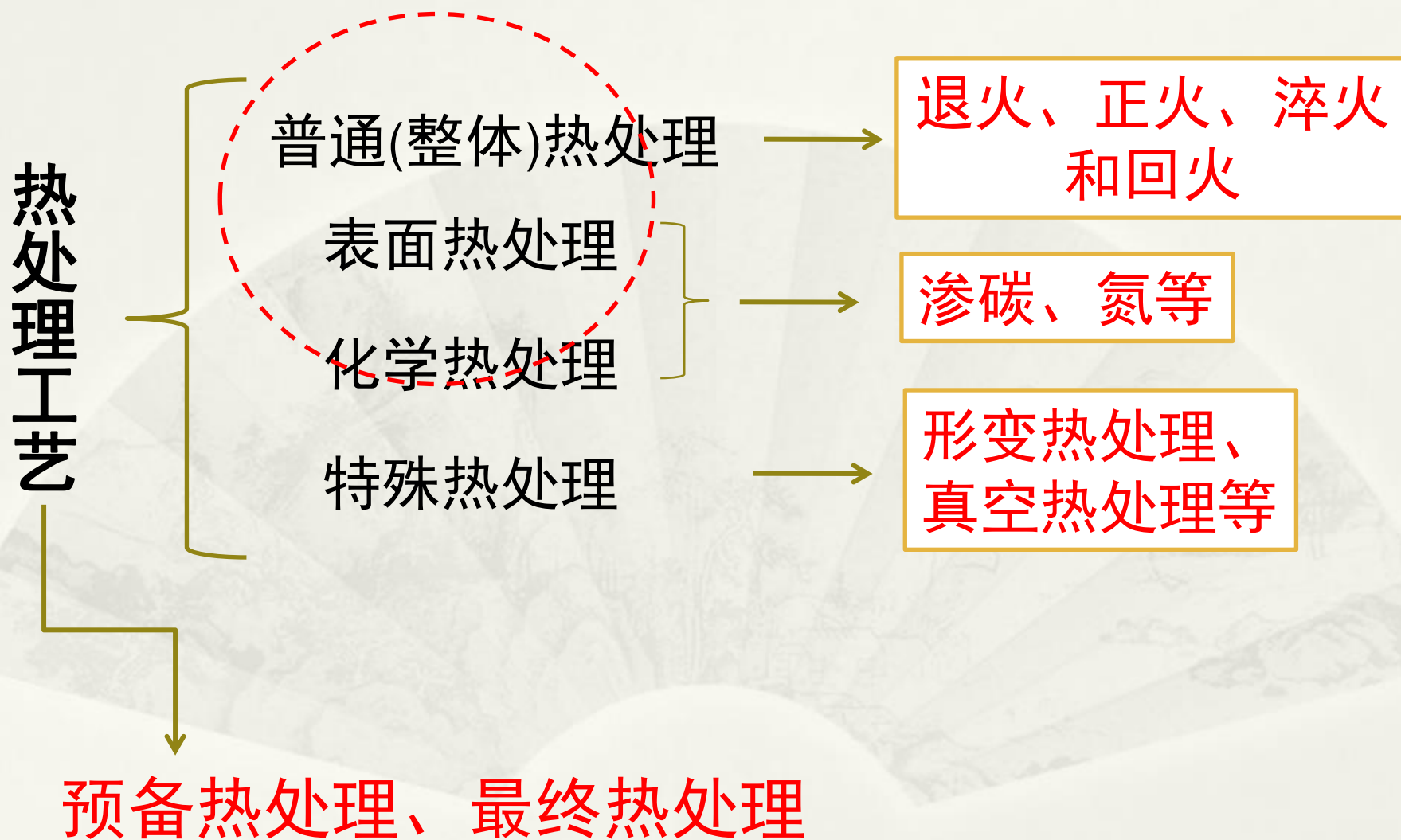


# 热处理工艺分类

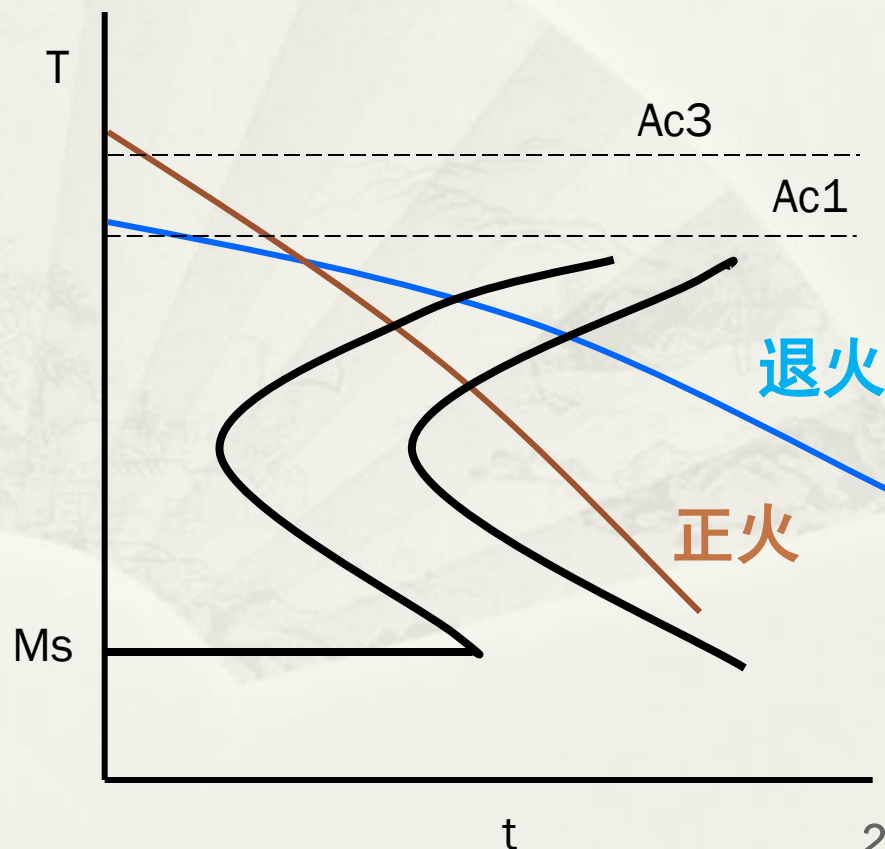


# 钢的退火与正火

作用在于改善或消除铸、锻组织中的某些缺陷，改善组织均匀性，提高材料的机械加工性能，或为下道工序创造组织和性能上的条件。

**退火**—将钢加热到适当温度，保温一定时间后，**缓慢**冷却，以获得接近于平衡状态的组织。

**正火**—将钢**加热到**  $A_{C3}$ 、 $A_{Ccm}$  点以上奥氏体化后**在空气中冷却**，以获得较细珠光体组织。（正火是退火的一个特例）

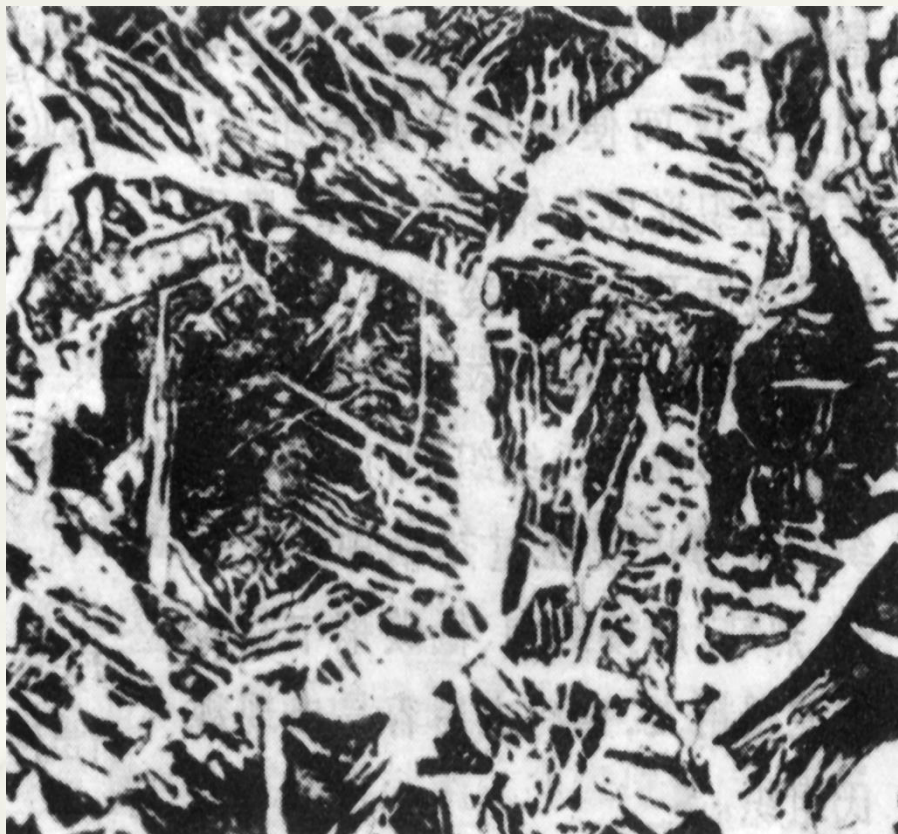


# 钢的退火

---

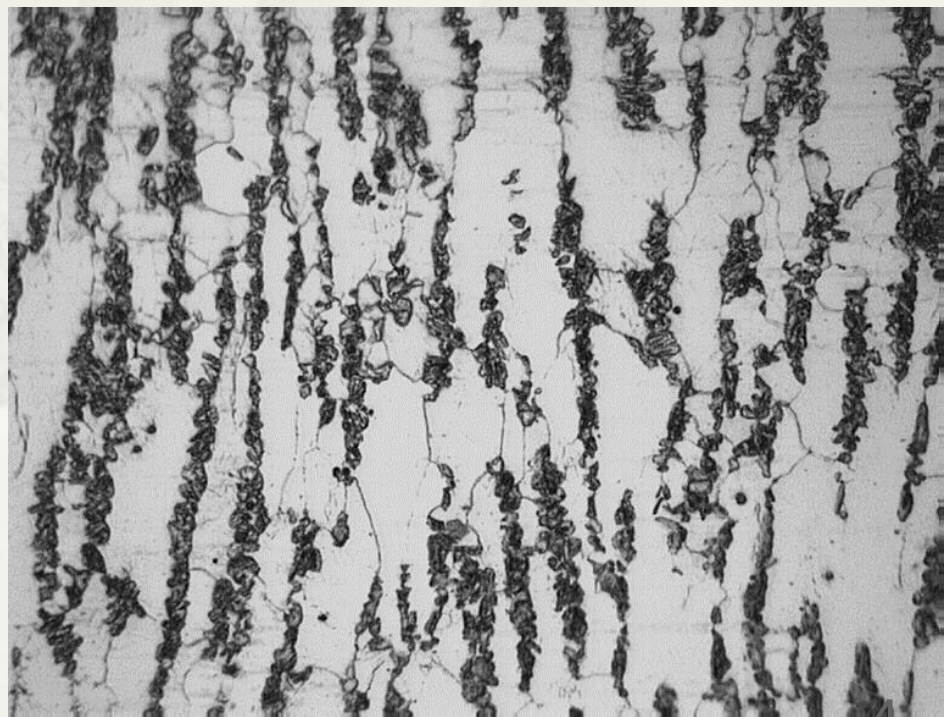
## 一、退火和正火目的：

- ① 降低钢的硬度，便于切削加工；
- ② 消除内应力；
- ③ 改善或消除铸、锻、焊件中各种组织缺陷（如偏析、带状组织、魏氏组织等）；
- ④ 细化晶粒。



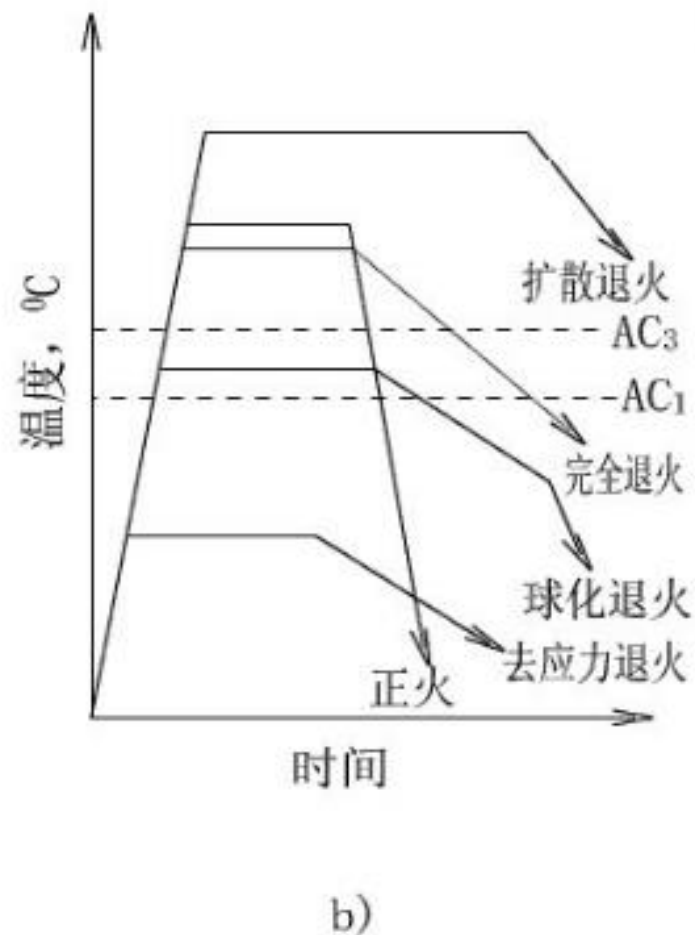
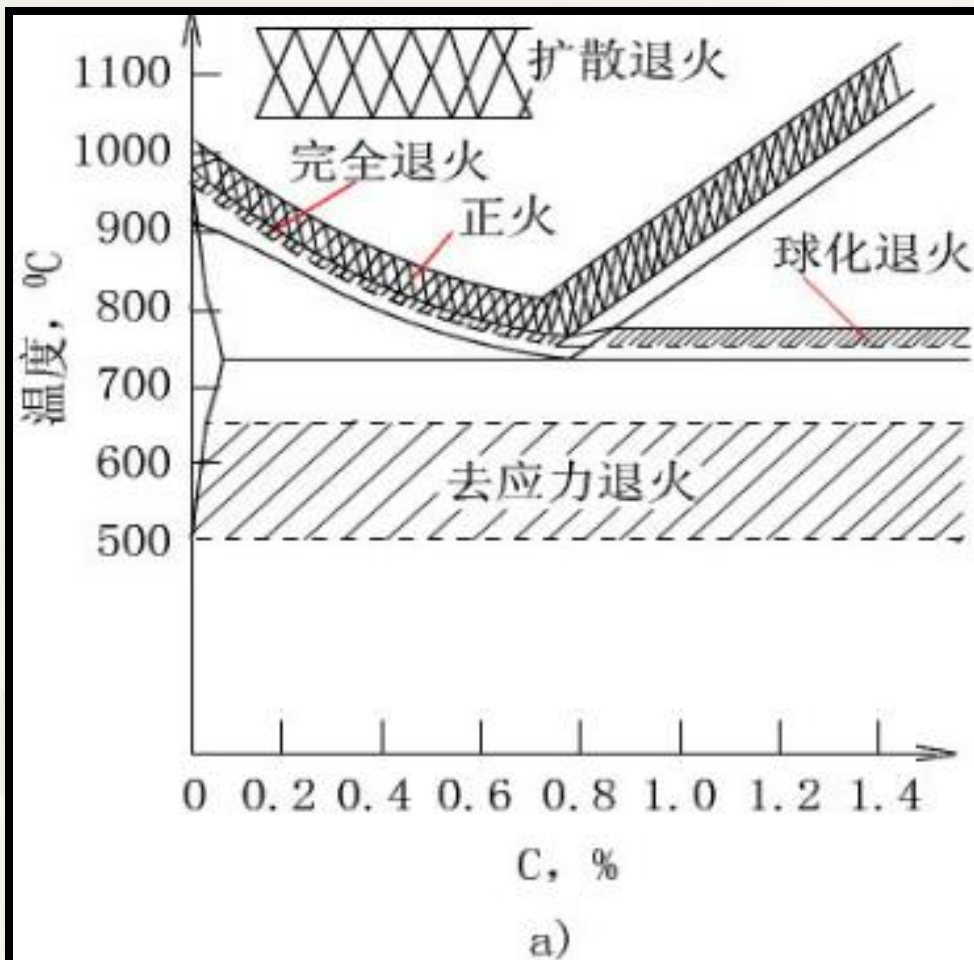
魏氏组织

