

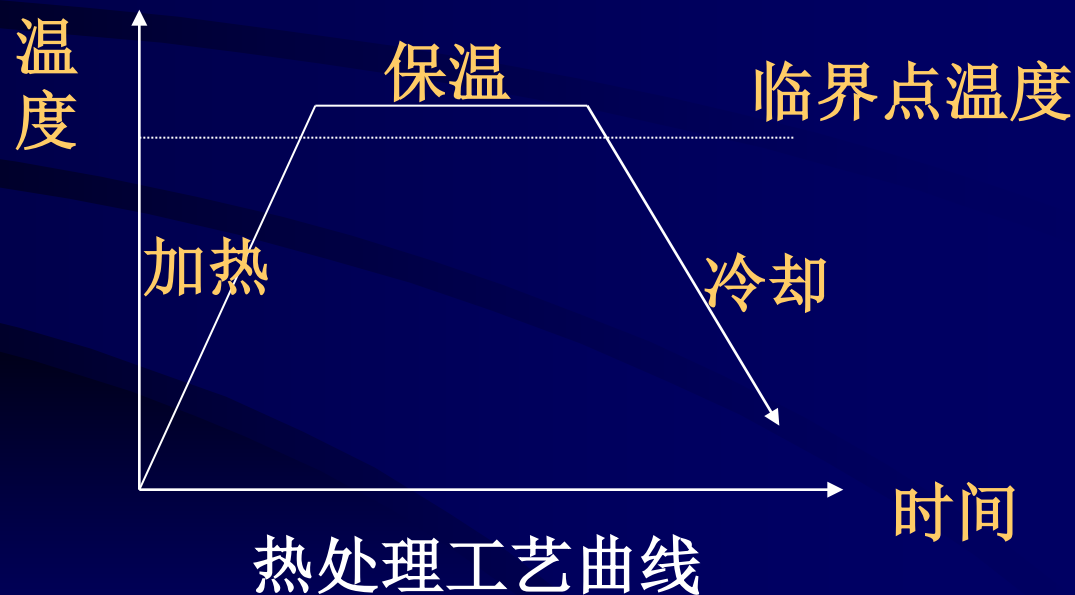
第2章 材料的强化与处理

- 重点：退火、正火、淬火、回火、表面热处理的目的、工艺及应用
- 难点：奥氏体在冷却时的转变规律及转变产物；



2.1 钢的热处理

热处理：将固态金属或合金加热、保温、冷却，改变其内部组织，从而获得所要求的性能的工艺



热处理 { 普通热处理：退火、正火、淬火、回火
表面热处理：表面淬火、化学热处理



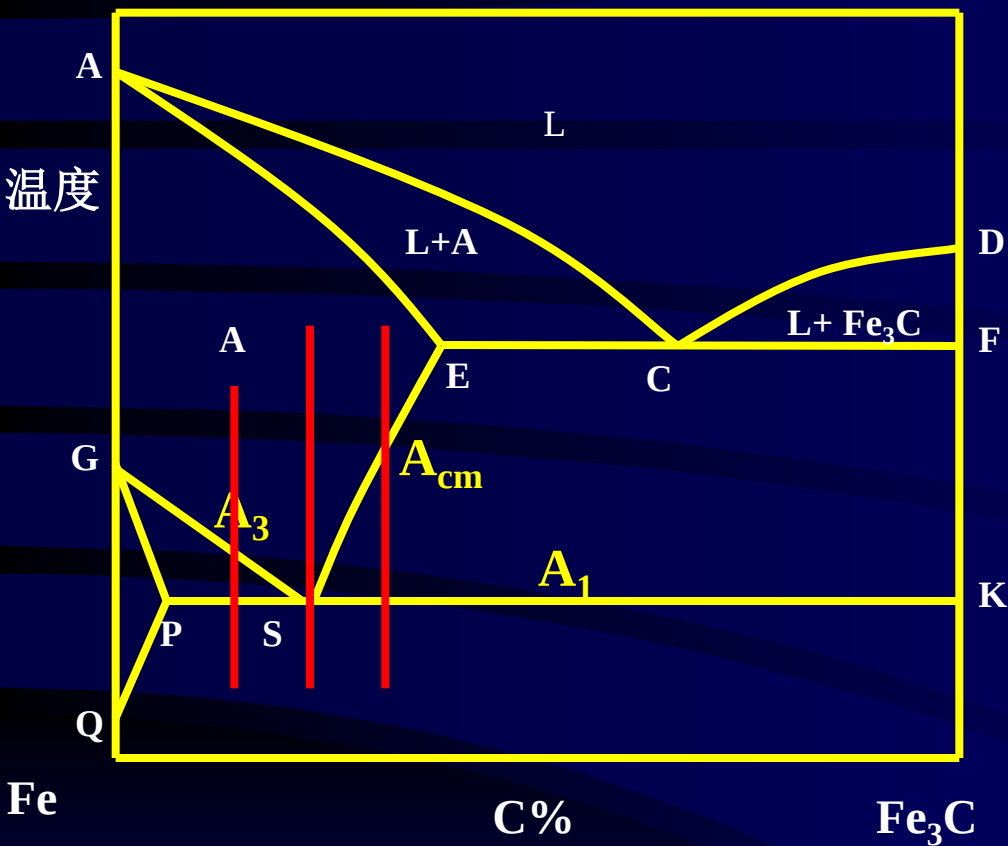
2.1.1 钢在加热时的组织转变

加热目的-获得细小奥氏体

钢的奥氏体化：钢中奥氏体的形成过程

