 2-13 几种表面热处理和化学热处理的比较

处理方法	表面淬火	渗碳	氮化	碳氮共渗
处理工艺	表面加热淬火，低温回火	渗碳，淬火 低温回火	氮化	碳氮共渗，淬火， 低温回火
生产周期	很短，几秒到几分钟	长，约 3h~9h	很长，约 20h~50h	短，约 1h~2h
表层深度/mm	0.5~7	0.5~2	0.3~0.5 65~70 (1000HV~1100HV)	0.2~0.5
硬度/HRC	55~58	60~65		58~63
耐磨性	较好	良好	最好	良好
疲劳强度	良好	较好	最好	良好
耐蚀性	一般	一般	最好	较好
热处理后变形	较小	较大	最小	较小
应用举例	机床齿轮 曲轴	汽车齿轮 爪型离合器	油泵齿轮 制动器凸轮	精密机床主轴 丝杠

2.4

2.4.8

(1)



FIXAL 菲克苏  
www.4006681092.net



材料：  
45钢

830~840°C保温后，水淬  
580~620°C回火后，油冷

S回

综合力学  
性能好

## (2) 自行车链条滚轮的热处理

材料：  
15钢

920~930°C渗碳，水淬  
180~200°C低温回火

表面：高碳M回+Fe<sub>3</sub>CII+A'  
心部：低碳M回

## (3) 手锯锯条的热处理

材料：  
T10钢

760~770°C加热，水淬  
刃部：180~200°C低温回火  
两端：350~400°C中温回火

刃部：高碳M回+Fe<sub>3</sub>CII+A'  
两端：T回+Fe<sub>3</sub>CII