带状组织





# 退火的分类



加热的温度范围

加热的工艺曲线

# ■ 完全退火

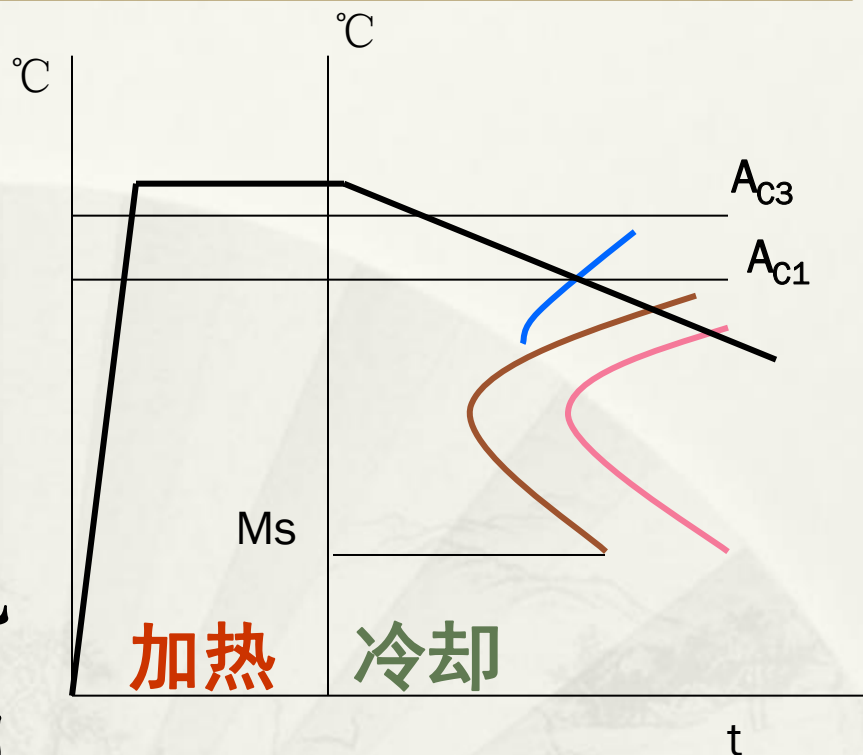
## ① 工艺特点：

加热到  $A_{C3}$  以上  $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，  
保温足够时间，缓慢随炉  
冷却。（ $600^{\circ}\text{C}$  以后空冷）

② 目的：改善组织；细化  
晶粒；降低硬度；消除内  
应力和改善切削加工性能。

③ 适用范围：亚共析钢（ $0.25\sim 0.77\%\text{C}$ ）的铸、锻、  
焊件。

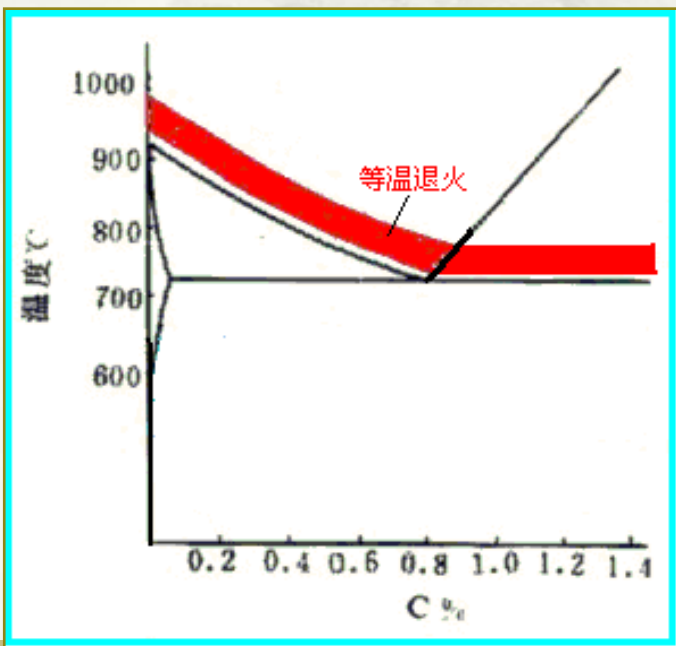
组织特点：接近平衡态



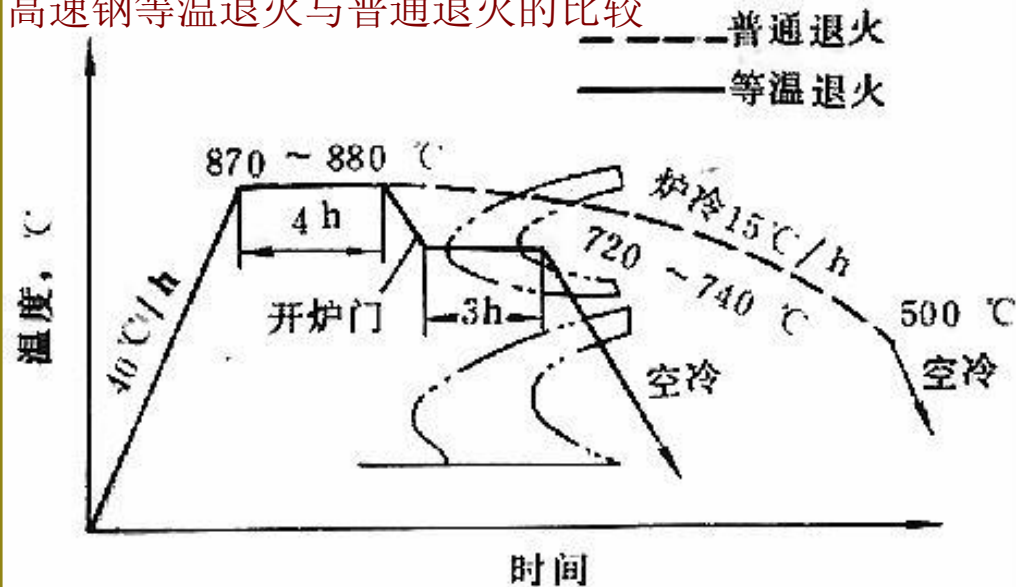
# ■ 等温退火

亚共析钢加热到 $A_{c3}+30\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，共析、过共析钢加热到 $A_{c1}+20\sim 40^{\circ}\text{C}$ ，保温后快冷到珠光体转变某一温度下停留，待相变完成后出炉空冷。

② 特点：缩短退火时间；



高速钢等温退火与普通退火的比较



# ■ 球化退火

## ① 工艺特点：

加热到 $A_{C1}$ 以上 $10-20^{\circ}\text{C}$ 保温足够长时间，然后缓慢冷却到 $600^{\circ}\text{C}$ 以下，再出炉空冷

② 目的：降低硬度、均匀组织，改善切削性能；消除网状或粗大碳化物颗粒，使其球化。

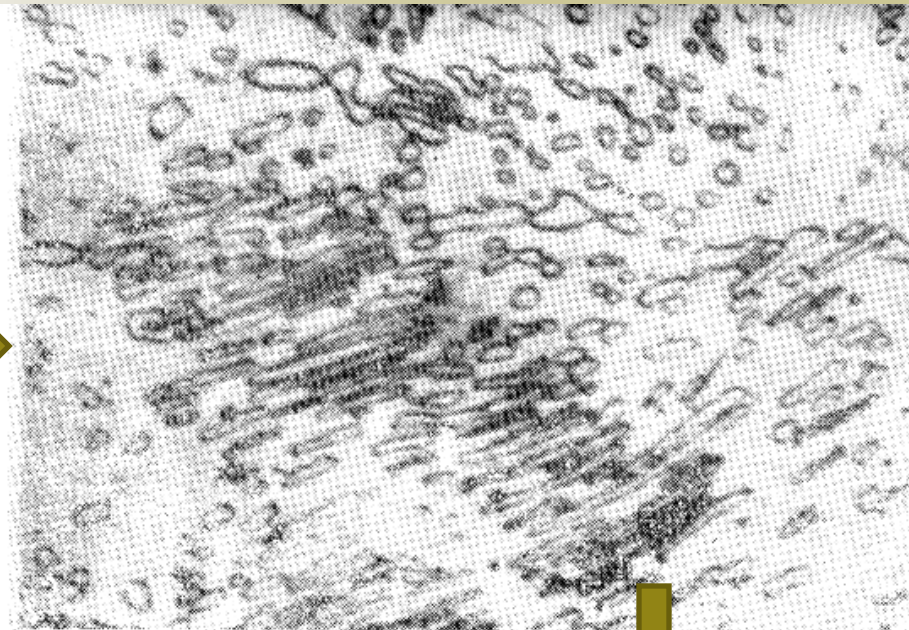
③ 适用范围：碳素工具钢、合金弹簧钢、滚动轴承钢和合金工具钢等共析钢或过共析钢

球化退火前，钢中不能出现网状渗碳体，若有，应先用正火消除，否则影响球化效果



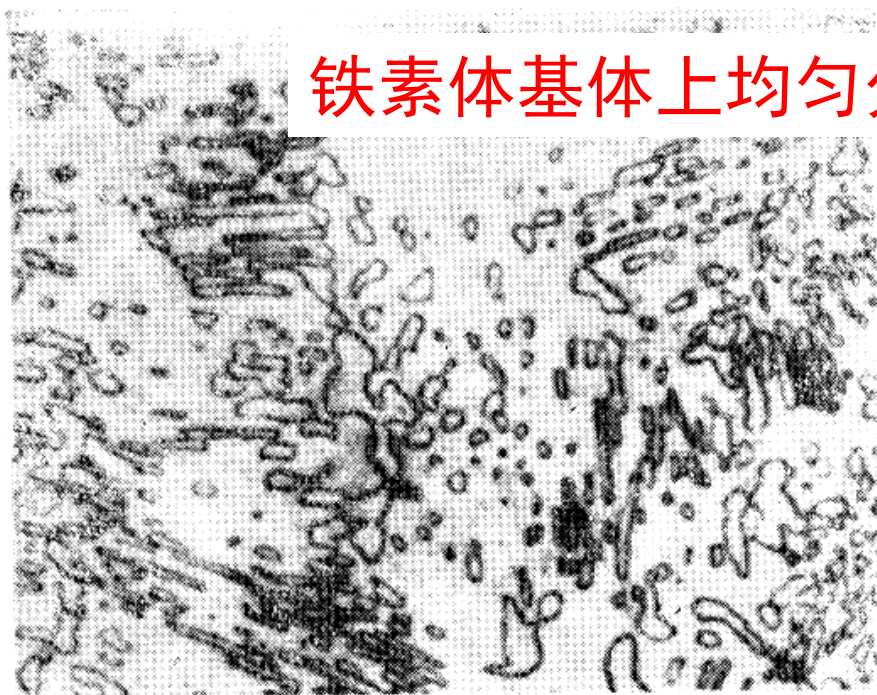


(a)

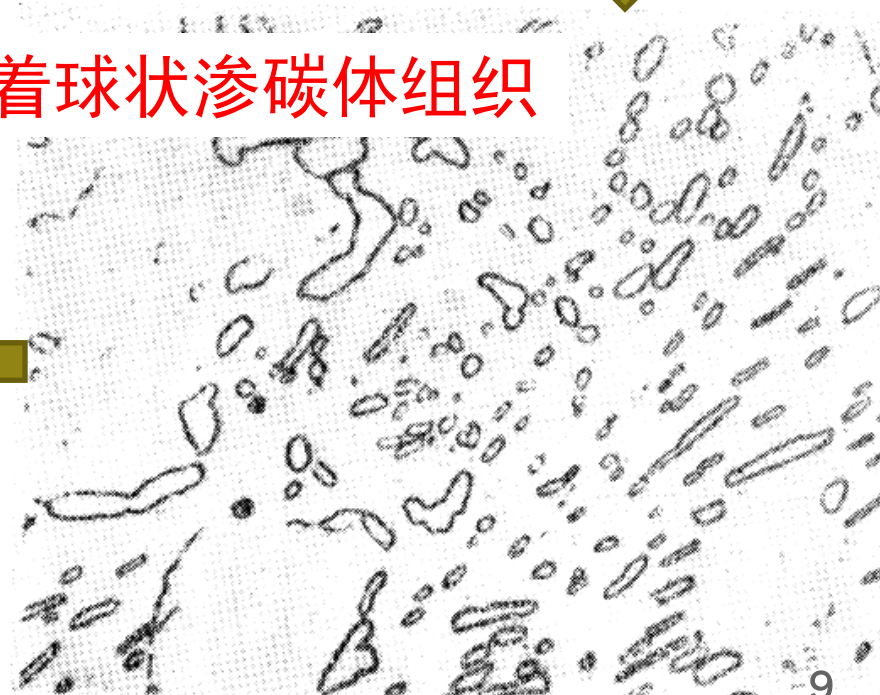


(b)

铁素体基体上均匀分布着球状渗碳体组织



(c)



(d)