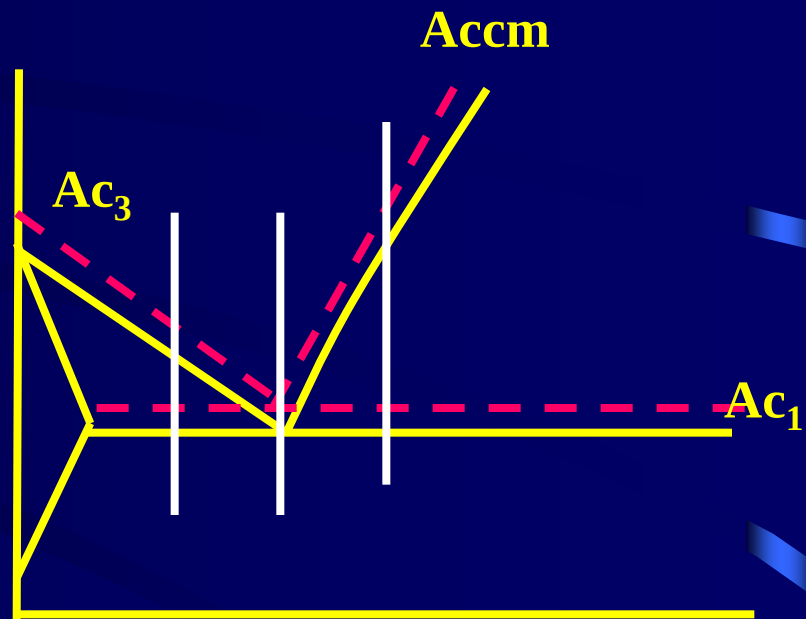


1. 加热温度的确定



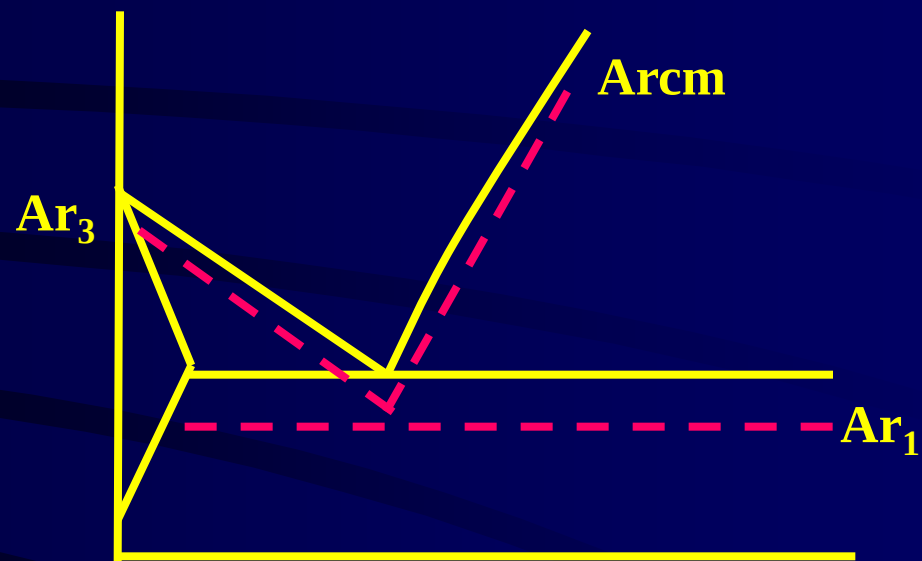
加热时

Ac_1 、 Ac_3 、 $Accm$

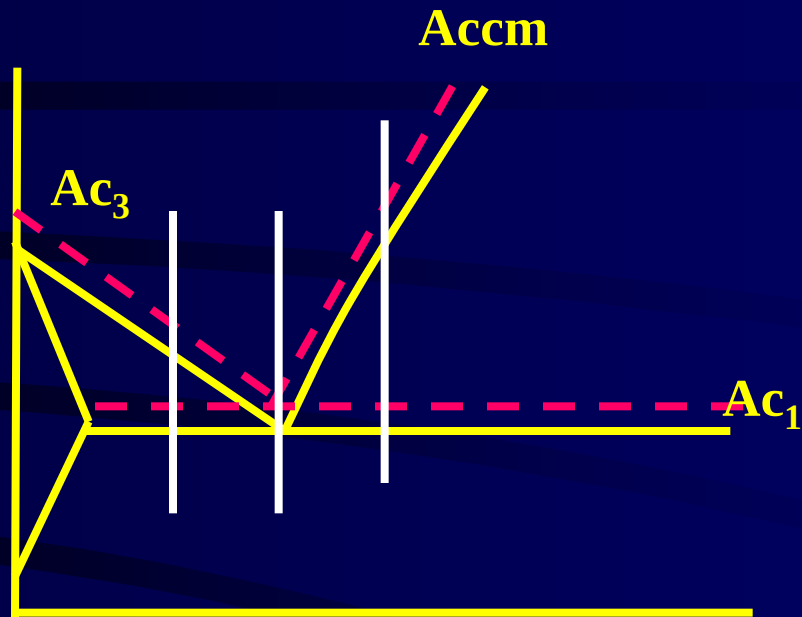


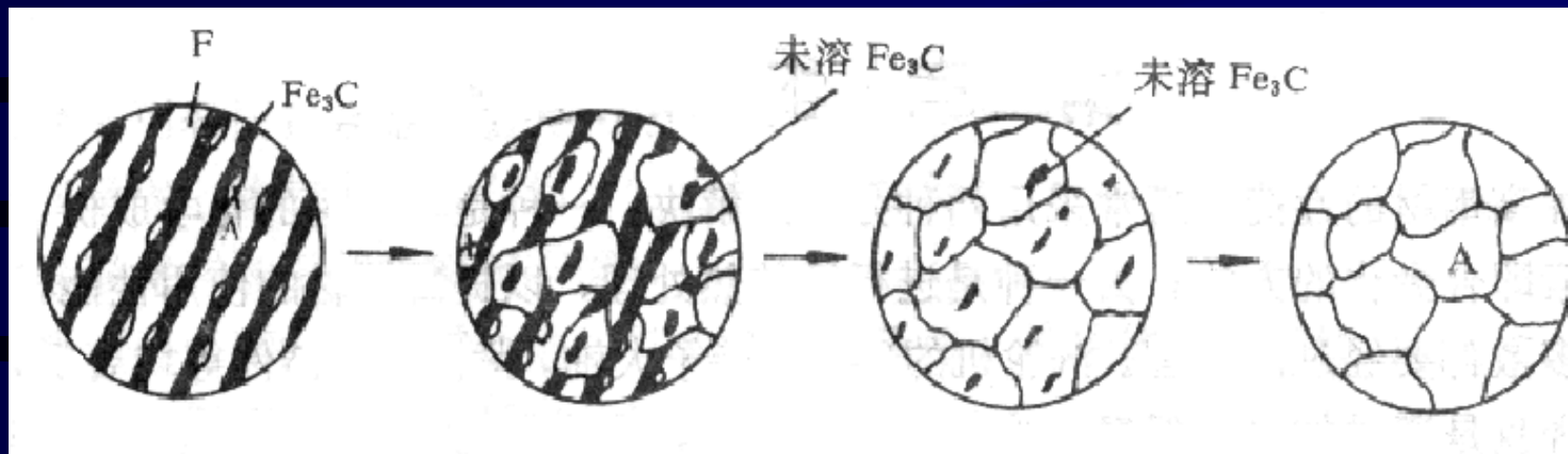
冷却时

Ar_1 、 Ar_3 、 $Arcm$



2、奥氏体化过程





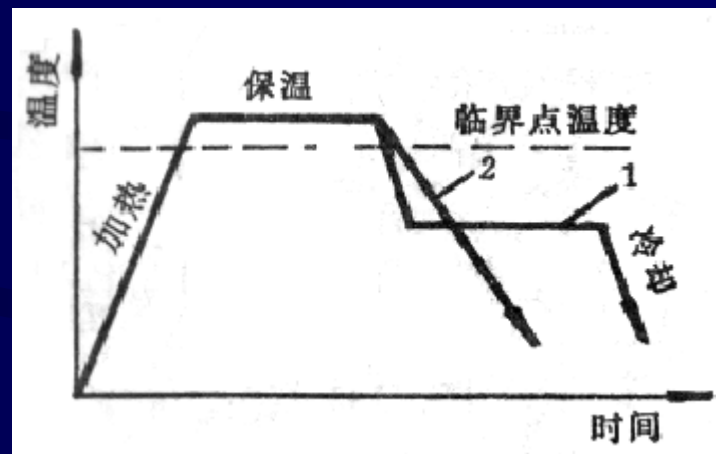
- (1) 奥氏体形核
- (2) 晶核长大
- (3) 残余渗碳体的溶解
- (4) 奥氏体均匀化