## ● 2.5 钢的合金化

合金化的作用：

- 提高钢的淬透性
- 提高钢的回火稳定性
- 提高钢的强度和屈强比
- 满足特殊性能要求

合金元素主要以三种形式存在钢中：

- 溶于铁中，形成固溶体；
- 与碳化合，形成碳化物；
- 形成金属间化合物。

## 2.5 钢的合金化

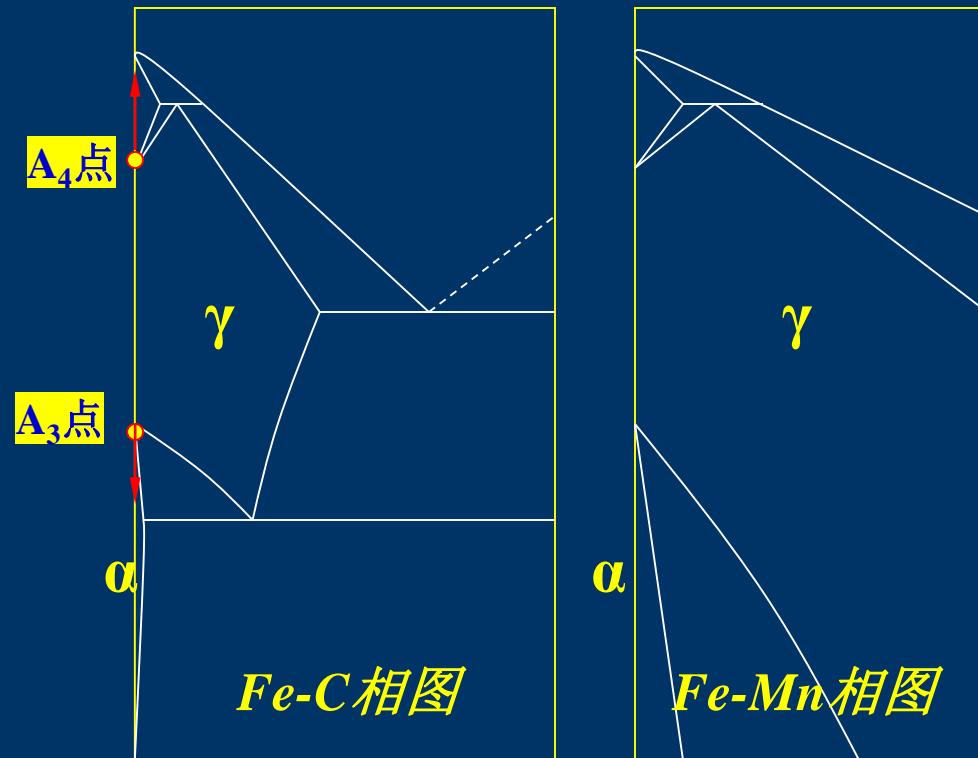
### 2.5.1 合金元素与铁、碳的作用

#### 1、与铁形成固溶体

✓ 除Pb外，其余合金元素均溶解于铁中，形成合金F或合金A。

✓ C、Mn、Ni等元素的加入，使 $\gamma$ 相区扩大，也称为A稳定化元素。

✓ Mn、Ni等元素加入到一定量时，可在室温下获得 $\gamma$ 相区，称为完全扩大 $\gamma$ 相区的元素。



## 2.5 钢的合金化

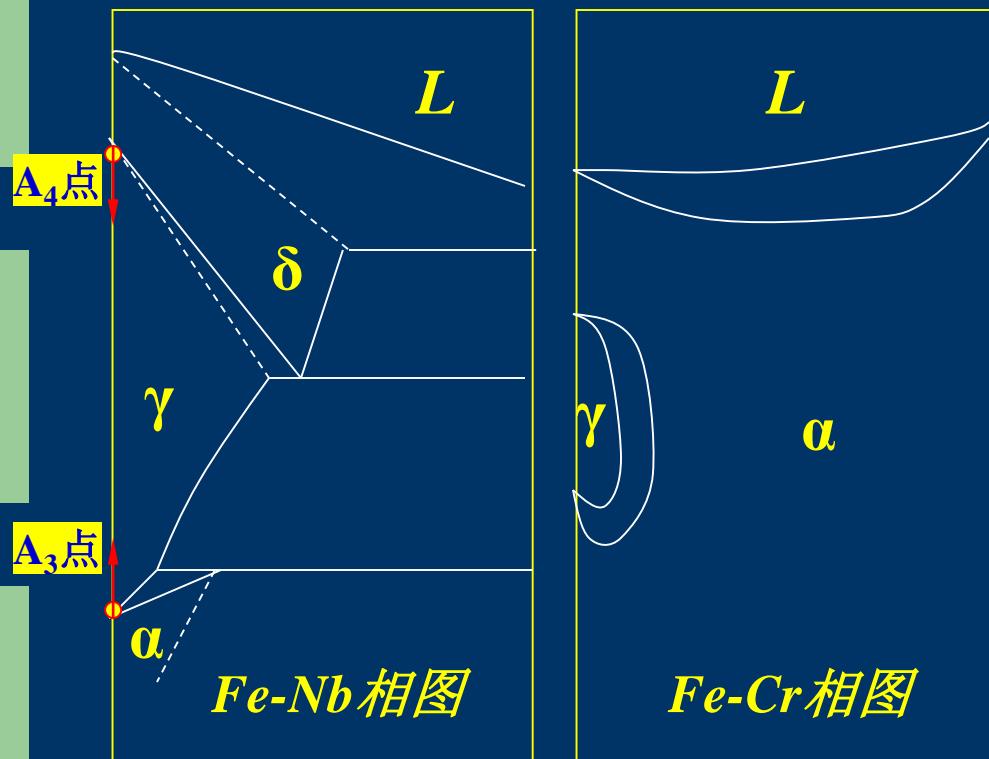
### 2.5.1 合金元素与铁、碳的作用

#### 1、与铁形成固溶体

✓ 除Pb外，其余合金元素均溶解于铁中，形成合金F或合金A。

✓ Cr、Mo、Nb(铌)等元素的加入，使 $\gamma$ 相区缩小，称为F稳定化元素。

✓ Cr、Mo等元素称为完全封闭 $\gamma$ 相区的元素。



## ● 2.5 钢的合金化

### 2.5.1 合金元素与铁、碳的作用

请背下来

#### 2、形成合金碳化物 (alloy carbide)

合金元素按与钢中碳的亲和力的大小, 分为 碳化物形成元素、非碳化物形成元素.