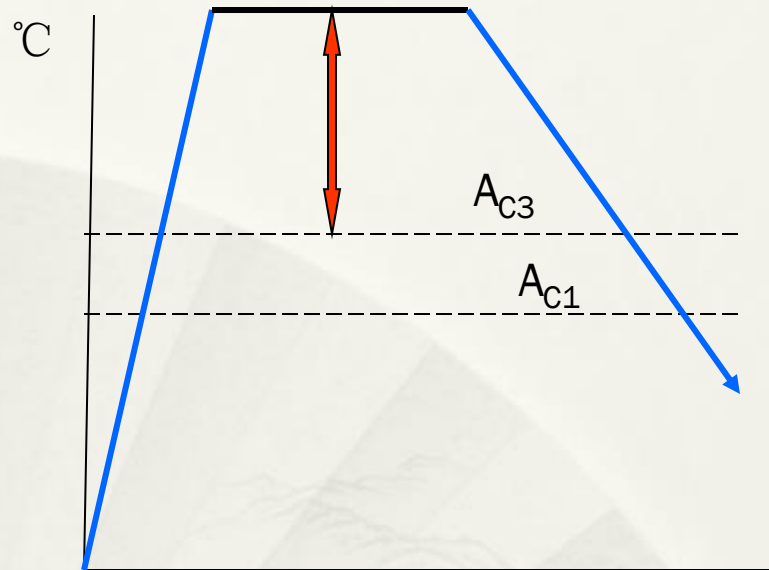


# ■ 均匀化退火

① 工艺特点：

加热范围： $A_{C3}$ 以上

150~250℃，长时间保温，随炉冷。



② 目的：消除枝晶偏析均匀化学成分；

③ 适用范围：合金钢铸锭或铸件。

一般会造成组织严重过热，需进行一次完全退火或正火来消除过热缺陷。

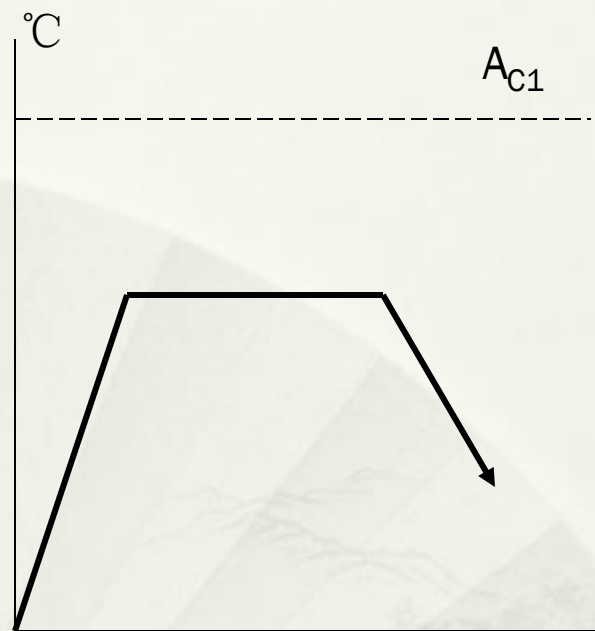
# ■ 去应力退火

## ① 工艺特点：

加热温度 $A_{C1}$ 以下 $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ ，

又称低温退火

不发生相变



## ② 目的：

消除铸、锻、焊及机械加工过程中产生的内应力；

## ③ 适用范围：

各类金属制品，往往是最终热处理工艺。

# 钢的正火

**正火**—将钢加热到  $A_{c3}$  /  $A_{ccm}$  点以上奥氏体区域，保持一定时间后在空气中冷却，以获得细珠光体组织。

## ■ 目的

- ① 作为最终热处理，细化晶粒，组织均匀化
- ② 作为预备热处理，消除高碳钢中的网状碳化物
- ③ 改善低碳钢的切削加工性，消除内应力

# 退火和正火的选用

## ■ 退火与正火的主要区别:

- ① 正火冷却速度比退火快
- ② 正火得到的组织更细小，强度和硬度较退火更高

退火组织接近平衡态

## ■ 退火与正火的选择: 正火组织为伪共析组织，珠光体变多

- ① 从切削加工性上考虑，低、中碳钢和低合金结构钢选用正火作为预处理，高碳钢及工具钢应以退火为预处理
- ② 使用性能上考虑，如果性能要求不高，无后续热处理，可用正火做为最终热处理
- ③ 经济成本，正火成本更低，在能满足使用性能和工艺性能前提下，应尽可能用正火代替退火

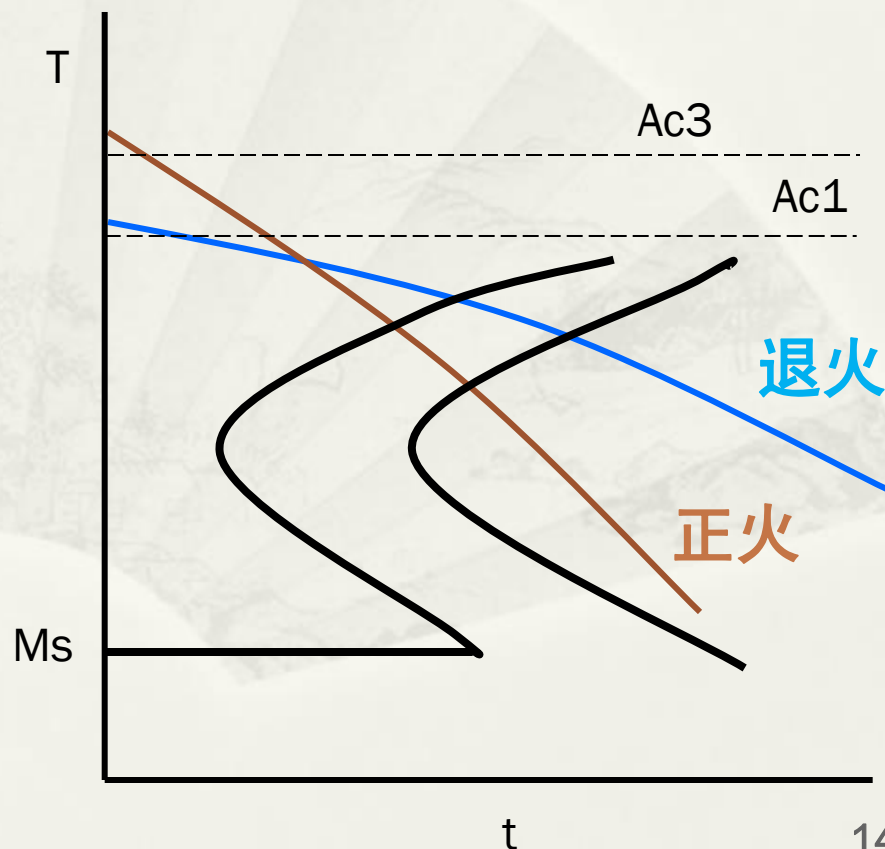


# 钢的退火与正火

作用在于改善或消除铸、锻组织中的某些缺陷，改善组织均匀性，提高材料的机械加工性能，或为下道工序创造组织和性能上的条件。

**退火**—将钢加热到适当温度，保温一定时间后，**缓慢**冷却，以获得接近于平衡状态的组织。

**正火**—将钢**加热到**  $A_{C3}$ 、 $A_{Ccm}$  点以上奥氏体化后**在空气中冷却**，以获得较细珠光体组织。（正火是退火的一个特例）

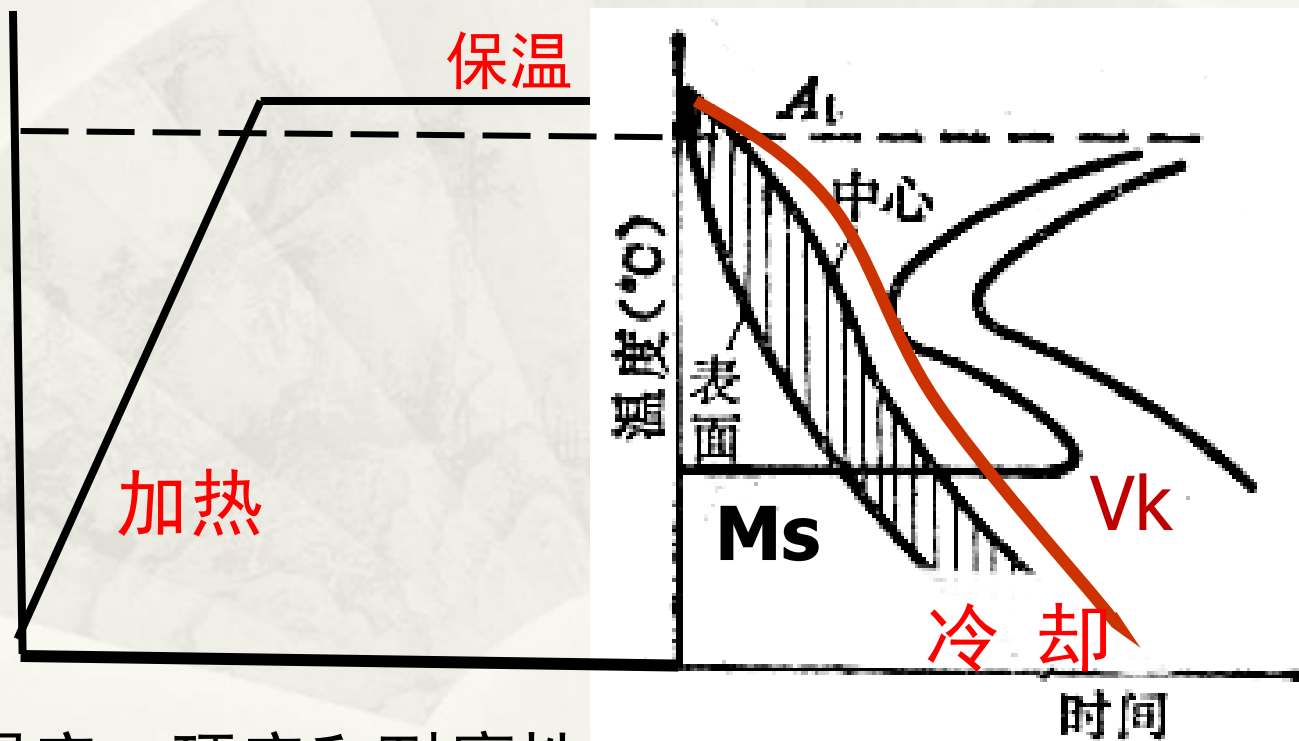


## 退火和正火目的：

- ① 降低钢的硬度，便于切削加工；
- ② 消除内应力；
- ③ 改善或消除铸、锻、焊件中各种组织缺陷（如偏析、带状组织、魏氏组织等）；
- ④ 细化晶粒。

# 钢的淬火

将钢加热到**临界温度 $A_{c1}$ 或 $A_{c3}$ 以上**保温一定时间，再以适当方式进行快速冷却，以获得马氏体或贝氏体组织的热处理方法。强化钢材的重要热处理方法



提高强度、硬度和耐磨性

淬火后要进行回火处理

# 淬火工艺

## 淬火工艺参数选用原则

### (1) 淬火加热温度的设计

淬火加热温度的设计，应考虑到化学成分、工件尺寸和形状、奥氏体的晶粒长大倾向等

#### ■ 钢的化学成分

亚共析钢： $A_{c3}$ 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$

原因：

- ① 若低于 $A_{c3}$ ，组织中若保留一部分自由铁素体或残余奥氏体，会使硬度不均匀；
- ② 若在 $A_{c3}$ 以上温度过高，会引起奥氏体晶粒长大。

## 淬火工艺参数选用原则

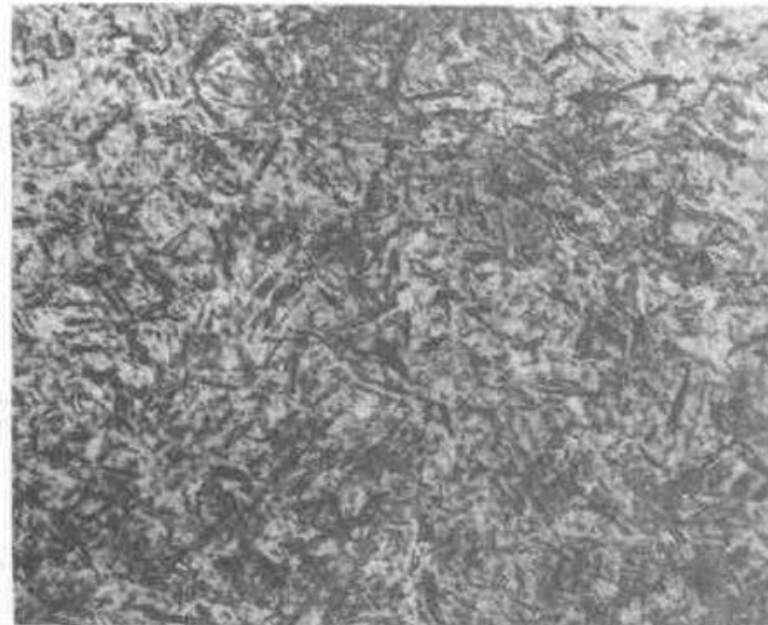
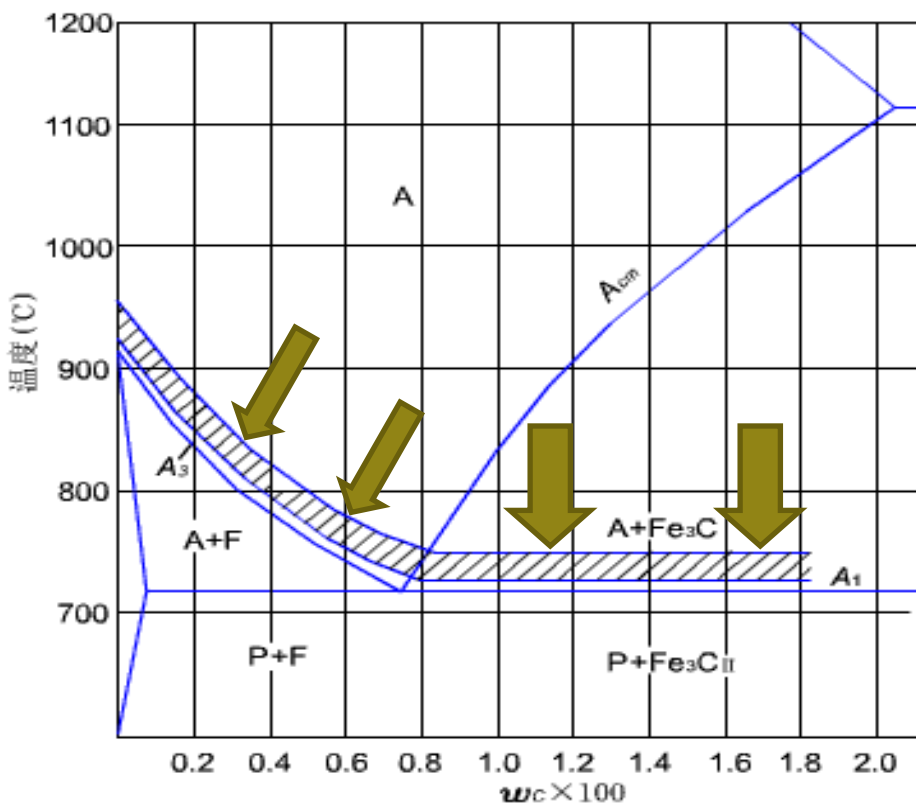
共析钢、过共析钢： $A_{c1}$ 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ （不完全淬火）