2.1.2 钢在冷却时的组织转变

奥氏体的冷却方式：

- 1、等温冷却
- 2、连续冷却



1、奥氏体的等温转变

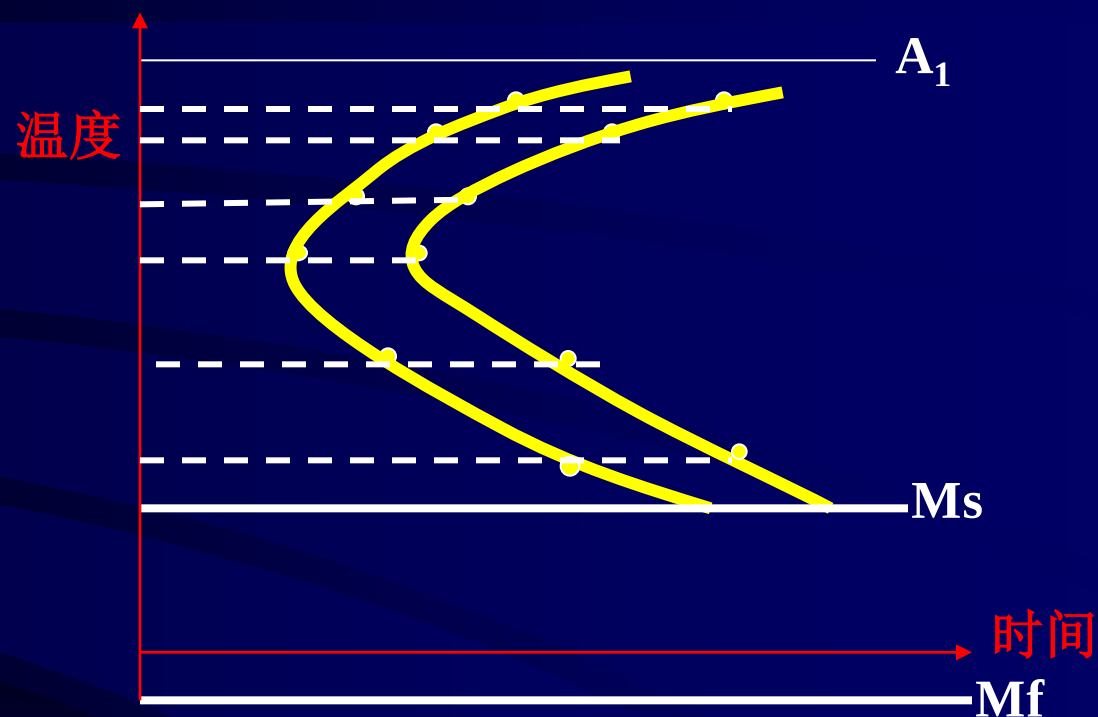
以共析钢为例

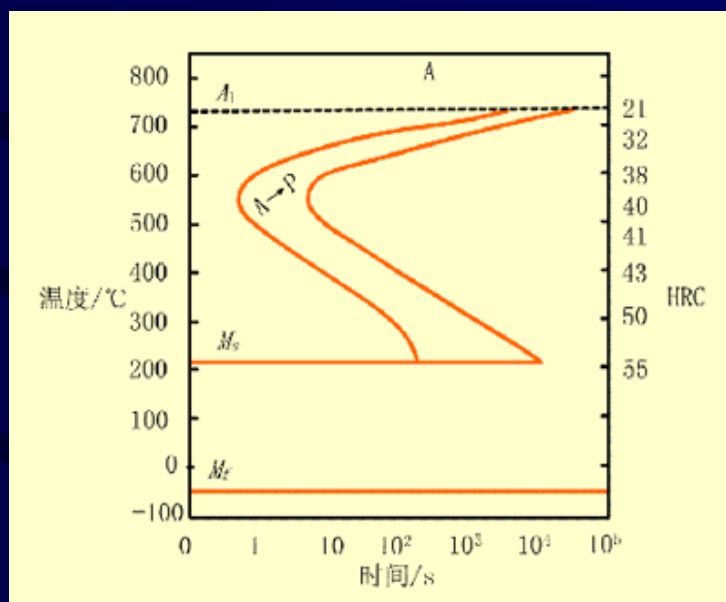
奥氏体等温转变曲线的建立（金相硬度法）

- 1) 制试样 $\phi 10 \times 1.5 \text{mm}$
- 2) 将试样奥氏体化
- 3) 将试样分成几组，每组投入不同温度的盐浴中等温
- 4) 每隔一定时间，从每组中取一试块投入水中，测硬度，观察组织，即知道转变开始时间和转变终了时间