● 非碳化物形成元素: Ni、Co、Cu、Si、Al、N、B 等。都溶于铁素体和奥氏体中。

● 碳化物形成元素: Zr、Ti、Nb、V、W、Mo、Cr、Mn等(锆、钛、铌、钒、钨、钼、铬、锰, 按碳化物的稳定性程度由强到弱排列)

形成合金渗碳体:  $(Fe, Cr)_3C$

形成合金碳化物:  $Cr_3C_2$ 、 $VC$ 、 $WC$

## 2.5 钢的合金化

### 2.5.1 合金元素与铁、碳的作用

#### 2、形成合金碳化物 (alloy carbide)

表 2-14 钢中常见碳化物的类型及基本特性

碳化物类型	M <sub>3</sub> C		M <sub>23</sub> C <sub>6</sub>	M <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	M <sub>2</sub> C		M <sub>6</sub> C		MC		
常见碳化物	Fe <sub>3</sub> C	(Fe, Me) <sub>3</sub> C*	Cr <sub>23</sub> C <sub>6</sub>	Cr <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	W <sub>2</sub> C	Mo <sub>2</sub> C	Fe <sub>3</sub> W <sub>3</sub> C	Fe <sub>3</sub> Mo <sub>3</sub> C	VC	NbC	TiC
硬度/HV	900~1050	稍大于 900~1050	1000~1100	1600~1800			1200~1300		1800~3200		
熔点/℃	~1650		1550	1665					2830	3500	3200
在钢中溶解的 温度范围	Ac <sub>1</sub> 至 950℃~ 1000℃	Ac <sub>1</sub> 至 1050℃ ~1200℃	950℃~ 1100℃	大于 950℃, 直到熔点	回火时析出, 大于 650℃~ 700℃ 时转变 为 M <sub>6</sub> C		1150℃ ~1300℃		大于 1100℃~ 1150℃		几乎 不溶解
含有此类碳 化物的钢种	碳钢	低合金钢	高合金工 具钢及不 锈钢、耐 热钢	少数高合 金工具钢	高合金工具钢, 如高速钢, Cr12MoV, 3Cr2W8V 等	同左		钒质量分 数大于 0.3%的 所有含钒 合金钢	几乎所有 含铌、钛的 钢种		