高温组织为奥氏体和一部分未溶碳化物，淬火后为马氏体加碳化物，不会降低钢的硬度，而且可提高钢的耐磨性。

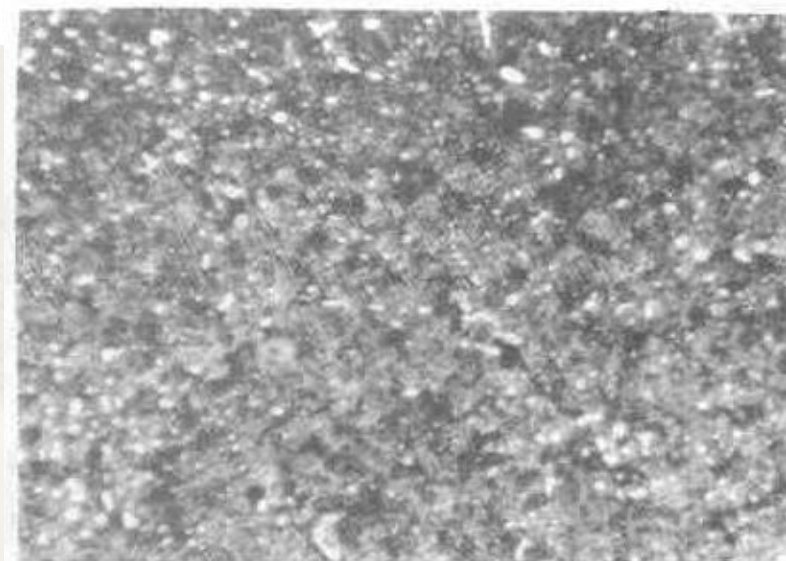
若温度高于 $A_{c3}$ ，则不利，原因：

- ①  $A$ 溶 $C\%$ 量 $\uparrow$ ， $M_s$ 点 $\downarrow$ ， $A_R$  $\uparrow$ ，钢的硬度 $\downarrow$ ；
- ②  $A$ 晶粒 $\uparrow$ ，得到粗大 $M$ ，易产生缺陷，导致脆性 $\uparrow$ 。
- ③ 加热温度高，表面氧化脱碳严重；
- ④ 温度高，淬火时温差大，淬火应力 $\uparrow$ ，工件易变形开裂。





亚共析钢(45钢)正常淬火后的



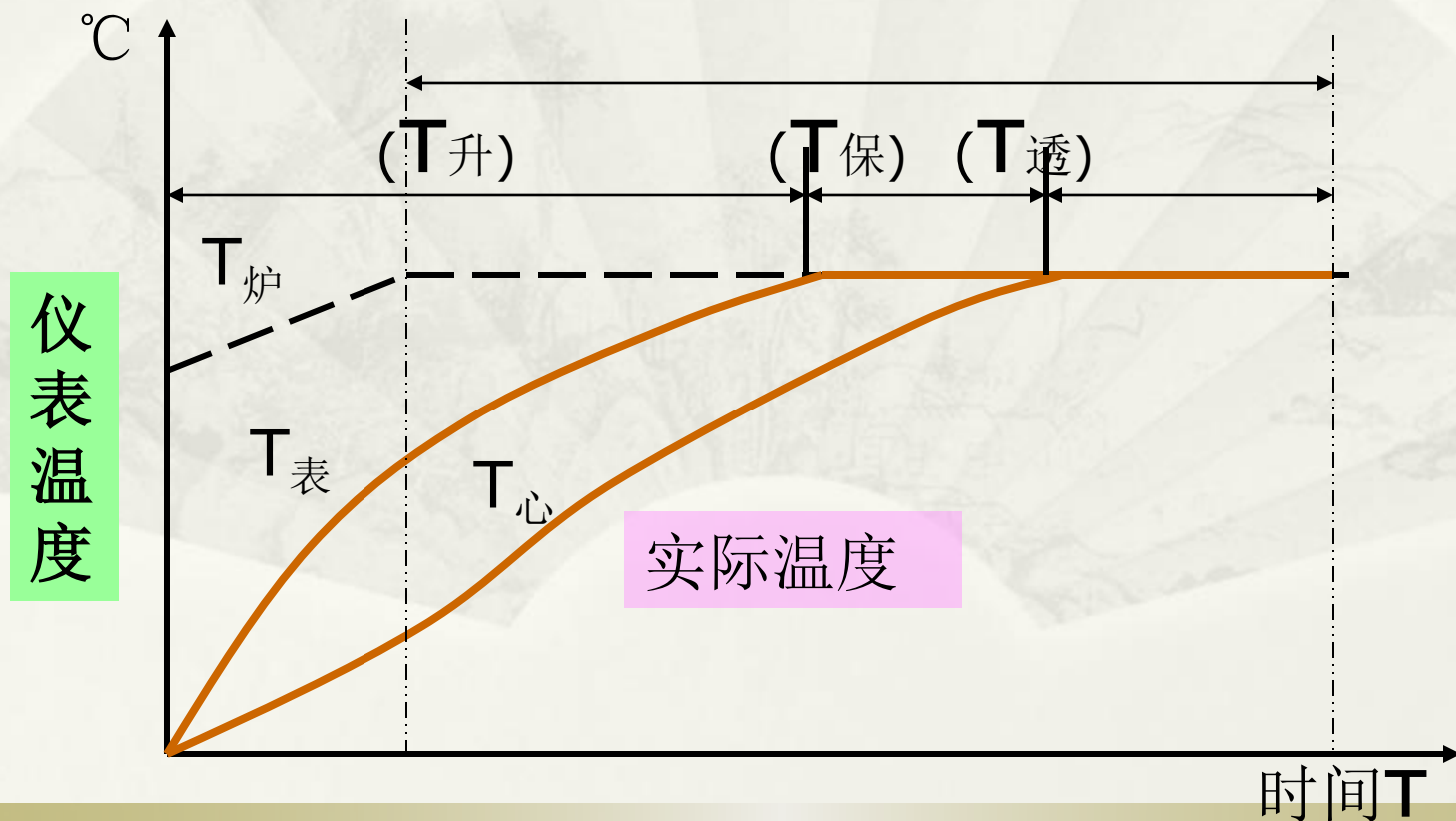
过共析钢 (T12钢) 正常淬火后的显微组织 (500 × )

# 淬火工艺参数选用原则

## (2) 淬火加热时间的设计

保温的目的

- 保证工件透热，内外温度均匀；
- 完成要求的组织转变。



## 保温时间经验公式

由于影响保温时间的因素较多，生产上一般采用经验公式： $\tau = \alpha KD$

式中： $\alpha$ —加热系数，是和化学成分，加热介质有关的参数。

	空气电阻炉	盐浴炉
碳素结构钢	<b>1~1.2</b>	<b>0.2~0.4</b>
高碳钢及合金钢	<b>1.2~1.5</b>	<b>0.2~0.5</b>

**K**—装炉修正系数，在1~2变化

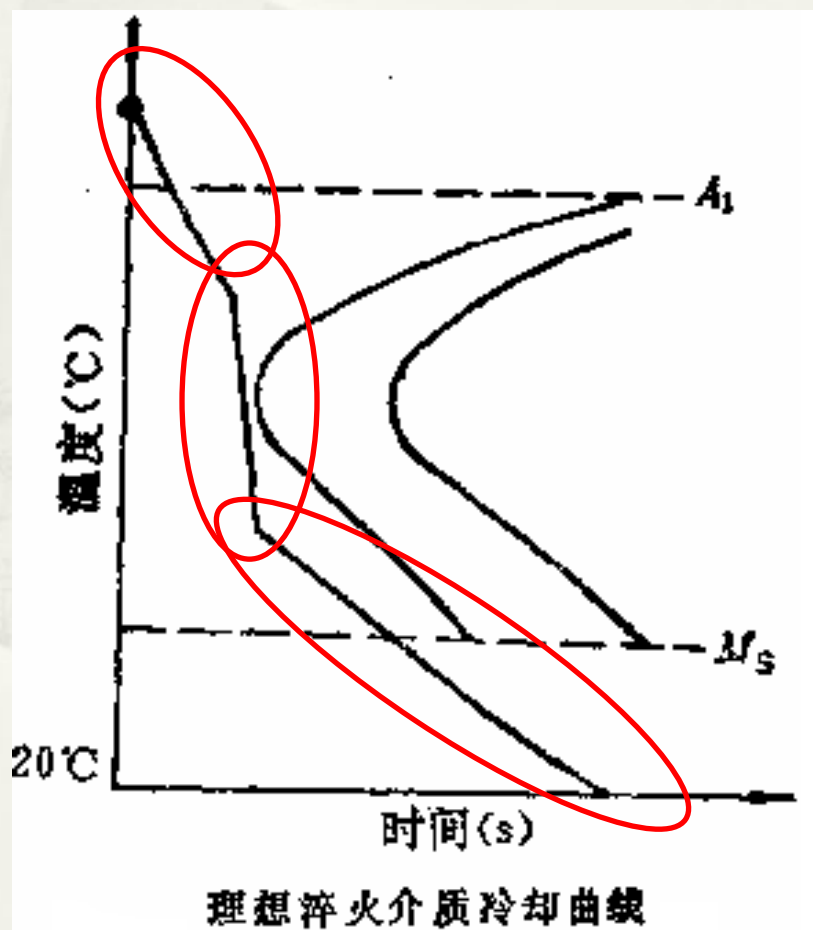
**D**—工件有效厚度。指工件在受热条件下，传热最快方向上的截面厚度。

### (3) 淬火冷却介质的设计

淬火介质是淬火工艺最关键的参数，直接决定淬火后材料的组织与性能

#### ■ 理想淬火介质

- ✓ 在  $A_1 \sim 650^\circ\text{C}$  缓慢冷却，以减少热应力；
- ✓ 在过冷奥氏体最不稳定区域 ( $650 \sim 500^\circ\text{C}$ )，快速冷却；
- ✓ 而在  $M_s$  附近的温度区域冷速比较缓慢，可减少淬火内应力，避免淬火变形开裂。



### (3) 淬火冷却介质的设计

#### ■ 常用淬火介质

##### ① 水：（来源丰富、价格便宜）

- ✓ 在 $650\sim 500^{\circ}\text{C}$ 温度范围内的冷却速度较小；（不利）
- ✓ 在马氏体转变温度区的冷却速度特别快；（不利）
- ✓ 随水温提高，水的冷却速度降低；（不利）
- ✓ 便宜易得

目前碳钢最常用的淬火介质





### (3) 淬火冷却介质的设计

---

#### ② 油 （冷却能力比水差）

油的冷却过程也可分为几个阶段。

- ✓ 在高温区冷却速度低；（不利），不适于奥氏体稳定性较差的钢
- ✓ 油在 $500^{\circ}\text{C}\sim 350^{\circ}\text{C}$ 间冷却速度最快；
- ✓ 油在低温区（ $350^{\circ}\text{C}$ 下）冷速较慢，可减少内应力；
- ✓ 油在 $20^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C}$ 使用，对工件冷速影响不大。

### (3) 淬火冷却介质的设计

---

#### ③ 食盐水

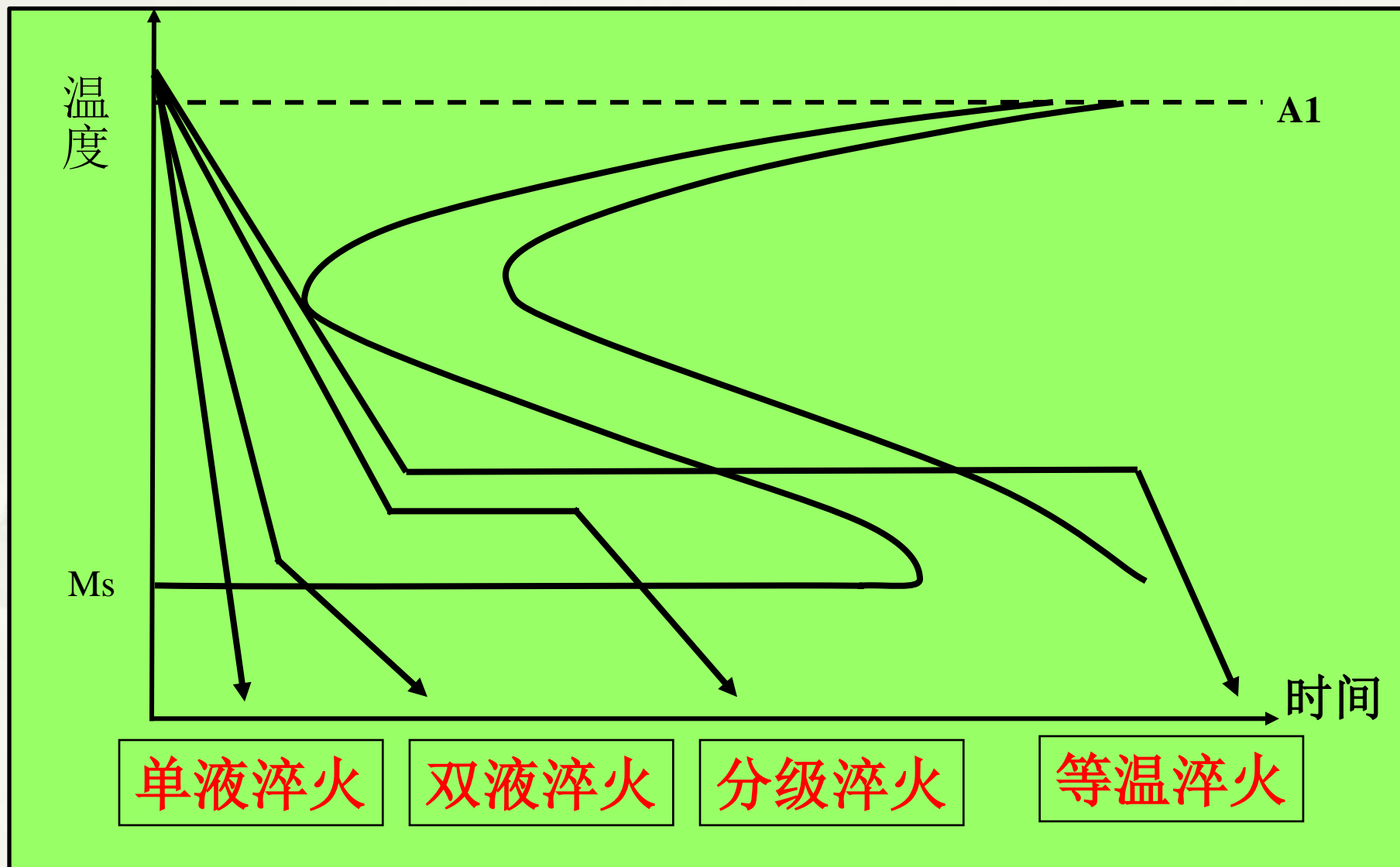
- ✓ 在高温区冷却速度较大
- ✓ 在 $650^{\circ}\text{C}\sim 550^{\circ}\text{C}$ 间冷却速度最快，防止软点产生；
- ✓ 在低温区（ $350^{\circ}\text{C}$ 下）冷速较快，（不利）；
- ✓ 具有锈蚀性。