- 5) 将各转变开始点和转变终了点标在温度—时间坐标图中
- 6) 将意义相同的点连接成线





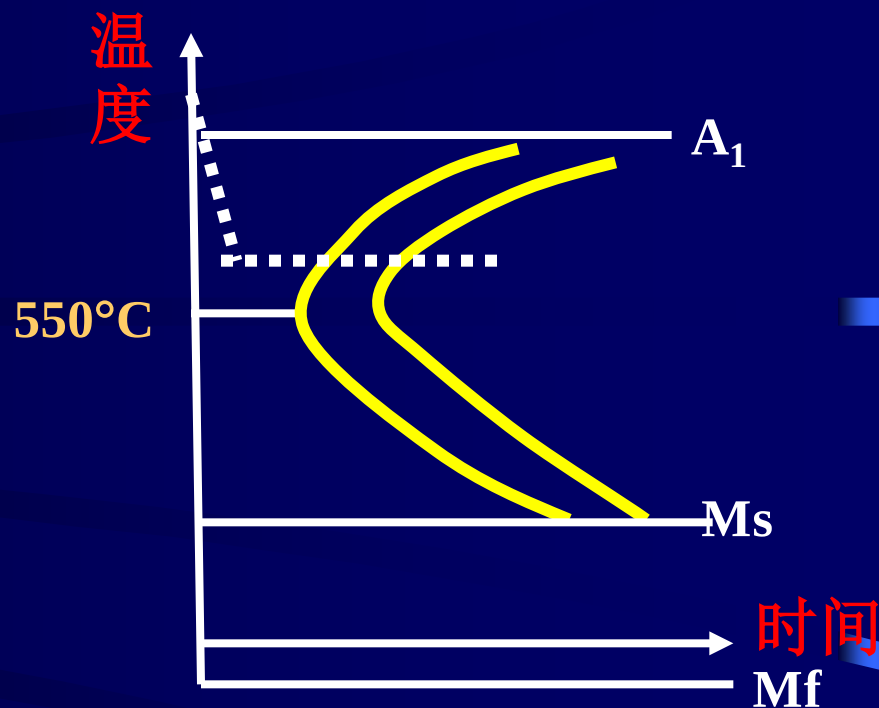
C曲线分析

1) 线

2) 区

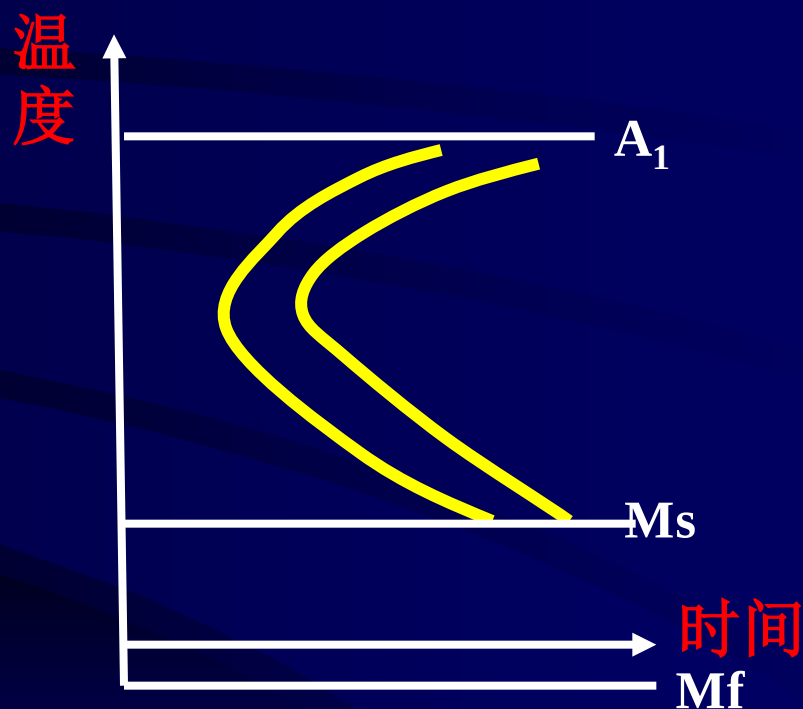
3) 孕育期

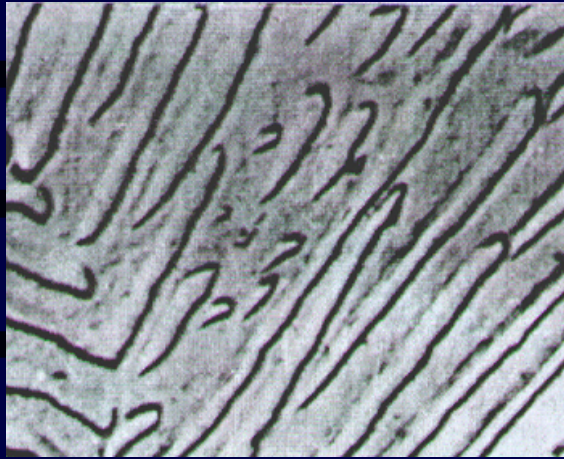
4) 奥氏体等温转变产物



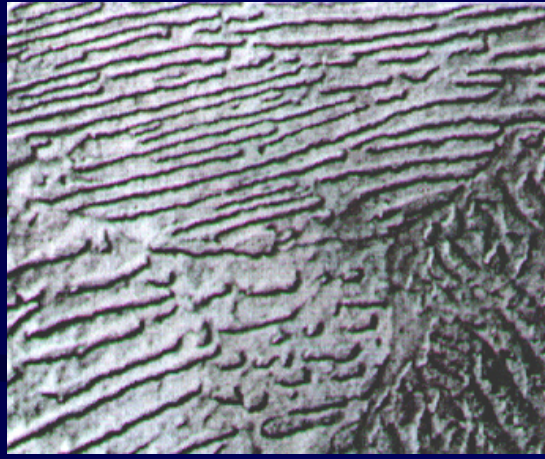
(1)高温转变 (A_1 —550°C)

A_1 -650°C,	A→粗珠光体P	HRC15
650°C-600°C,	A→索氏体S	HRC30
600°C-550°C,	A→屈氏体T	HRC40

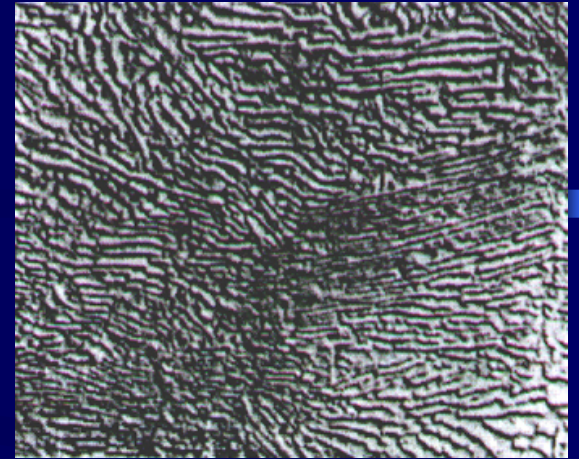




(a) 珠光体 3800×



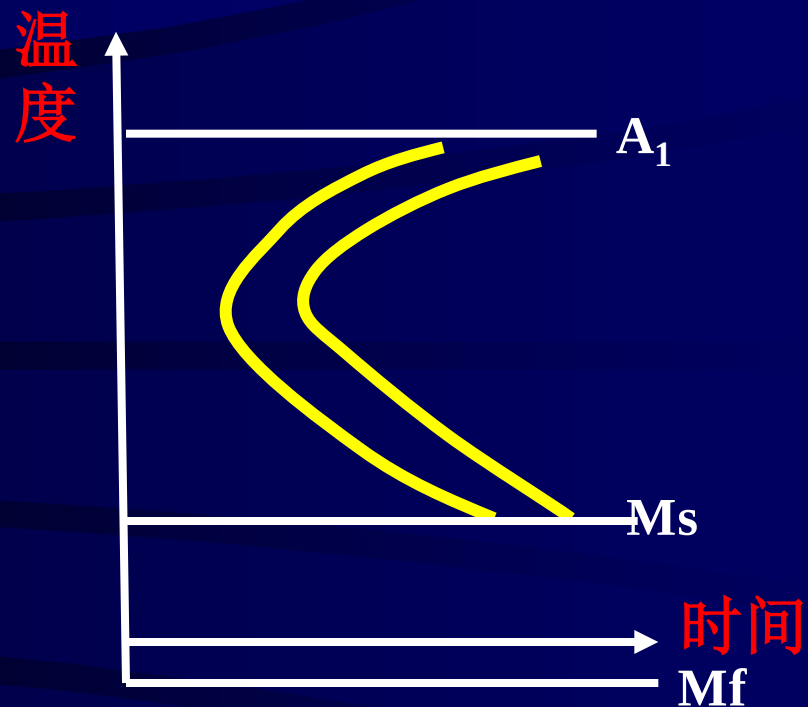
(b) 索氏体 8000×



(c) 屈氏体 8000×

珠光体型组织





(2)中温转变 (550°C — M_s)