## ● 2.5 钢的合金化

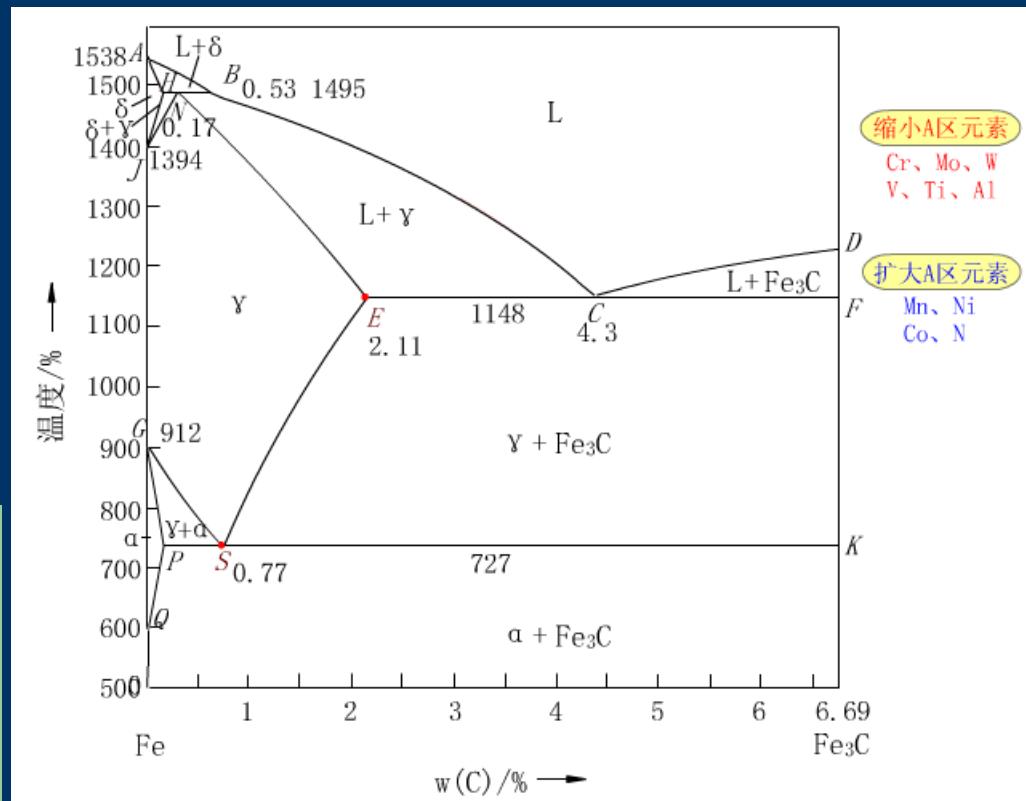
### 2.5.2 合金元素对Fe-Fe<sub>3</sub>C相图的影响

#### 1、对奥氏体和铁素体存在范围的影响

✓ Mn、Ni、Co、C、N、Cu扩大Fe-Fe<sub>3</sub>C相图中的γ相区，使S点下降；  
✓ Cr、Mo、W、V、Ti、Al、Si等缩小Fe-Fe<sub>3</sub>C相图中的γ相区，使S点上升