#### ④ 苛性钠

- ✓ 在高温区冷却速度较大
- ✓ 在 $650^{\circ}\text{C}\sim 550^{\circ}\text{C}$ 间冷却速度最快，防止软点产生；  
（比食盐水还大）
- ✓ 在低温区（ $350^{\circ}\text{C}$ 下）冷速比食盐水低；
- ✓ 腐蚀性大。（不利）

### 3.2.3 淬火方法

#### 按冷却方式分类

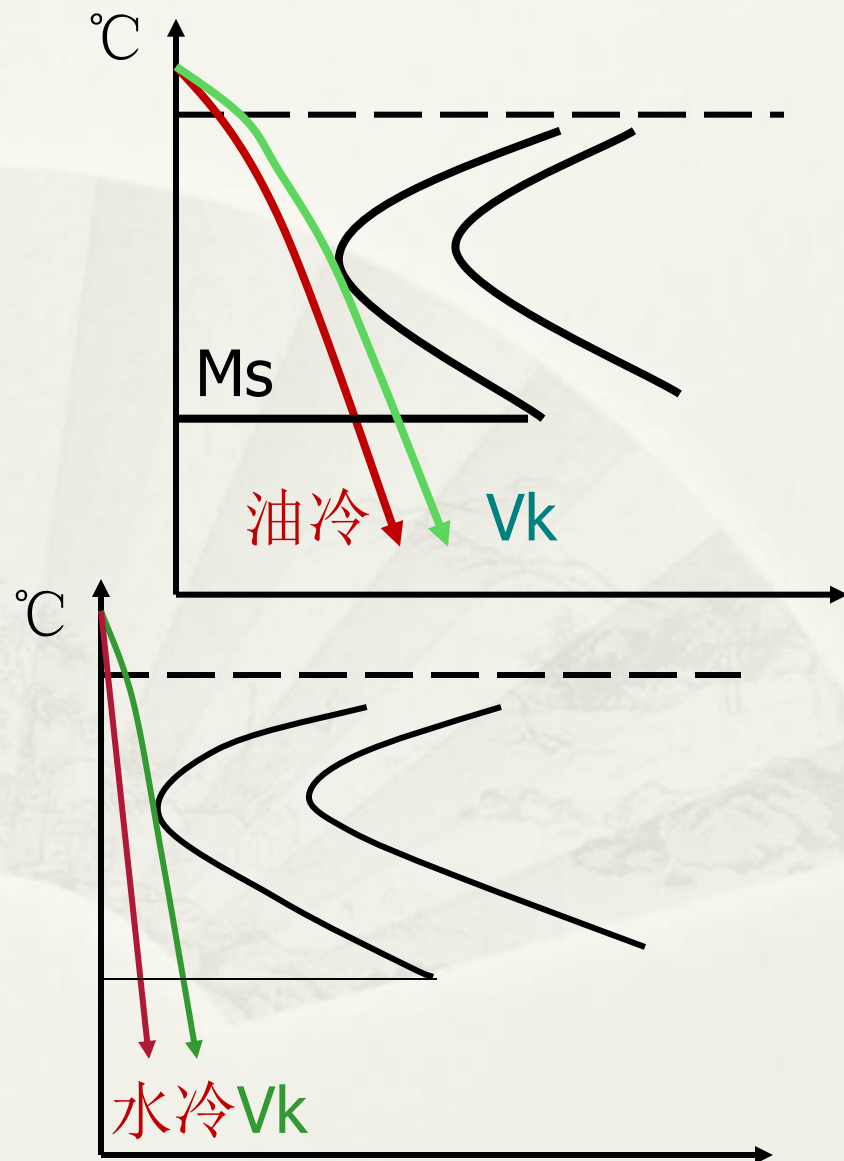


## (1) 单液淬火法

碳钢用水或盐水淬，合金钢用油淬。

适用于：

形状简单，对变形要求不高，或还有后续加工的情况。

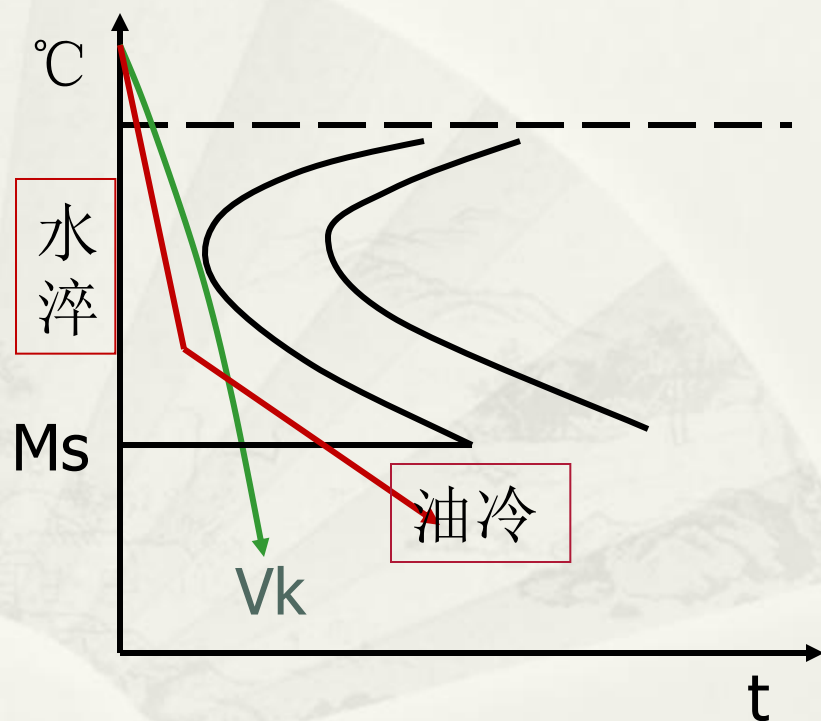


## (2) 双液淬火法

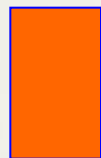
先在冷却能力强的介质中冷却到 $M_s$ 附近，后转入冷却能力弱的介质中冷却。

适用于：

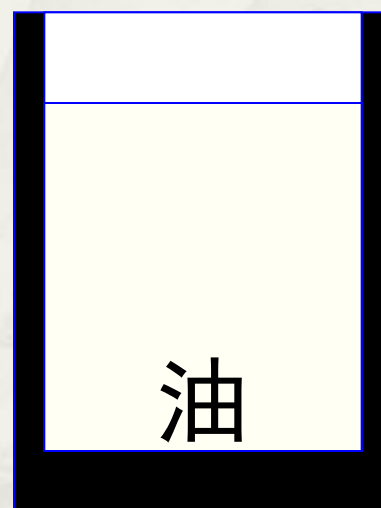
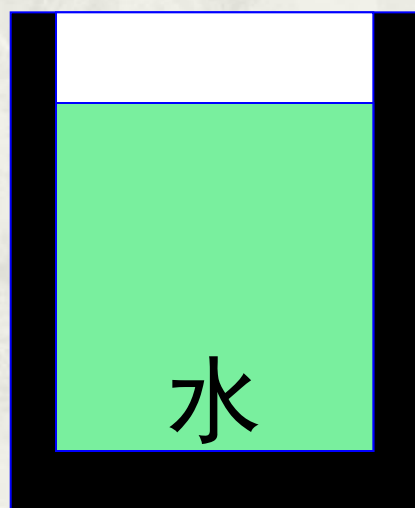
形状复杂、截面不均匀的工件，要求变形小的碳钢，或要求淬硬层深度大的低合金钢。







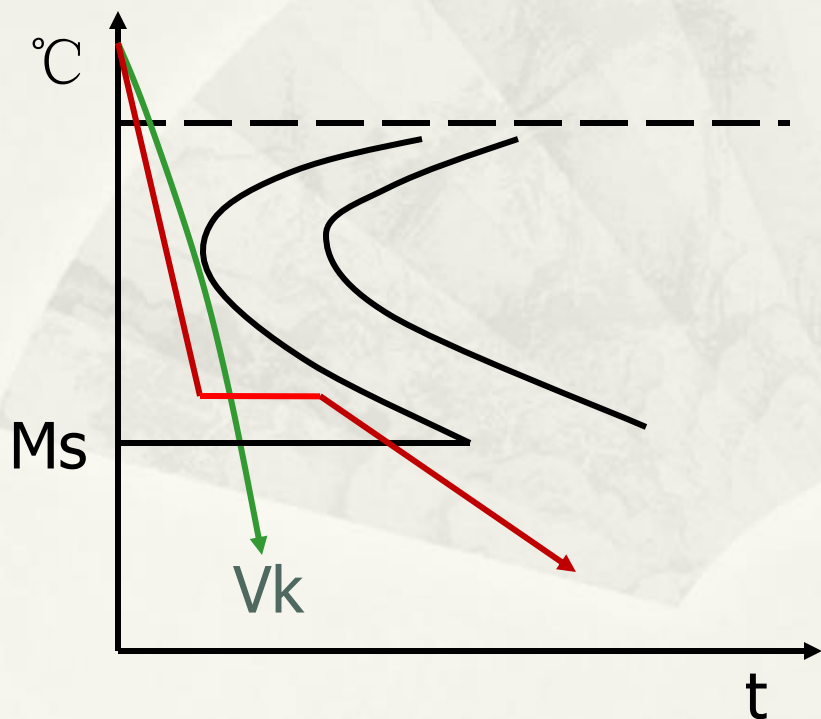
转换时刻难把握



双液淬火（水淬油冷）演示

### (3) 分级淬火法

把工件由奥氏体化温度淬入高于该钢种的马氏体开始转变温度的淬火介质（盐浴或碱浴炉）中保温，在其中冷却直至工件各部分温度达到淬火介质的温度，然后缓冷至室温，发生马氏体转变。如C曲线所示