贝氏体(B): 含碳量过饱和的铁素体和渗碳体的
bainite 机械混合物

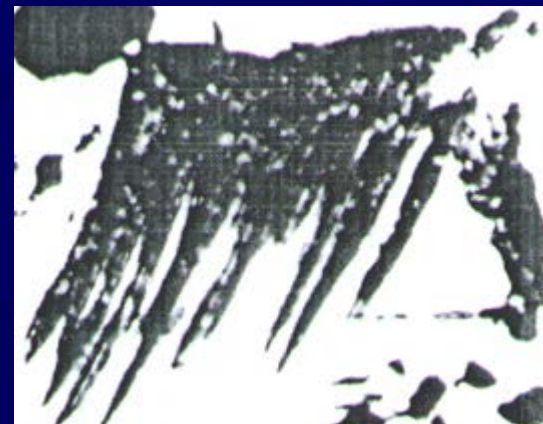


550°C-350°C, A→B_上 HRC45

350°C-Ms, A→B_下 HRC55

B_上性能：强度和韧性差

B_下性能：良好综合力学性能

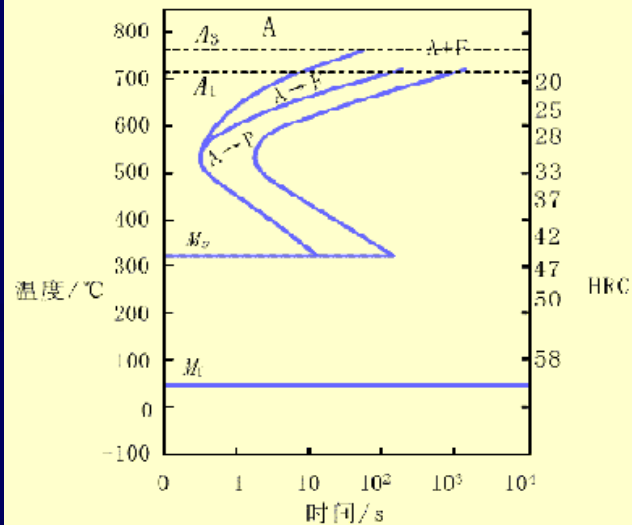


影响C曲线的因素

1) 含碳量

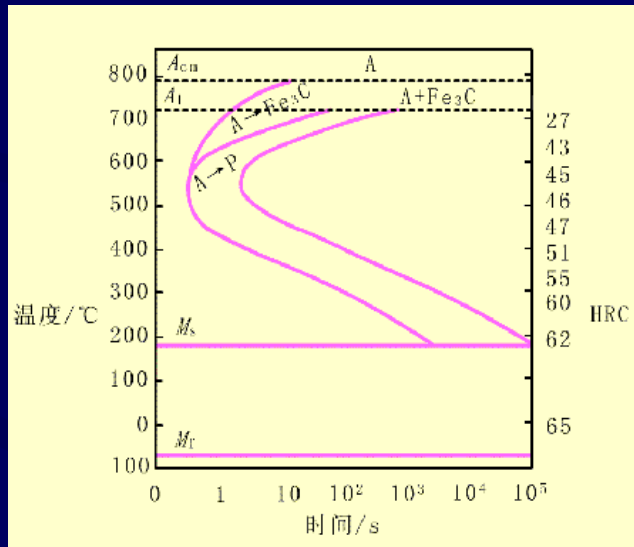
亚共析钢: $C \uparrow \rightarrow C$ 曲线右移

过共析钢: $C \uparrow \rightarrow C$ 曲线左移



2) 合金元素

除Co以外，其他合金元素溶入奥氏体中均使C曲线右移

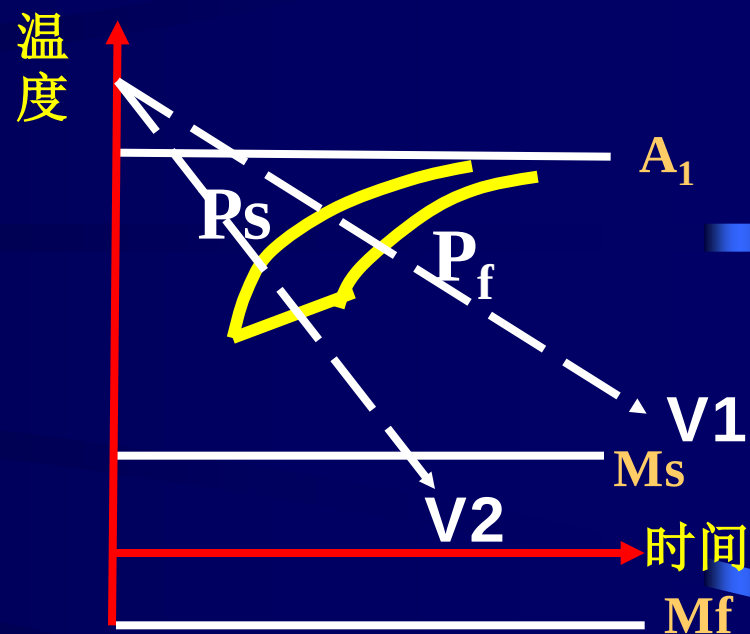


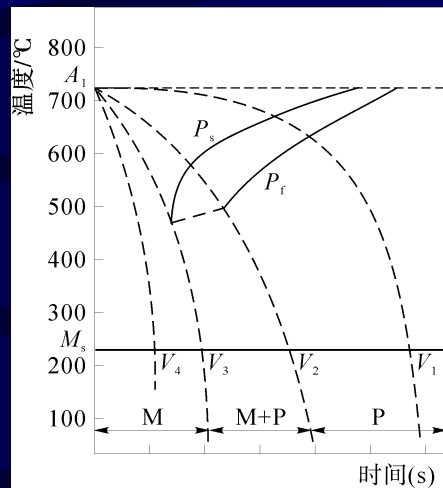
2、奥氏体的连续冷却转变

(1) 连续冷却转变曲线

P_s : $A \rightarrow P$ 开始线

P_f : $A \rightarrow P$ 终了线

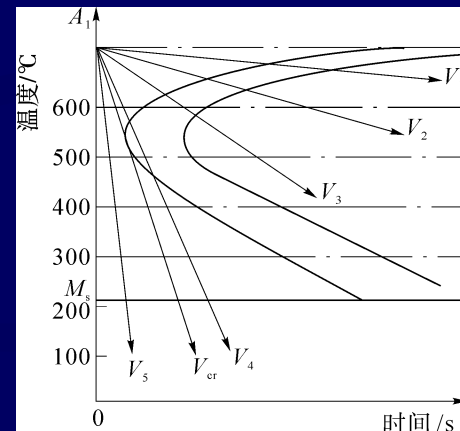




若以 V_1 速度冷却得到珠光体；以 V_2 速度冷却得到细珠光体和极细珠光体；以 V_3 、 V_4 速度冷却均得到马氏体。其中 V_3 与 P_s 线相切，是奥氏体全部过冷到 M_s 以下转变为马氏体的最小冷却速度，称为临界冷却速度