✓ 合金元素使共析反应在一个温度范围内进行。

几乎所有的合金元素都使S点和E点左移，强碳化物形成元素的作用强烈。



## ● 2.5 钢的合金化

### 2.5.2 合金元素对Fe-Fe<sub>3</sub>C相图的影响

#### 2、对Fe-Fe<sub>3</sub>C相图临界点（S和E点）的影响

- ✓ 扩大γ相区的元素使E、S点下移。
- 缩小γ相区的元素使E、S点上移。

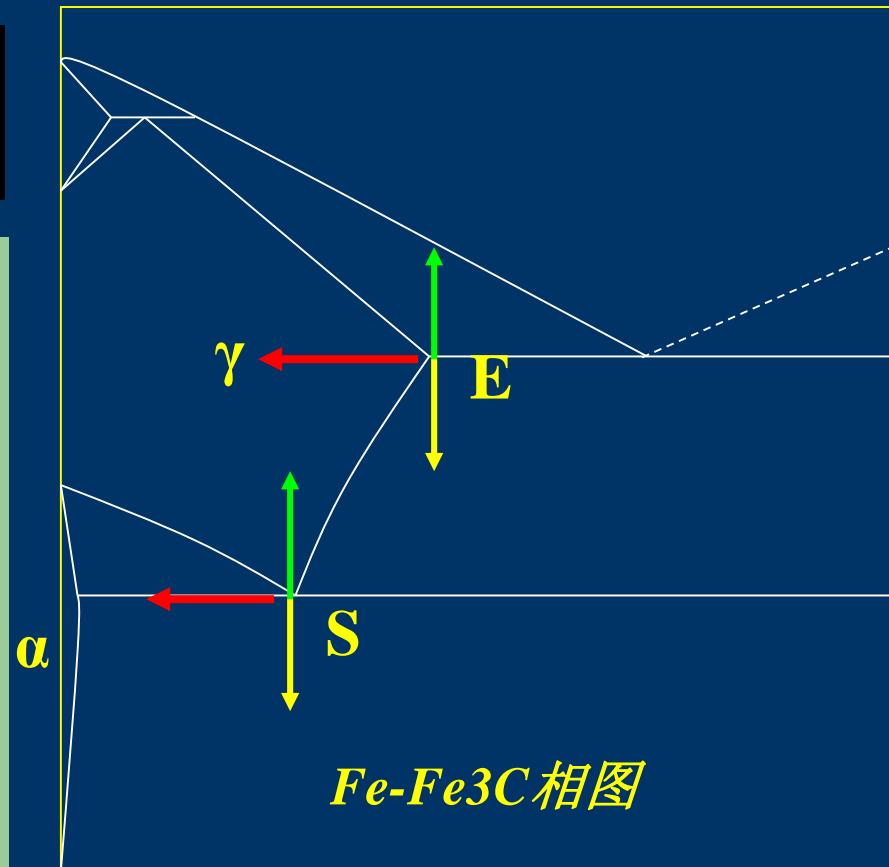
Ni或Mn的含量较多时，可使钢在室温下得到单相奥氏体组织。

如1Cr18Ni9奥氏体不锈钢

ZGMn13高锰钢

Cr、Ti、Si等超过一定含量时，可使钢在室温获得单相铁素体组织。

如1Cr17Ti高铬铁素体不锈钢



## ● 2.5 钢的合金化

### 2.5.3 合金元素对钢热处理的影响

#### 1、合金元素对加热时组织转变的影响

##### (1) 对A形成速度的影响

- Cr、Mo、W、V等强碳化物形成元素与碳形成难溶于奥氏体的合金碳化物，显著减慢奥氏体形成速度；
- Co、Ni等部分非碳化物形成元素，因增大碳的扩散速度，使奥氏体的形成速度加快；
- Al、Si、Mn等合金元素对奥氏体形成速度影响不大。

## ● 2.5 钢的合金化

### 2.5.3 合金元素对钢热处理的影响

#### 1、合金元素对加热时组织转变的影响

##### (2) 对A晶粒大小的影响

- 强烈阻碍晶粒长大的元素：**V、 Ti、 Nb、 Zr等；**
- 中等阻碍晶粒长大的元素：**W、 Mo、 Cr等；**
- 对晶粒长大影响不大的元素：**Si、 Ni、 Cu等；**
- 促进晶粒长大的元素：**Mn、 P等。**

## ● 2.5 钢的合金化

### 2.5.3 合金元素对钢热处理的影响

#### 2、合金元素对过冷A分解转变的影响

● **对淬透性影响** 除Co外，几乎所有合金元素都增大过冷奥氏体的稳定性，推迟珠光体类型组织的转变，使C曲线右移，即提高钢的淬透性。

常用提高淬透性的元素：

Mo、Mn、Cr、Ni、Si、B等。

两种或多种合金元素同时加入(铬锰、铬镍)，比单个元素对淬透性的影响要强得多。

**老师提示** 加入的合金元素，只有溶于奥氏体时，才能提高淬透性。如果未完全溶解，则碳化物会成为珠光体的核心，反而降低钢的淬透性。

## ● 2.5 钢的合金化

### 2.5.3 合金元素对钢热处理的影响

#### 2、合金元素对过冷A分解转变的影响

● 对残余奥氏体量的影响 除Co、Al外，多数合金元素都使 $M_s$ 和 $M_f$ 点下降。

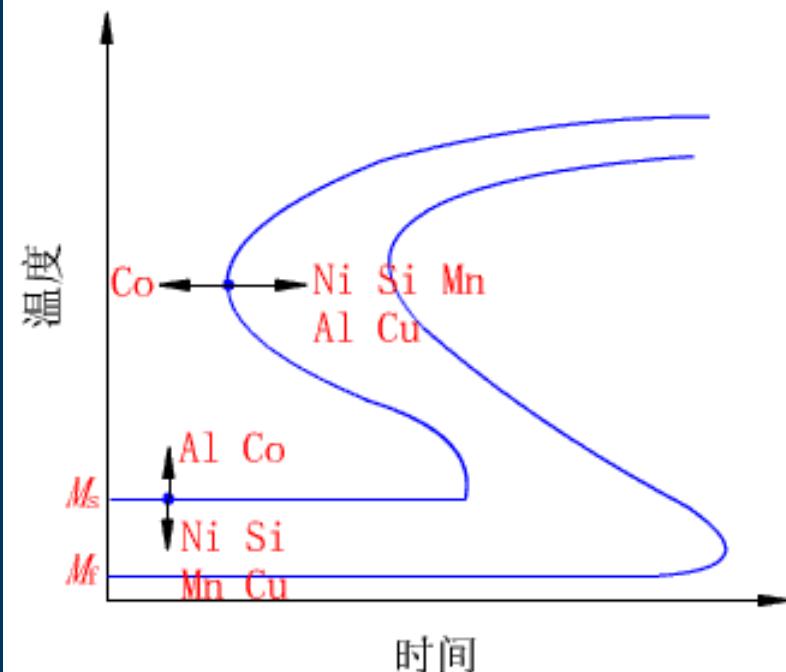
作用大小的次序：Mn、Cr、Ni、Mo、W、Si。Mn的作用最强，Si影响很小。