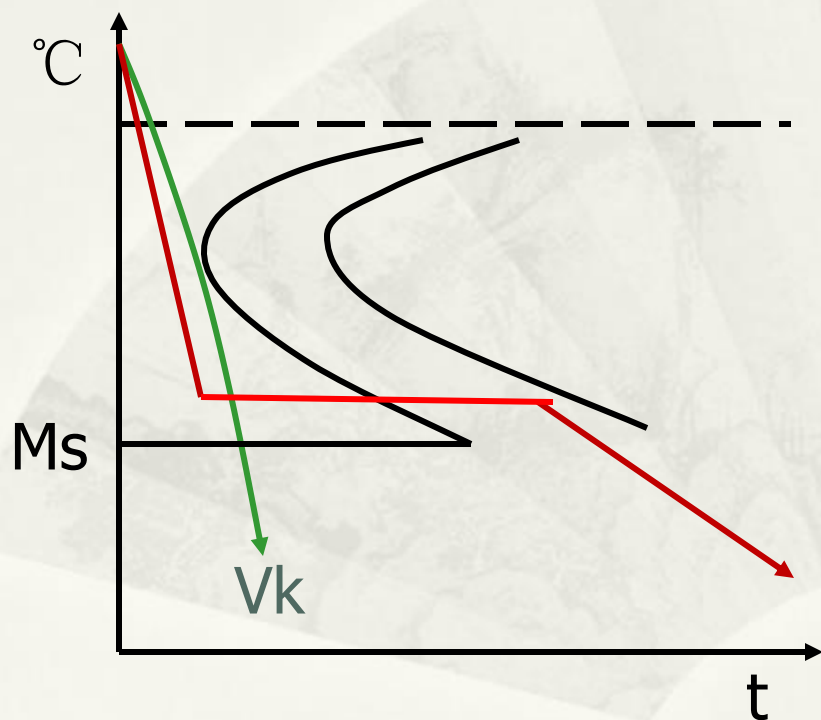


◆ 特点：  
可减少热应力和组织应力，防止开裂

◆ 适用条件：  
只适用于尺寸较小的工件，如刀具、量具或其它精密零件。

## (4) 等温淬火法

奥氏体化后的工件淬入到 $M_s$ 点以上某温度保温，长时间保温使其获得下贝氏体组织，然后取出空冷。



◆ 特点：

下贝氏体综合性能较好，热应力和组织应力较小，显著减小工件变形与开裂

◆ 适用条件：

模具钢、齿轮钢等。

## (5) 预冷淬火法

---

奥氏体化后的工件，先在空气中预冷到一定温度，再投入淬火介质中冷却。

◆ 特点：

不降低淬火工件的硬度和淬硬层深度条件下，减小内应力。

## (6) 局部淬火法

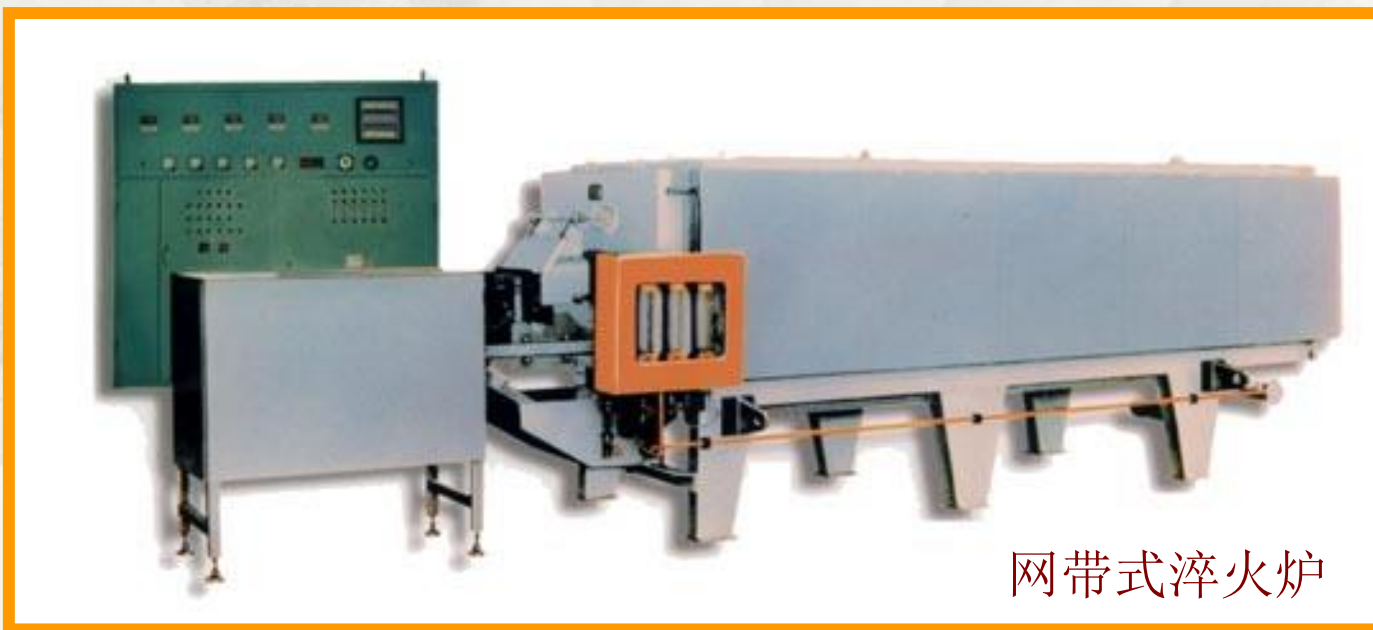
对要求局部高硬度的工件，进行局部加热淬火



# 钢的淬透性

淬透性是钢的主要热处理性能。

是选材和制订热处理工艺的重要依据之一。

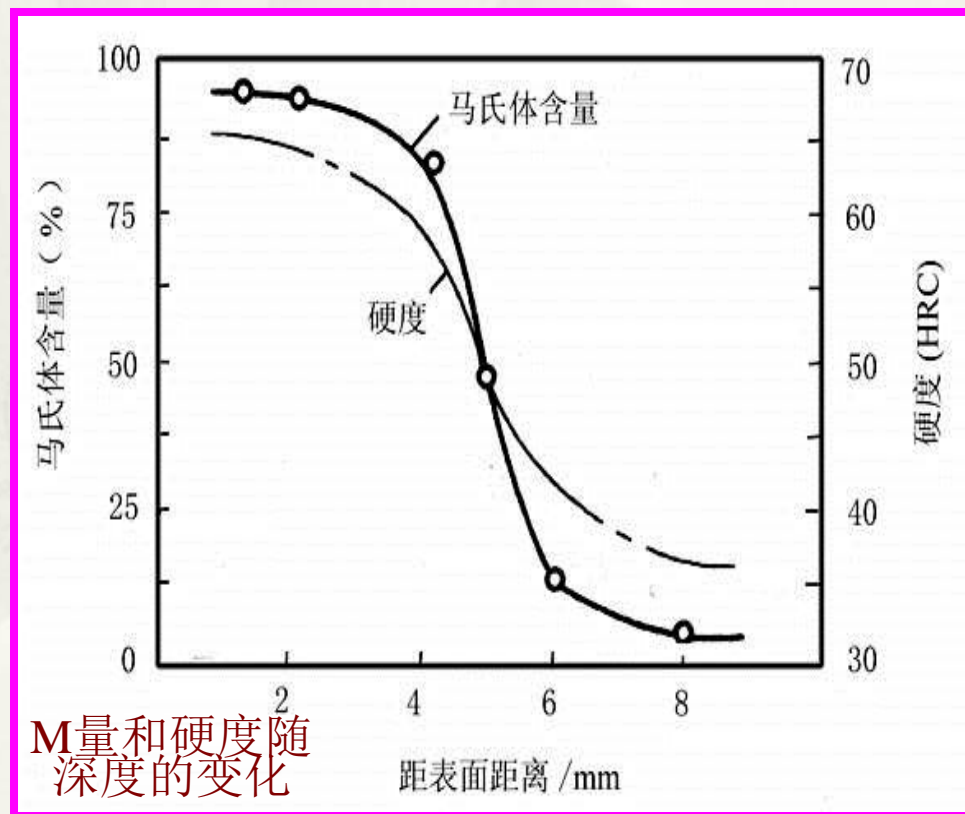


网带式淬火炉

## 一、淬透性的概念

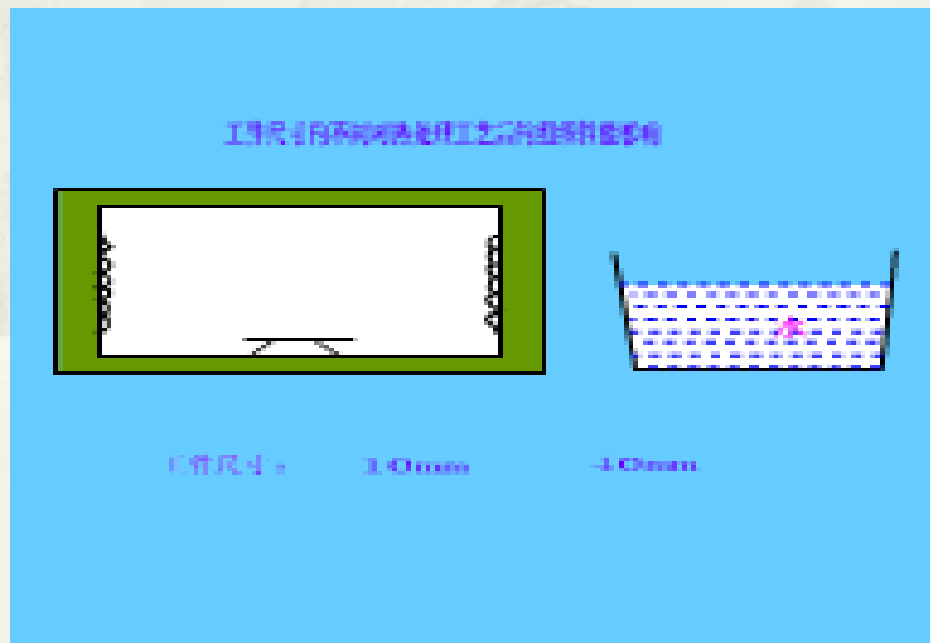
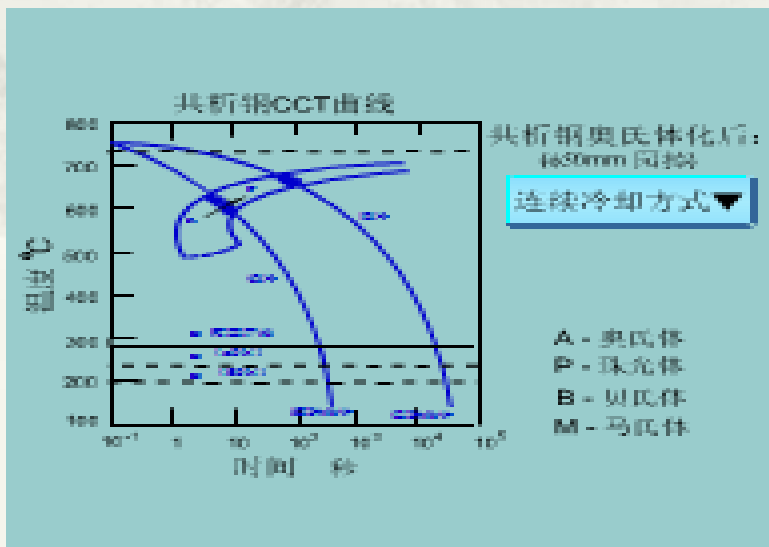
**淬透性**是指钢在淬火时获得淬硬层深度的能力。其大小是用规定条件下淬硬层深度来表示。

- 淬硬层深度是指由工件表面到半马氏体区(50%M + 50%P)的深度。
- 淬硬性是指钢淬火后所能达到的最高硬度，即硬化能力。



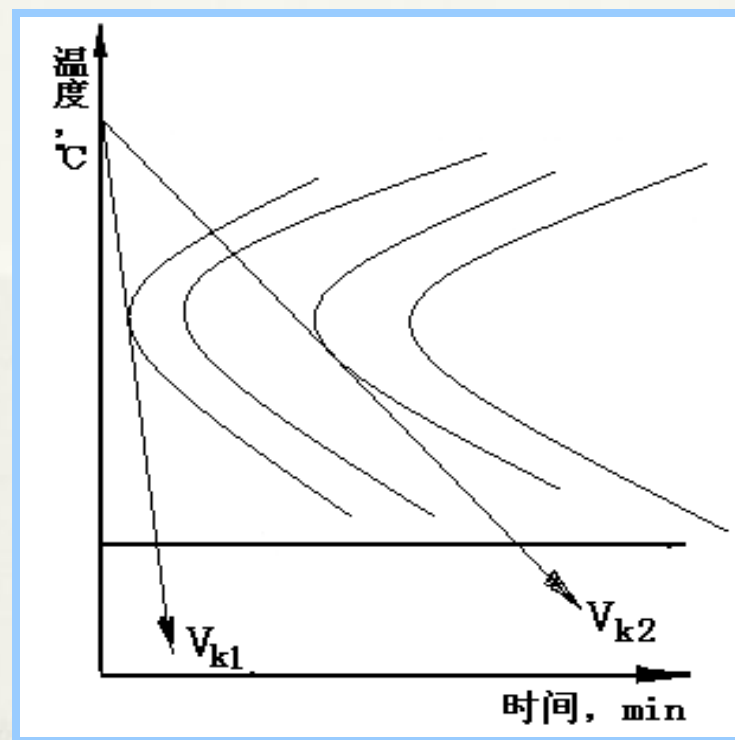
## 二、淬透性与淬硬层深度的关系

- 同一材料的淬硬层深度与工件尺寸、冷却介质有关。工件尺寸小、介质冷却能力强，淬硬层深。
- 淬透性与工件尺寸、冷却介质无关。它只用于不同材料之间的比较，是通过尺寸、冷却介质相同时的淬硬层深度来确定的。



### 三、影响淬透性的因素

- 钢的淬透性取决于临界冷却速度 $V_k$ ， $V_k$ 越小，淬透性越高。
- $V_k$ 取决于C曲线的位置，C曲线越靠右， $V_k$ 越小。



因而凡是影响C曲线的因素都是影响淬透性的因素.即除C<sub>0</sub>外，凡溶入奥氏体的合金元素都使钢的淬透性提高；

奥氏体化温度高、保温时间长也使钢的淬透性提高。



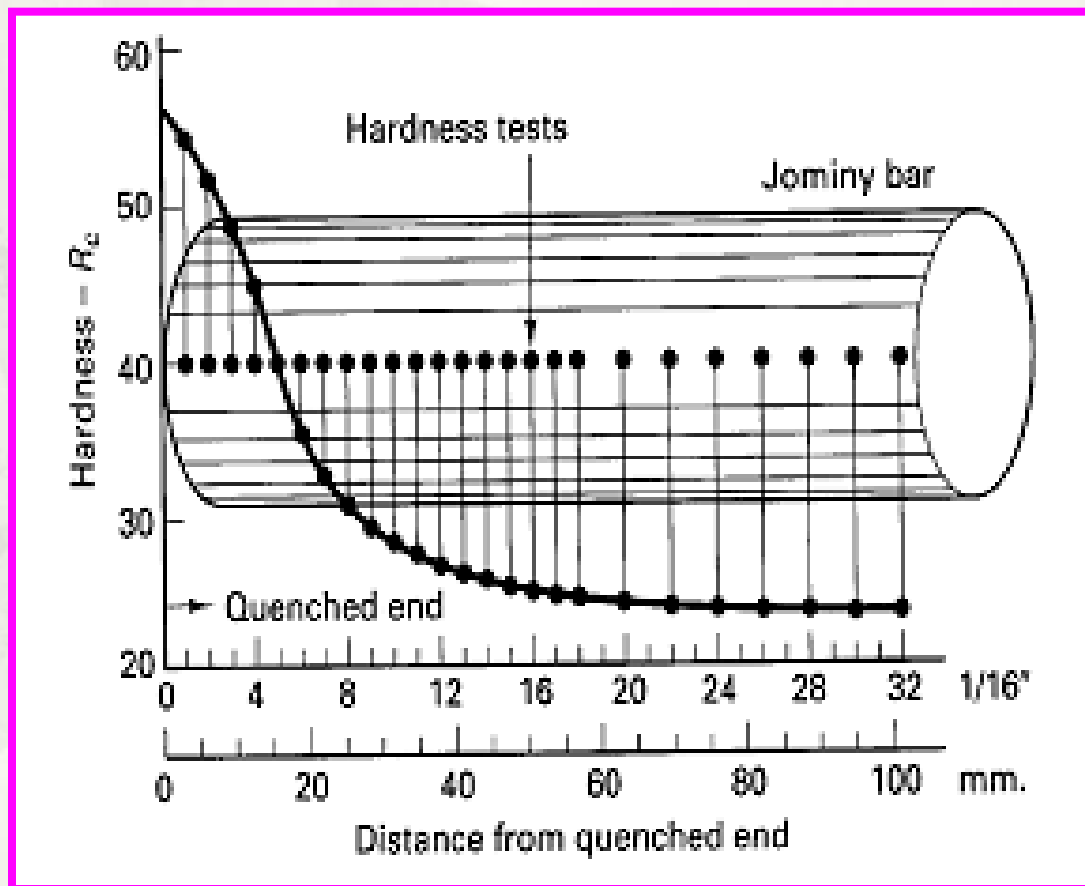
## \* 2、淬透性的表示方法

### \* (1) 用淬透性曲线表示

即用  $J \frac{HRC}{d}$  表

示， $J$  表示末端  
淬透性， $d$  表示  
半马氏体区到水  
冷端的距离，

HRC 为半马氏  
体区的硬度。

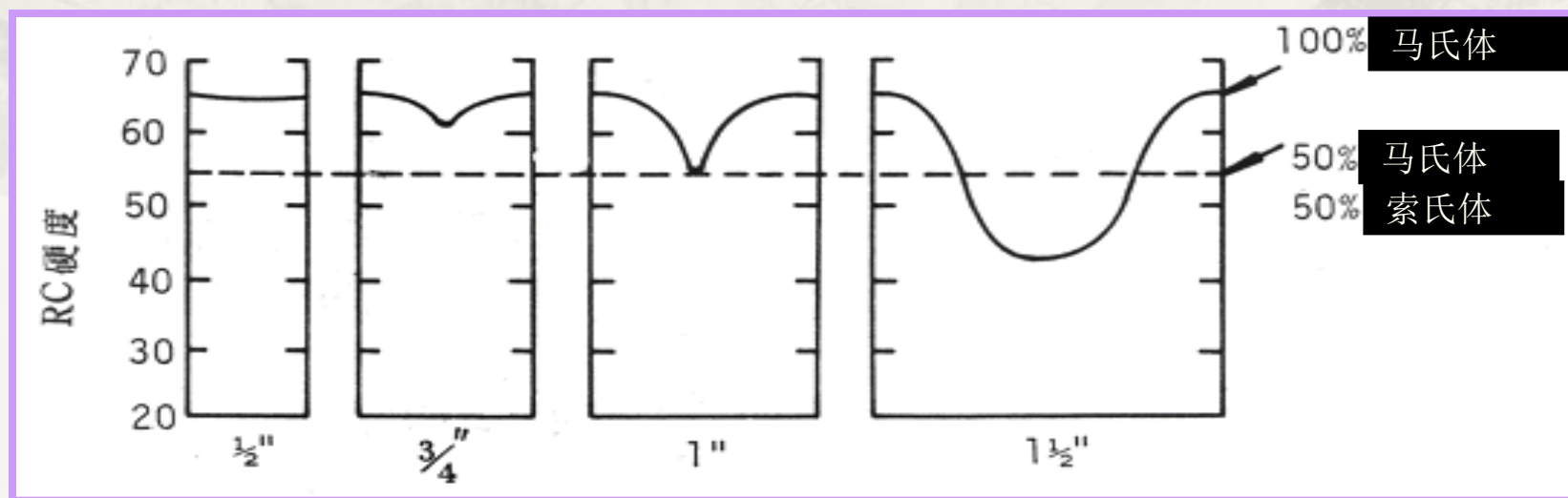


## (2) 用临界淬透直径表示

临界淬透直径是指圆形钢棒在介质中冷却，中心被淬成半马氏体的最大直径，用 $D_0$ 表示。

$D_0$ 与介质有关，如45钢 $D_{0\text{水}}=16\text{mm}$ ， $D_{0\text{油}}=8\text{mm}$ 。

只有冷却条件相同时，才能进行不同材料淬透性比较，如45钢 $D_{0\text{油}}=8\text{mm}$ ，40Cr  $D_{0\text{油}}=20\text{mm}$ 。