(2) 用C曲线近似分析连续冷却转变

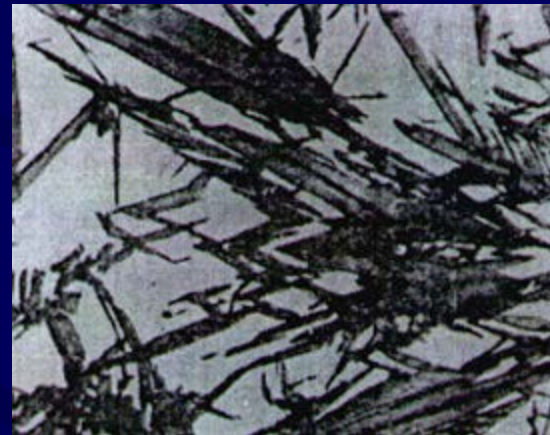
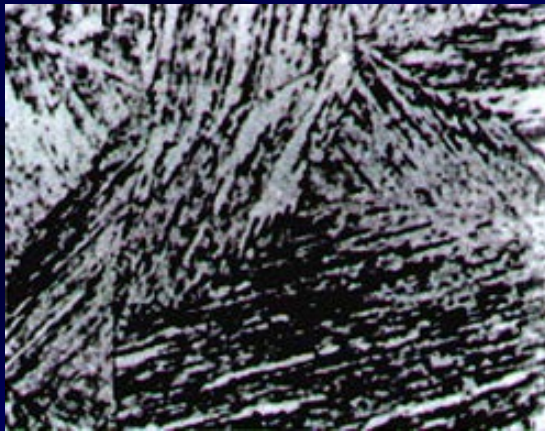


V1相当于随炉冷却（退火），它与C曲线交于700~650°C温度范围，估计过冷奥氏体转变为珠光体组织；V2相当于空冷（正火），它与C曲线交于650~600°C，估计过冷奥氏体转变为细珠光体；V3得到的组织是极细珠光体；V4先与珠光体转变开始线相割，随后又与Ms相交，冷却到室温得到的组织是极细珠光体、马氏体、残余奥氏体；V5不与C曲线相交，奥氏体直接过冷到Ms以下转变为马氏体；Vcr为将奥氏体全部过冷到Ms以下转变为马氏体的最小冷却速度，为临界冷却速度



(3) 过冷奥氏体向马氏体的转变

- 马氏体——碳在 α -Fe中的过饱和固溶体
- 晶体结构：C < 0.25%，体心立方晶格
C > 0.25%，体心正方晶格
- 形态：板条状马氏体（低碳马氏体）
片状马氏体（高碳马氏体）



●性能:

低碳马氏体: 良好综合力学性能

高碳马氏体: 硬度、强度高、脆性大

2.1.3 钢的普通热处理

热
处
理
工
艺

预备热处理: 消除热加工缺陷, 为以后的冷加工和最终热处理作准备

最终热处理: 使工件获得使用性能的热处理



1. 钢的退火和正火

(1) 退火

▼退火：把钢件加热到略高于或略低于临界点（ A_{c1} 、 A_{c3} ）某一温度，保温一定时间，然后缓慢冷却（一般随炉冷却），这一工艺过程叫退火

- 退火的目的：
 - 1、细化晶粒，提高力学性能
 - 2、消除缺陷和内应力，防止工件的变形和开裂
 - 3、降低硬度，改善切削加工性

●退火方法：



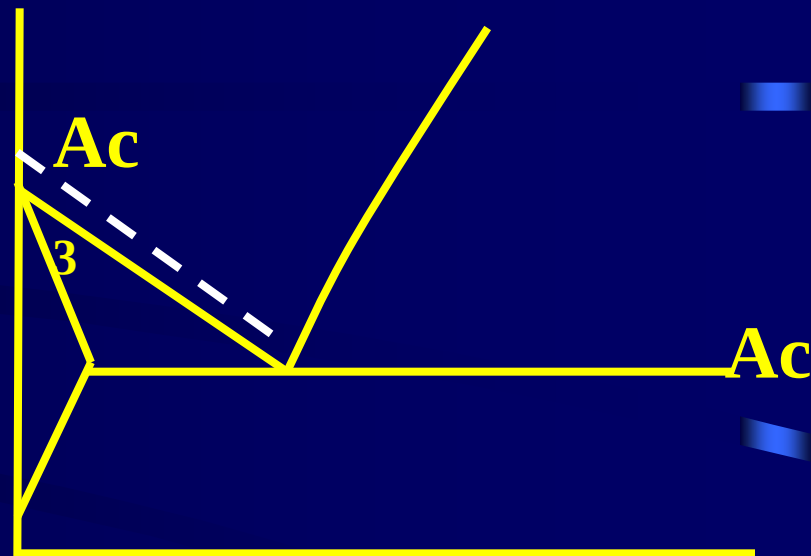
①完全退火

工艺： $A_{c3}+30-50^{\circ}\text{C}$ ，保温，炉冷

组织：F+P

目的：

- 1) 细化晶粒
- 2) 消除内应力
- 3) 降低硬度，改善切削加工性

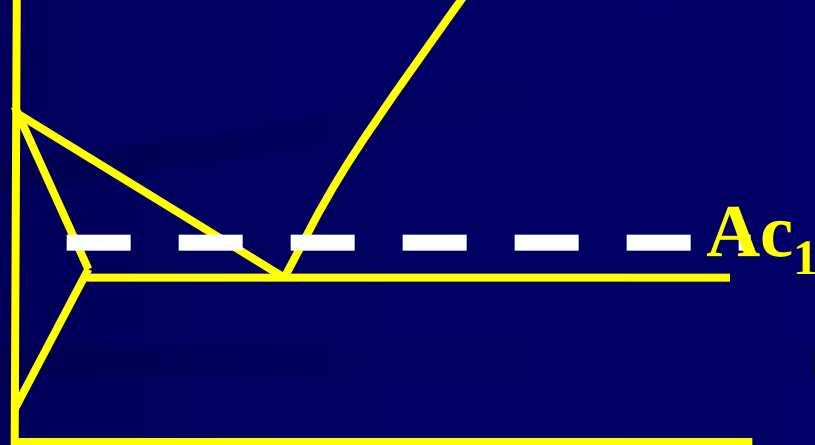


②等温退火

等温退火的加热工艺与完全退火相同。但钢经奥氏体化后，等温退火以较快速度冷却到珠光体转变温度区间的某一温度，等温一定时间，使奥氏体在等温中发生珠光体转变，然后又以较快速度（一般为空冷）冷至室温



③球化退火



工艺：加热至 $A_{c1}+30-50^{\circ}\text{C}$ ，保温，炉冷至室温
或 加热保温后冷至 A_{r1} 以下 20°C 左右等温
而后空冷至室温

组织：球状珠光体（球状渗碳体分布在铁素体基体上）

目的：降低硬度，改善切削加工性



④均匀化退火

工艺：加热到高温（ Ac_1 、 Ac_3 或 $A_{cm}+150\sim 250^{\circ}\text{C}$ ）并停留较长时间，使合金元素得到充分扩散，然后缓慢冷却下来