$M_s$ 和 $M_f$ 点的下降，使淬火后钢中残余奥氏体量增多。

残余奥氏体量过多时，进行冷处理(冷至 $M_f$ 点以下)，转变为马氏体；

或进行多次回火，残余奥氏体因析出合金碳化物会使 $M_s$ 、 $M_f$ 点上升，在回火后冷却过程中转变为马氏体或贝氏体。

#### 非碳化物形成元素的影响



## 2.5 钢的合金化

### 2.5.3 合金元素对钢热处理的影响

#### 3、合金元素对回火转变的影响

##### (1) 提高回火稳定性

钢的回火稳定性  
(tempering resistance)

钢在回火时，M分解，残余A转变，F再结晶，碳化物长大（钢软化）。钢抵抗软化的能力，称为回火稳定性。

- 推迟马氏体的分解和残余奥氏体的转变(在较高温度才开始分解和转变);
- 提高铁素体的再结晶温度;
- 使碳化物难以聚集长大。

合金元素提高钢的回火稳定性（钢对回火软化的抗力）。

提高回火稳定性作用较强的合金元素有：

V、Si、Mo、W、Ni、Co。

## ● 2.5 钢的合金化

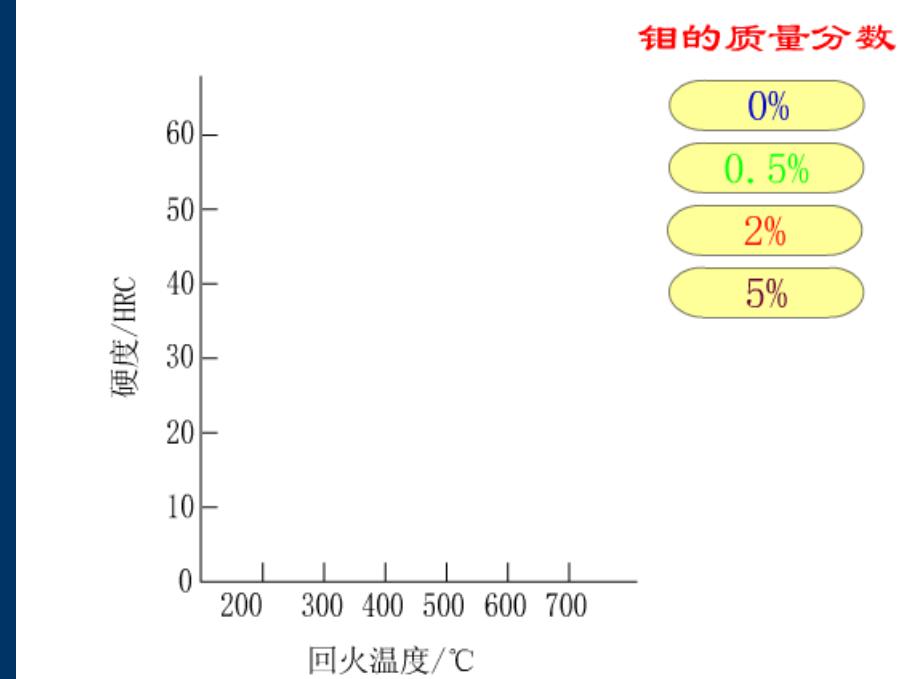
### 2.5.3 合金元素对钢热处理的影响

#### 3、合金元素对回火转变的影响

(2) 产生二次硬化 (secondary hardening) :

Mo、W、V含量较高的合金钢回火时，硬度不是随回火温度升高单调降低，到某一温度(约400 °C)后开始增大，并在更高温度(一般为550 °C左右)达到峰值。称**二次硬化现象**。

碳质量分数为0.35%  
的钼钢硬度与回火  
温度的关系



## ● 2.5 钢的合金化

### 2.5.3 合金元素对钢热处理的影响

#### 3、合金元素对回火转变的影响

(2) 产生二次硬化 (secondary hardening) :