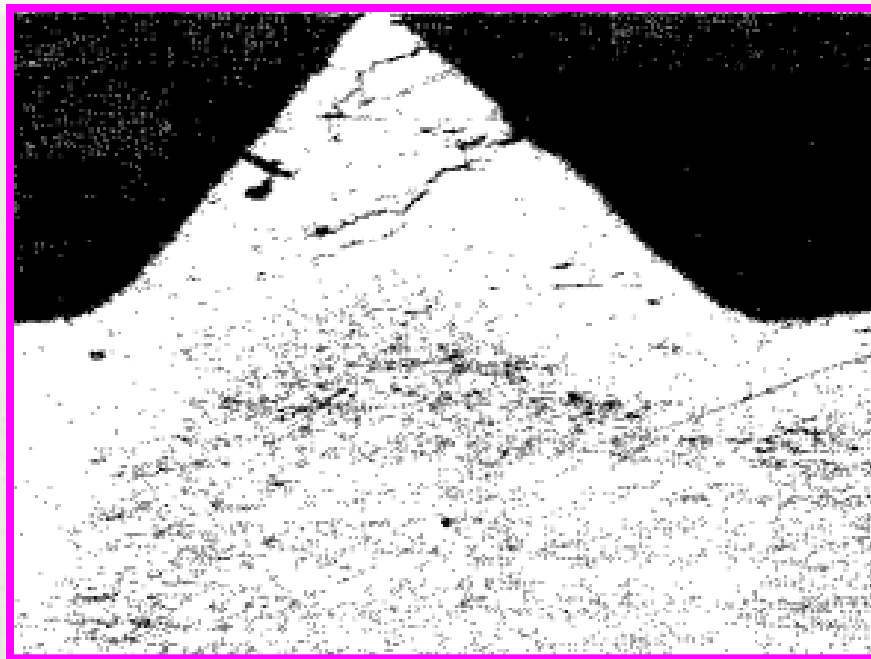
# 钢的回火

**回火**是指将淬火钢加热到 $A_1$ 以下的某温度保温后冷却的工艺。

## 一、回火的目的

1、减少或消除淬火内应力,防止变形或开裂.

2、获得所需要的力学性能。淬火钢一般硬度高,脆性大,回火可调整硬度、韧性。



3、稳定尺寸。淬火M和A'都是非平衡组织，有自发向平衡组织转变的倾向。回火可使M与A'转变为平衡或接近平衡的组织，防止使用时变形。

4、对于某些高淬透性的钢，空冷即可淬火，如采用回火软化既能降低硬度，又能缩短软化周期。

未经淬火的钢回火无意义，而淬火钢不回火在放置使用过程中易变形或开裂。钢经淬火后应立即进行回火。





## 二、钢在回火时的转变

淬火钢回火时的组织转变主要发生在加热阶段。随加热温度升高，淬火钢的组织发生四个阶段变化。

网带式回火电炉



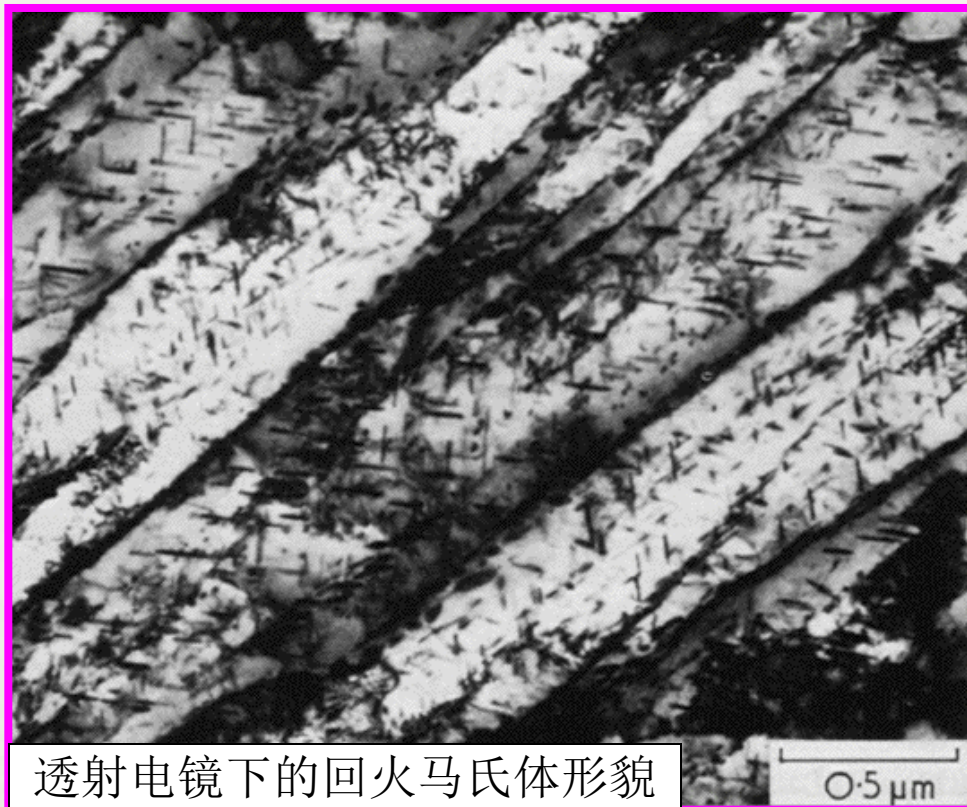
## ◆ 回火时组织转变

### 1、马氏体的分解

<100℃回火时，钢的组织无变化。

100-200℃加热时，马氏体将发生分解，从马氏体中析出 $\eta$ -碳化物

( $\eta$  -  $\text{Fe}_x\text{C}$ )，使马氏体过饱和度降低。析出的碳化物以细片状分布在马氏体基体上，这种组织称**回火马氏体**，用 $M_{\text{回}}$ 表示。



在光镜下 $M_{\square}$ 为黑色， $A'$ 为白色。

$< 0.2\%C$  时，不析出碳化物。只发生碳在位错附近的偏聚。

## 2、残余奥氏体分解

$200-300^{\circ}C$  时， $A'$  分解  
为下贝氏体。

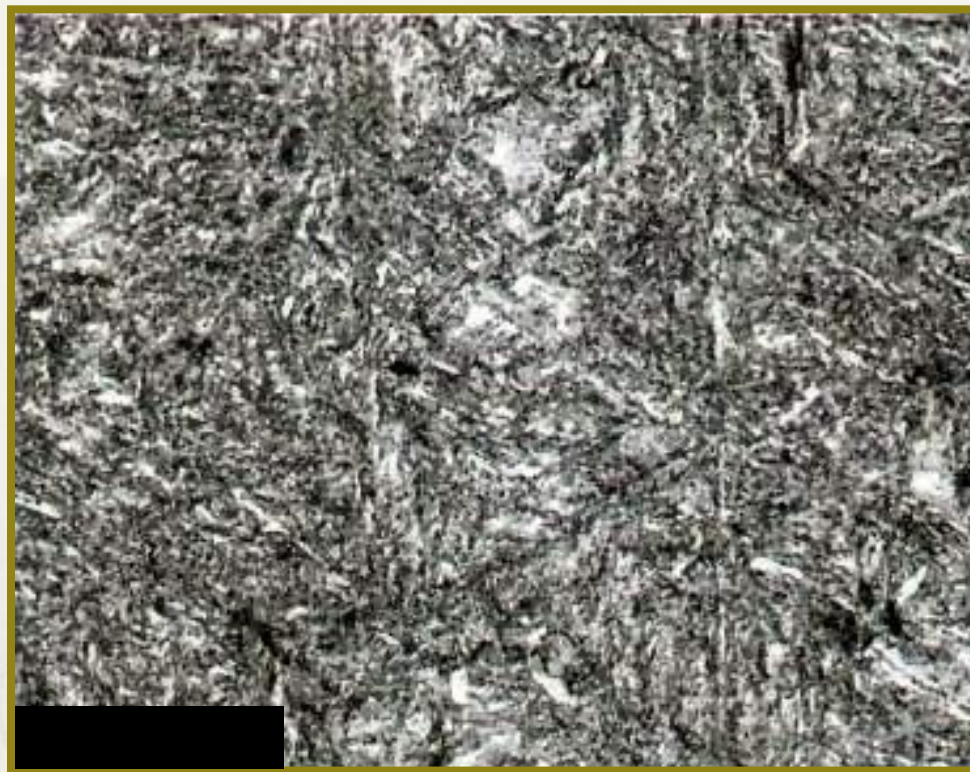




### 3、 $\eta$ -碳化物转变为 $\text{Fe}_3\text{C}$

发生于 $250-450^\circ\text{C}$ ，此时， $\eta$ -碳化物随温度升高逐渐转化成稳定的 $\text{Fe}_3\text{C}$ 。

到 $450^\circ\text{C}$ ，马氏体含碳量降到铁素体平衡成



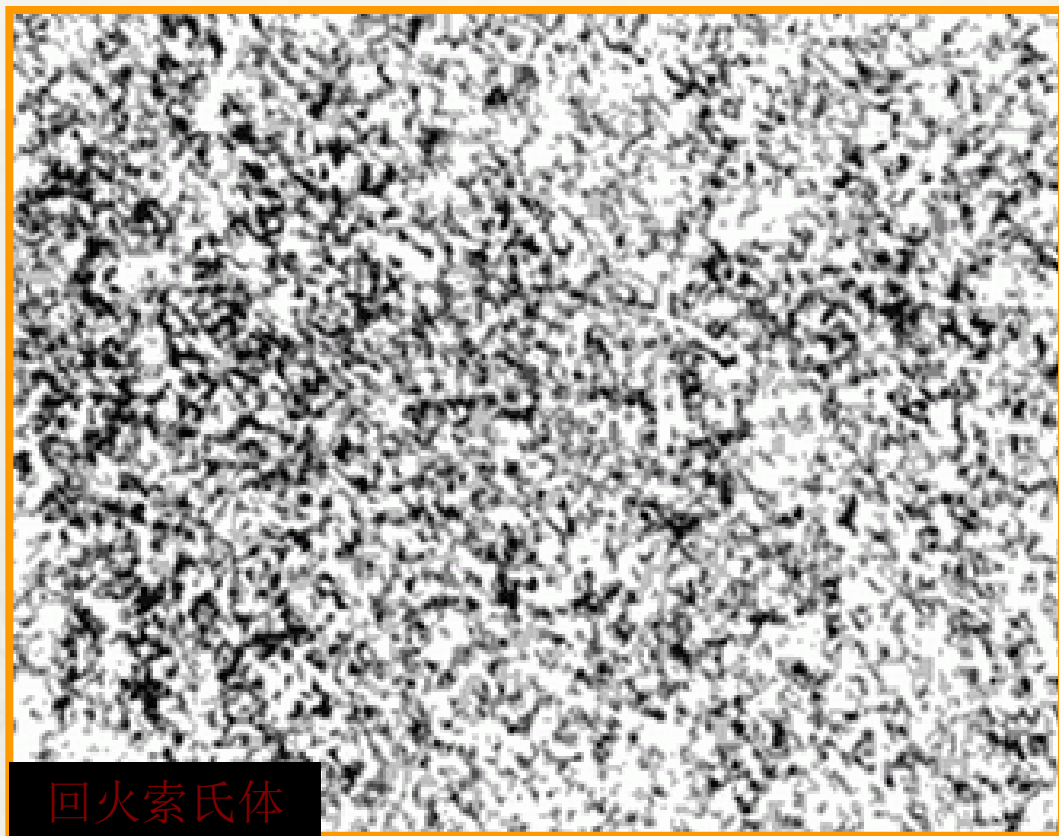
分，正方度下降到1。 $M_{\text{回}}$ 转变为在保持马氏体形态的铁素体（板条状或针状）基体上分布着弥散分布的 $\text{Fe}_3\text{C}$ 组织，称回火托氏体，用 $T_{\text{回}}$ 表示。