目的：消除枝晶偏析



⑤去应力退火

工艺：加热至**500-600℃**，保温，炉冷

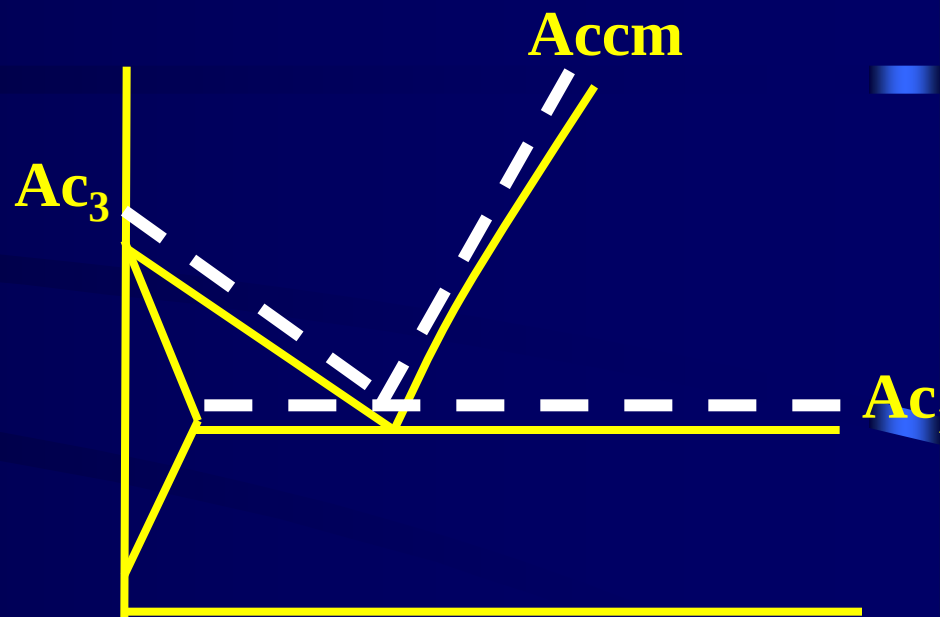
组织：原有组织

目的：消除内应力

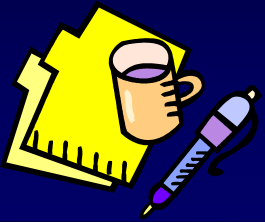


(2) 正火

正火：将工件加热至 A_{c3} 或 A_{ccm} 以上 $30 \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，保温后从炉中取出在空气中冷却的一种热处理工艺



目的：细化晶粒，提高力学性能；
消除热加工组织缺陷和内应力；
调整硬度，改善切削加工性。

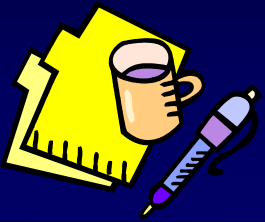


2. 钢的淬火与回火

(1) 淬火

▲ 淬火：将钢加热到 A_{c3} 或 A_{c1} 以上 $30 \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，保温后快速冷却的一种热处理工艺

▲ 目的：获得马氏体，提高钢的力学性能

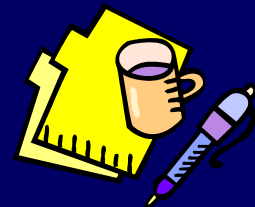
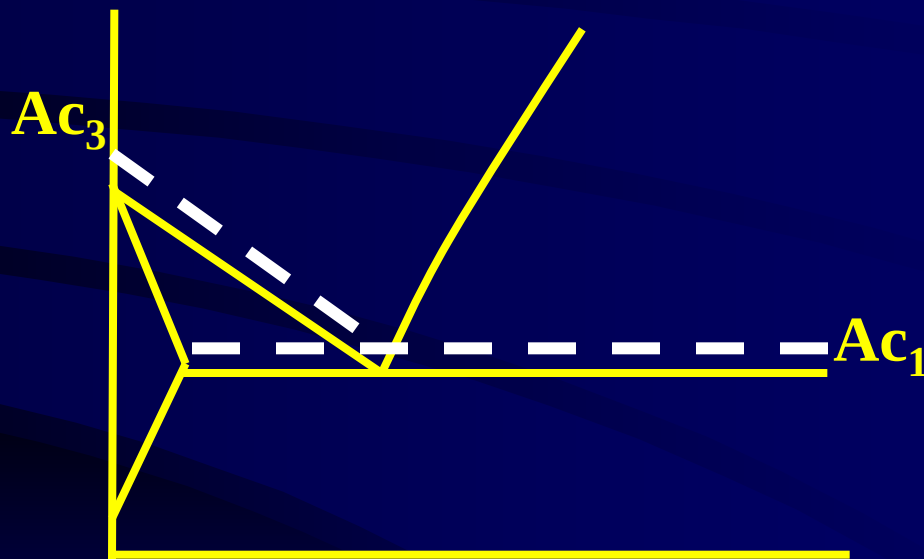


1) 淬火温度的选择

亚共析钢: $A_{c_3} + 30-50^{\circ}\text{C}$

共析钢: $A_{c_1} + 30-50^{\circ}\text{C}$

过共析钢: $A_{c_1} + 30-50^{\circ}\text{C}$



2) 淬火的冷却

淬火介质

水、盐（碱）的水溶液——冷却能力强，易得到M，易变形和开裂，用于**碳钢**淬火

油——冷却能力弱，减少变形和开裂，不易淬透，用于**合金钢、碳钢小零件**淬火



3) 淬火时的内应力

组织应力

热应力

4) 常用淬火方法

▼单液淬火：将钢奥氏体化后放在一种 介质
中冷却到室温

特点：操作简单；
易产生淬火缺陷

应用：碳钢用水淬
合金钢油淬



▼双液淬火：将钢奥氏体化后先放在一种冷却能力较强的介质中冷至接近 M_s ，然后立即转入另一种冷却能力较弱的介质中冷至室温

特点：操作复杂；
降低了淬火应力

应用：形状复杂的碳钢件，
如工具、模具



▼分级淬火法：将钢奥氏体化后，迅速置于温度稍高于 M_s 的盐浴或碱浴中，并稍加停留，使钢件内外温度一致，再取出空冷，使过冷奥氏体转变为马氏体

特点：进一步减小了内应力，减小了变形

应用：形状复杂的小工件，如刀具



▼等温淬火：将钢奥氏体化后先放入温度接近 M_s 的盐浴或碱浴中等温足够长时间，使过冷奥氏体转变为下贝氏体然后再空冷至室温

特点：明显降低了内应力，减小了变形；不必再进行回火；时间长，效率低

应用：形状复杂、尺寸精确的小工件，如弹簧、小齿轮、工具、模具



5) 钢的淬透性

- 钢的淬透性：钢在一定条件下淬火时，获得淬硬层深度的能力

- 影响淬透性的因素：

- 1) 含碳量：含碳量越接近共析成分，淬透性越好

- 2) 合金元素：除Co以外，其他合金元素溶入奥氏体中均使钢的淬透性提高



(2) 回火

回火temper：将淬火钢加热到 A_1 以下某一温度，保温一定时间，空冷或油冷到室温

- 回火目的：

- 1) 降低脆性，提高塑性
- 2) 消除淬火应力，防止工件的变形、开裂
- 3) 稳定工件尺寸



●回火的分类:

1) 低温回火 ($150-250^{\circ}\text{C}$)

目的: 降低内应力和脆性, 保留高的强度、硬度、耐磨性

应用: 工具、模具、滚动轴承

2) 中温回火 ($350-500^{\circ}\text{C}$)