请背下来

#### 产生二次硬化的因素

(1) 当回火温度低于450 °C时, 钢中析出渗碳体, 硬度降低。

在450 °C以上渗碳体溶解, 钢中开始沉淀出弥散稳定的难熔碳化物Mo<sub>2</sub>C、W<sub>2</sub>C、VC等, 使硬度升高, 称为沉淀硬化。

(2) 回火时冷却过程中残余奥氏体转变为马氏体的二次淬火也导致硬度升高。

## ● 2.5 钢的合金化

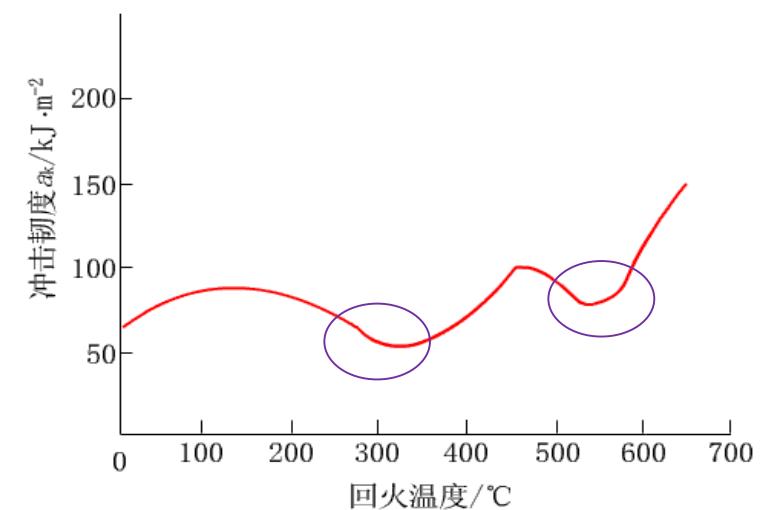
### 2.5.3 合金元素对钢热处理的影响

#### 3、合金元素对回火转变的影响

##### (3) 增大回火脆性

###### 回火脆性

钢在 $250\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $500\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 两个温度区间回火后，钢的冲击韧度明显下降。称回火脆性。