## 4、 $\text{Fe}_3\text{C}$ 聚集长大和铁素体多边形化

450℃ 以上弥散分布

$\text{Fe}_3\text{C}$ 球化并长大。

600℃ 以上铁素体发生再结晶，由马氏体的板条或针片状变为多边形。



回火索氏体

这种在多边形铁素体基体上分布着颗粒状 $\text{Fe}_3\text{C}$ 的组织称回火索氏体，用S回表示。



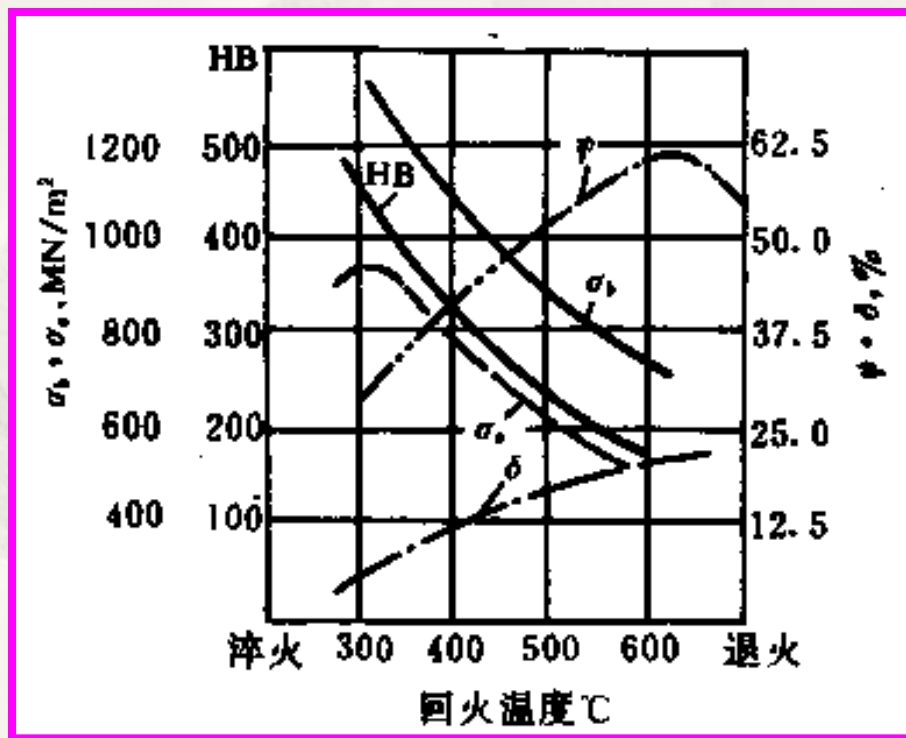
回火温度继续升高，即（ $650^{\circ}\text{C}$ ~A1温度），渗碳体开始粗化，及最后组织为多边形铁素体加较大粒状渗碳体组织。

即回火珠光体组织。与球化退火组织相似。

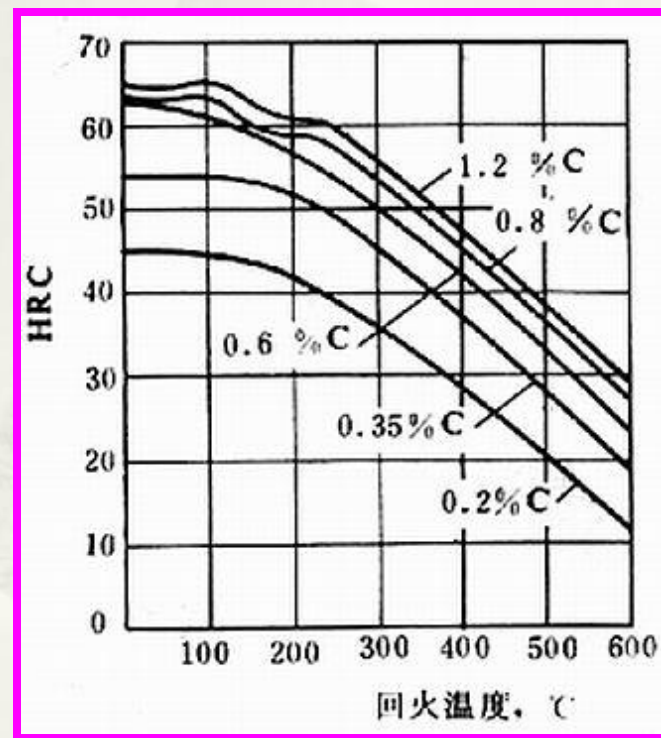
这种高温回火目的是使钢软化或代替球化退火，故不作为最终热处理组织应用。

## ◆ 回火时的性能变化

回火时力学性能变化总的趋势是随回火温度提高，钢的强度、硬度下降，塑性、韧性提高。



40钢力学性能与回火温度的关系

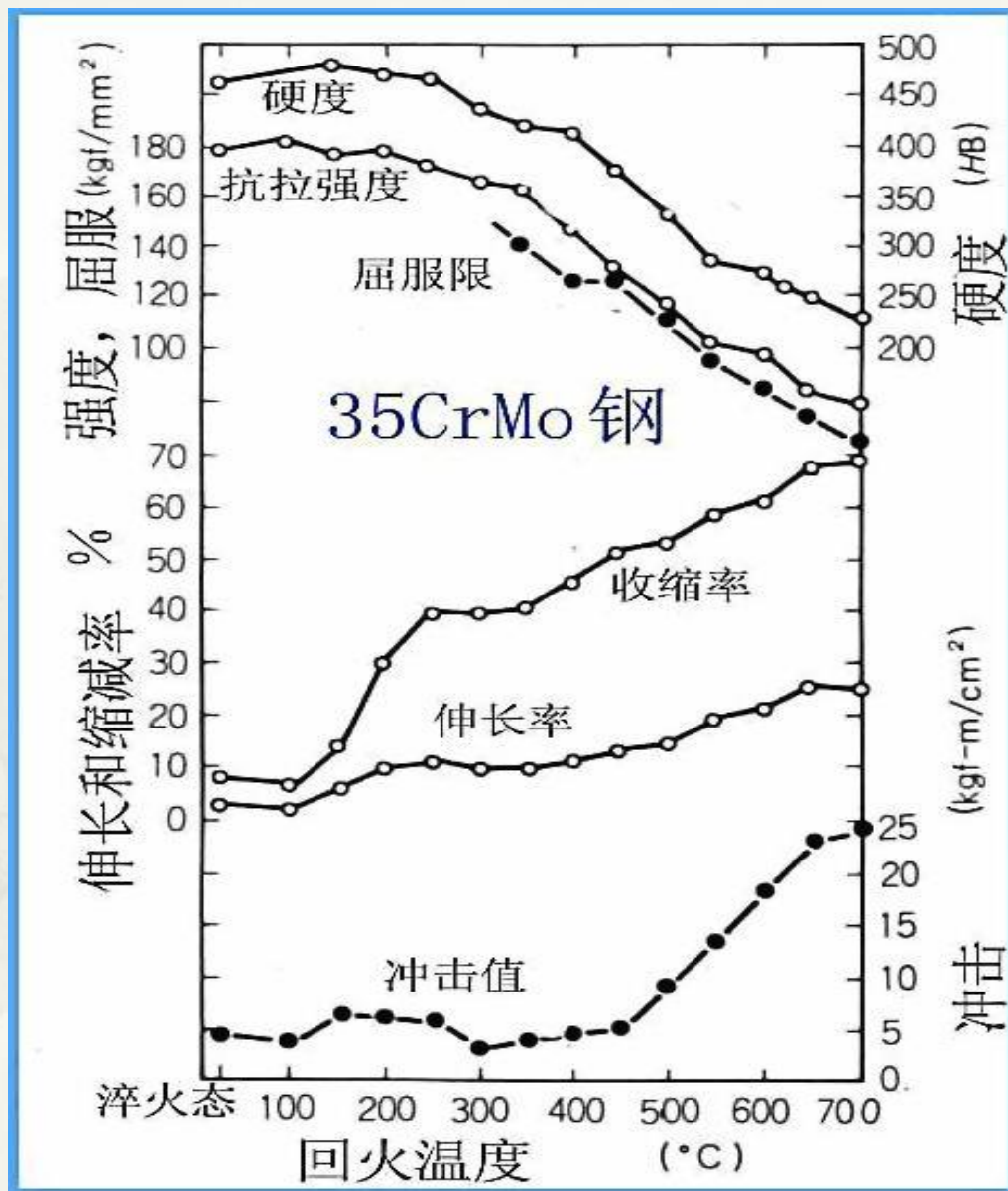


淬火钢硬度随回火温度的变化

### 三、回火脆性

淬火钢的韧性并不总是随回火温度升高而提高。

在某些温度范围内回火时，会出现冲击韧性下降的现象，称回火脆性。

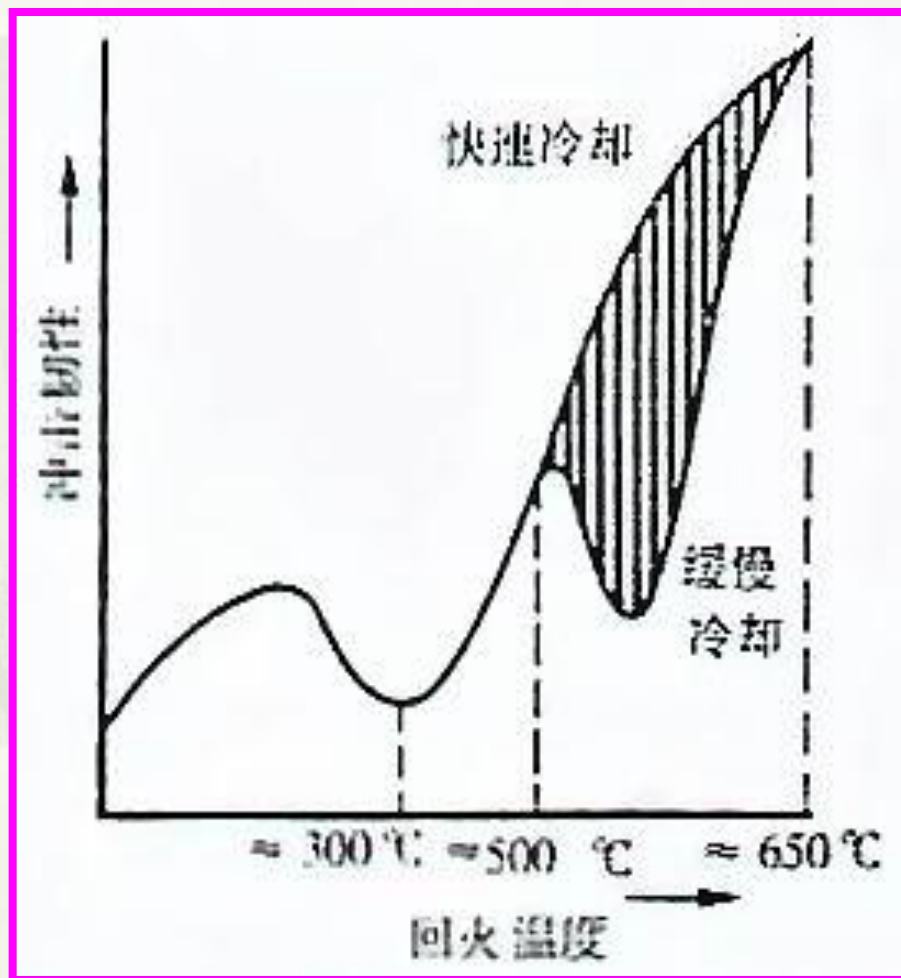


## 1、第一类回火脆性

硬脆的薄片碳化物所致

又称不可逆回火脆性。是指淬火钢在250-350℃回火时出现的脆性。

这种回火脆性是不可逆的，只要在此温度范围内回火就会出现脆性，目前尚无有效消除办法。回火时应避开这一温度范围。



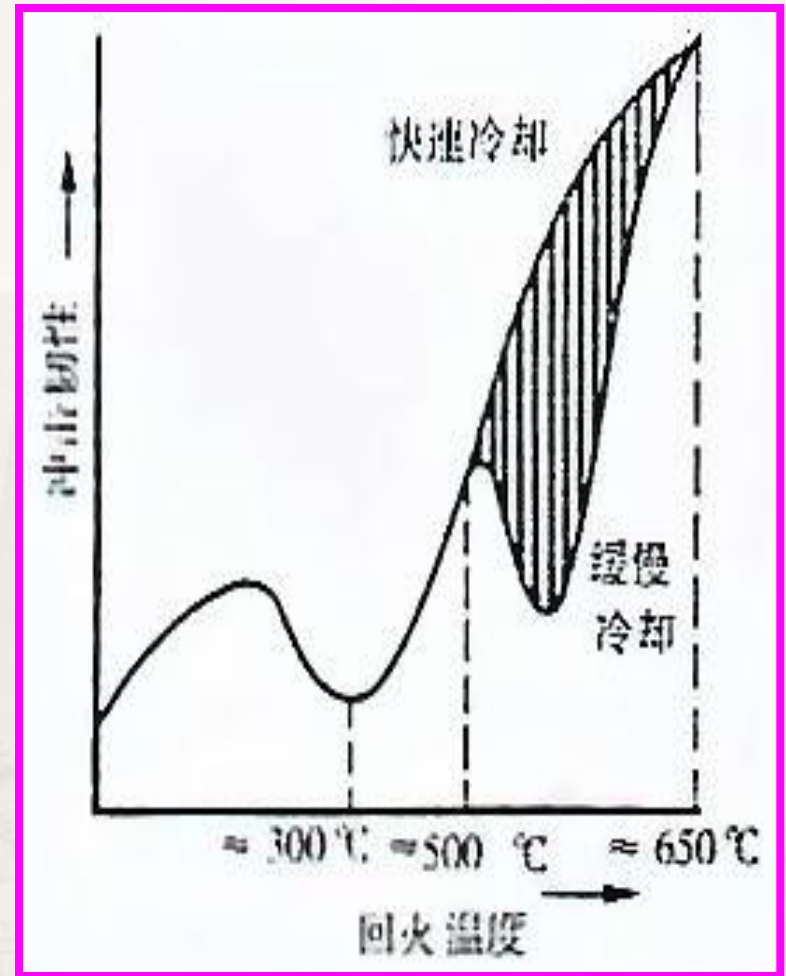
## 2、第二类回火脆性

又称可逆回火脆性。是指淬火钢在 $500-650^{\circ}\text{C}$ 范围内回火后缓冷时出现的脆性。回火后快冷不出现，是可逆的。

### 防止办法：

(1) 回火后快冷。

(2) 加入合金元素W (约1%)、 Mo(约0.5%)。该法更适用于大截面的零部件。





## 四、回火种类

根据钢的回火温度范围，可将回火分为三类。

	低温回火	中温回火	高温回火
回火温度	150-250℃	350-500℃	500-650℃
回火组织	$M_{\text{回}}$	$T_{\text{回}}$	$S_{\text{回}}$
回火目的	在保留高硬度、高耐磨性的同时，降低内应力。	提高 $\sigma_e$ 及 $\sigma_s$ ，同时使工件具有一定韧性。	获得良好的综合力学性能，即在保持较高的强度同时，具有良好的塑性和韧性。
应用	适用于各种高碳钢、渗碳件及表面淬火件。	适用于 弹簧热处理	广泛用于各种结构件如轴、齿轮等热处理。也可作为要求较高精密件、量具等预备热处理。

● 淬火加高温回火的热处理称作调质处理，简称调质。

# 作业

- 1、分别简述钢的四种普通热处理工艺及目的。
- 2、何谓碳钢中的铁素体、渗碳体、珠光体？他们的力学性能各有何特点？