目的: 提高钢的弹性、韧性, 消除内应力和脆性

应用: 弹簧、高强度件



3) 高温回火 (500-650°C)

目的：获得良好的综合力学性能

应用：重要零件如轴、齿轮

调质处理： 淬火+高温回火



2.1.4表面热处理

1、表面淬火

——仅对钢的表面加热和冷却而不改变钢表层化学成分的热处理工艺称为表面淬火

特点：只有表层得到了马氏体，心部组织不变
表层具有高的强度、硬度、耐磨性，心部具有好的塑性、韧性



加热方法:

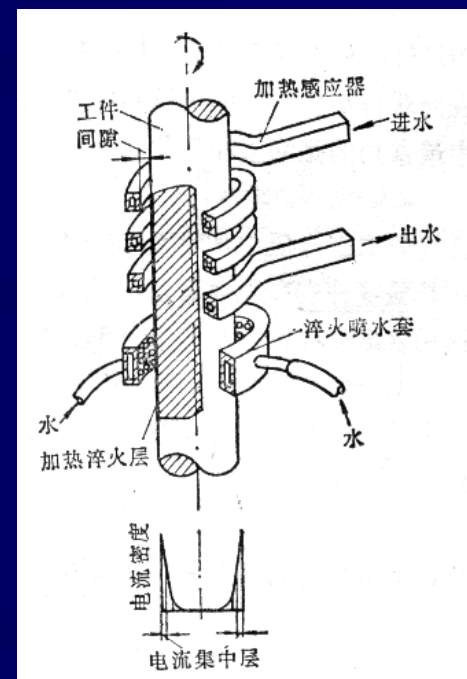
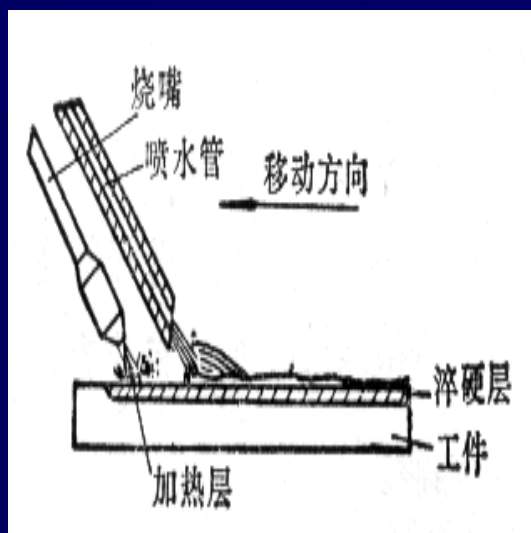
1、火焰加热（淬硬层2-8mm）

2、感应加热（淬硬层0.5-20mm）

高频感应加热（200-300kHz）：

中频感应加热(2500-3000 Hz)：

工频感应加热(50kHz)：



2、化学热处理

化学热处理：将钢件置于一定介质中加热和保温，使介质中的活性原子渗入工件表层，改变表层的化学成分和组织，从而使工件表层具有某些特殊的力学或物理、化学性能的一种热处理工艺

特点：改变表层化学成分和组织，心部不变；使表层具有高的硬度、耐磨性、耐蚀性等特殊性能，心部具有足够的强度和韧性

化学热处理——渗碳、渗氮（氮化）、
碳氮共渗等



渗 碳

目的：使工件表层具有高的硬度、耐磨性，心部保持一定的强度和韧性

材料：低碳钢、低碳合金钢

后续热处理：淬火+低温回火

渗层厚度：0.5-2.5mm

应用：承受冲击载荷、交变载荷及严重磨损的零件，如传动齿轮、套筒、活塞销



渗 氮

目的：提高工件表面的硬度、耐磨性、疲劳强度和耐蚀性等

材料：中碳合金钢

35CrA1A, 38CrMoA1A, 38CrWVA1A

渗层厚度： $\leq 0.6-0.7\text{mm}$

应用：耐磨性、精度均要求很高的零件，如精密传动齿轮、镗床主轴、活塞销；交变载荷下的零件，如高速柴油机曲轴；变形小、耐蚀的耐磨件，如阀门、热作模具



碳氮共渗

目的：提高工件表层的硬度、耐磨性及疲劳强度等

应用：汽车和机床齿轮、蜗轮、蜗杆、轴



4.1.5 热处理新技术简介

1. 真空热处理
2. 可控气氛热处理
3. 激光热处理和电子束表面淬火
4. 形变热处理



2.2工程材料的表面处理方法

2.2.1气相沉积

气相沉积是利用气相中发生的物理、化学过程在工件表面形成具有特殊性能的金属或化合物涂层，使工件表面性能优化的一种新技术。按照过程的本质，可将气相沉积分为两大类：一类是化学气相沉积，简称CVD法；另一类是物理气相沉积，简称PVD法。

1. 化学气相沉积

化学气相沉积是利用气态物质在固态工件表面进行化学反应，生成固态沉积物的过程。



常见的碳化钛沉积的化学反应为：



2. 物理气相沉积

物理气相沉积是用物理方法将源物质转移到气相中，在基体上形成覆盖层的方法。

物理气相沉积主要有真空溅射、离子镀和离子溅射三种方法

图2.18为离子镀原理示意图



2.2.2化学转化膜技术

化学转化膜技术就是通过化学或电化学处理，使金属表面形成稳定的化合物膜层，以达到防腐或兼有装饰目的的工艺方法。常用化学转化膜主要包括氧化膜、磷酸盐膜、铬酸盐膜、阳极氧化膜和草酸盐膜等

1. 氧化处理

氧化处理就是采用化学的或者电化学的方法，使工件表面形成一层氧化膜，以改善工件的耐蚀性及外观的工艺方法。

2. 磷化处理（磷酸盐处理）

磷化处理是将钢铁工件浸入磷酸盐溶液中，使工件表面获得一层不溶于水的磷酸盐薄膜的工艺方法。



2.2.3 电镀和化学镀

1. 电镀

电镀是将金属工件作为阴极浸入欲镀金属的盐溶液中，然后通以直流电，在直流电场的作用下，金属盐溶液中的阳离子在工件表面上沉积成为牢固的镀层

2. 化学镀

化学镀是把被镀工件浸入含有镀层金属盐类的水溶液中，经氧化还原反应在工件表面沉积形成镀层的方法。



2.2.4涂料和涂装工艺

1. 涂料的组成

(1) 成膜物质

(2) 颜料

(3) 稀释剂

(4) 助剂

2. 涂装工艺

(1) 空气喷涂法

空气喷涂法是以洁净的压缩空气通过喷枪将涂料喷成雾状液，再被涂零件上均匀沉积的一种涂装方法。

(2) 静电喷涂

利用高压静电场的作用，将油漆涂装到物体表面的



小 结

一、钢的热处理

(钢在加热时的转变规律及奥氏体在冷却时的转变规律以及钢的退火、正火、淬火、回火、表面热处理工艺等)

二、工程材料的表面处理方法

(气相沉积、化学转化膜技术、电镀和化学镀以及涂料和涂装工艺等)