## ● 2.5 钢的合金化

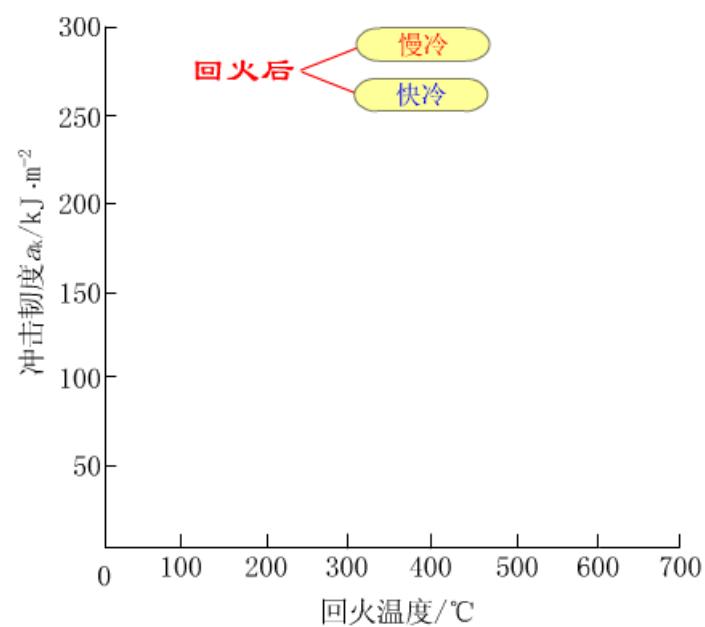
### 2.5.3 合金元素对钢热处理的影响

#### 3、合金元素对回火转变的影响

##### (3) 增大回火脆性

和碳钢一样，合金钢也产生回火脆性，而且更明显。这是合金元素的不利影响。

铬镍钢的韧性与  
回火温度的关系



## 2.5 钢的合金化

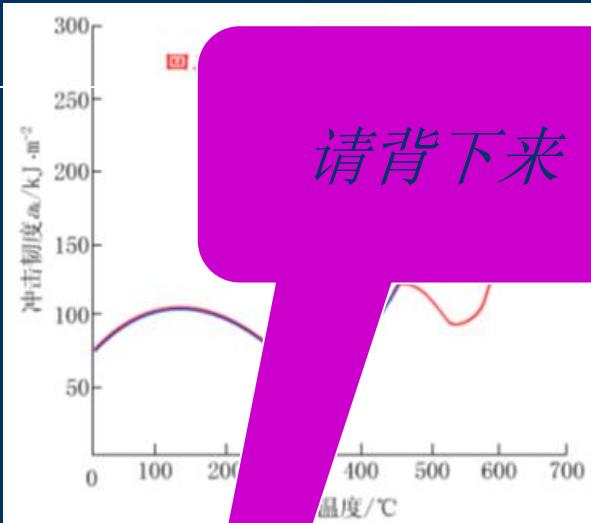
### 2.5.3 合金元素对钢热处理的影响

#### 3、合金元素对回火转变的影响

##### (3) 增大回火脆性

**高温回火脆性：**

在 $450^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$ 间发生的第二类回火脆性，主要与某些杂质元素以及合金元素本身在原奥氏体晶界上的严重偏聚有关，多发生在含Mn、Cr、Ni等元素的合金钢中。



请背下来

**老师提示** 回火后快冷(通常用油冷)可防止回火脆性发生。钢中加入适当Mo或W( $0.5\% \text{Mo}, 1\% \text{W}$ )可基本上消除这类脆性。

## ● 2.5 钢的合金化

### 2.5.4 合金元素对钢的工艺性能的影响

1、合金元素对钢铸造性能的影响

2、合金元素对钢塑性加工性能的影响

3、合金元素对钢焊接性能的影响

4、合金元素对钢切削性能的影响

5、合金元素对钢热处理工艺性能的影响

Cr、Mo、V、Ti、Al等在钢中形成高熔点碳化物或氧化物质点，增大钢的粘度，降低流动性，使铸造性能恶化。

合金钢的冷、热加工工艺性能比碳钢都差

合金元素质量分数愈高，焊接性能愈差。

合金钢的切削性能一般比碳钢差。

- 1) 淬透性得到提高
- 2) 回火脆化倾向严重

## ● 2.5 钢的合金化

### 2.5.5 合金元素对钢的性能的影响

#### 1、合金元素对钢的力学性能的影响

(1) 提高强度

(2) 提高淬透性

(3) 提高回火稳定性

(a) 固溶强化：合金元素溶入铁素体中产生固溶强化；

(b) 位错强化：合金中的马氏体相变等会产生大量的位错

(c) 细晶强化：V、Ti、Nb、Al等细化A晶粒，产生~

(d) 第二相（沉淀和弥散）强化：VC等第二相会产生~

(e) S点左移，使组织中的P含量增多，使钢的强度提高

(f) C曲线右移，得到更细的P组织，更多的B甚至M组织

#### 2、合金元素对钢的其他性能的影响

(1) 提高热硬性

(2) 提高耐热性

(3) 提高耐蚀性

(4) 提高耐磨性

## ● 2.5 钢的合金化

### 2.5.6 合金化的工程应用

#### (1) 40钢与40Cr的比较

40钢调质处理后  $\sigma_s$  355MPa

40Cr调质处理后  $\sigma_s$  785 MPa

#### (2) 20钢与20Cr13的比较

20钢为优质碳素结构钢，其耐蚀、耐热性能差

20Cr13为马氏体不锈钢，其耐蚀、耐热性能好

## 本节小结

### 常用合金元素

非碳化物形成元素：Ni、Co、Cu、Si、Al、N、B

碳化物形成元素：Zr、Ti、Nb、V、W、Mo、Cr、

M

### 合金元素作用

强化作用：固溶强化、细晶强化、第二相强化、  
二次硬化

改善热处理性能：提高淬透性、回火稳定性，  
消除回火脆性（Mo、W）

提高其它性能：红硬性、耐蚀性、耐磨性

## 课后作业

### 增加作业（简答题）

发到优慕课（北京化工大学在线综合教育平台）

提交截止日期：2023年3月31日